

167869

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İZMİT HAVZASI GENÇ ÇÖKELLERİNİN DEPREM
ESNASINDAKİ DAVRANIŞLARI**

DOKTORA TEZİ

Jeoloji Yük. Müh. Ahmet KARAKAŞ

Anabilim Dalı : Jeoloji Mühendisliği

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Özkan CORUK

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İZMİT HAVZASI GENÇ ÇÖKELLERİNİN DEPREM
ESNASINDAKİ DAVRANIŞLARI**

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Ahmet KARAKAŞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 Kasım 2005

Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Aralık 2005

Tez Danışmanı

Yrd.Doç.Dr. Özkan ÇORUK

(.....)

Üye

Prof.Dr. Mustafa ERDİK

(.....)

Üye

Prof.Dr. Selçuk TOKEL

(.....)

Üye

Doç. Dr. Ö. Feyzi GÜRER

(.....)

Üye

Yrd. Doç. Dr. Aydın KAVAK

(.....)

ARALIK 2005

İZMİT HAVZASI GENÇ ÇÖKELLERİNİN DEPREM ESNASINDAKİ DAVRANIŞLARI

Ahmet KARAKAŞ

Anahtar Kelimeler: İzmit Havzası, Sıvılaşma, Sıvılaşma Analizleri, YSA, CBS

ÖZET: İzmit Havzası genç çökellerinin depremdeki davranışlarının araştırıldığı bu çalışmada havzanın jeomorfolojik, jeolojik, mühendislik jeolojisi ve jeodinamik özellikleri incelenmiştir. Özellikle genç tutturulmamış kırıntılı çökellerin depremdeki davranışları çalışmanın asıl konusunu oluşturmaktadır. İnceleme alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kuzey kolunun açmış olduğu graben görünümlü genç bir havzadır. Jeomorfolojik olarak havza kuzeyde Kocaeli Penepleni ve güneyde Samanlı Dağ Yükselimi arasında düzlük bir alandır. Bölgede aktivitesini devam ettirmekte olan Kuzey Anadolu Fayı inceleme alanının jeomorfolojik konumunu denetleyen ana unsurdur. Alüvyal birikintiden oluşan inceleme alanında kumlu ve siltli düzeyler yer yer egemen litolojilerdir. Yeraltı seviyesi ölçülen değerlere göre topoğrafik yüzeye yakındır. Genç birimlerin mühendislik özelliklerinin tanımlanması için bölgede daha önce yapılmış ve bu tez çalışması sırasında yapılmakta olan sondaj, arazi ve laboratuvar deney verileri değerlendirilmiştir. Sondaj, arazi ve laboratuvar çalışmaları genelde havzanın batı bölümünde Saraybahçe, Kullar ve Köseköy Beldeleri sınırları içerisinde yoğunlaşmaktadır. Buna bağlı olarak mühendislik jeolojisi verileri, değerlendirmeler ve zeminlerin deprem sırasındaki davranışlarının tanımlanması genelde bu kesimlerde ele alınmıştır. Bu çalışmada özellikle sıvılaşma davranışları ve buna bağlı gelişen oturma miktarları araştırılmıştır. Sıvılaşma analizinde, zeminlerin özelliklerine göre farklı iki değerlendirme dikkate alınmıştır. İri taneli zeminlerin sıvılaşma riskinin (liquefaction opportunity) belirlenmesi amacıyla Seed and Idriss (1971) tarafından geliştirilen yöntem ve bu yöntemin uygulanması için LiquefyPro (CivilTech 2002) programı kullanılmıştır. Buna göre sondajlarda iri taneli zemin seviyelerindeki SPT N_{30} değerleri kullanılarak bu zonların sıvılaşma riski ve sıvılaşma veya sismik bir yükten dolayı oluşan oturma değerleri belirlenmiştir. Standart sıvılaşma analizi olarak tanımlanan bu yöntem sonucuna göre toplam 61 kuyudan 36 tanesindeki değişik kumlu seviyelerde sıvılaşma riski belirlenmiştir. Bu kesimlerde ortalama toplam oturma 7.83 ile 13.27 cm arasında değişmektedir. En düşük oturma Saraybahçe yerleşim alanında izlenmiştir. Standard sıvılaşma analizinden elde edilen sonuçlar Coğrafi Bilgi Sisteminde (CBS) İzmit Havzası için değerlendirilmiştir. İnce taneli zeminlerin (ince kum-silt) sıvılaşma yatkınlığının (liquefaction susceptibility) belirlenmesi için Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri yöntemi kullanılmıştır. Zeminlerin kıvam ve indeks özellikleri dikkate alınarak uygulanan bu yöntem sonucunda toplam iki sondaj alanında sıvılaşma yatkınlığı belirlenmiştir. Bu iki deterministik sıvılaşma analizi yanında bilgiye dayalı bir yöntem olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile de sıvılaşma değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla Matlab V 6.5 programı editöründe biri eğitim ve diğeri test olmak üzere iki algoritma yazılmıştır. Türkiye sınırları içinde meydana gelmiş daha önceki depremlerde sıvılaşmış ve sıvılaşmamış alanlardaki zeminlerin verileri yardımıyla hazırlanan bir eğitim seti ile eğitilen YSA, ikinci aşamada İzmit Havzası zemin verilerini belli bir deprem karşısında sıvılaşabilirlik için test amaçlı kullanılmıştır. Eğitilen ağın 1 (sıvılaşma var) ve 0 (sıvılaşma yok) değerlerine tam olarak ulaşmadaki başarı oranı % 92.3 olmuştur. YSA ile elde edilen sıvılaşma potansiyeli analiz sonuçları, standard sıvılaşma analiz yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Eğitim safhası başarı oranı yüksek olmasına karşın test safhası başarı oranlarının düşük seviyelerde olduğu görülmüştür.

DYNAMIC BEHAVIOUR of YOUNG SEDIMENTS in İZMİT BASIN DURING an EARTHQUAKE

Ahmet KARAKAŞ

Keywords: İzmit Basin, Liquefaction, Liquefaction Analyses, ANN, GIS

ABSTRACT: Dynamic behavior of young sediments in İzmit Basin in an earthquake was studied along with geomorphologic, geologic, engineering geologic and geodynamic features of the basin. Behavior of young sediments including loose and alluvial material in earthquake is the main subject of this study. İzmit Basin developed in the control of North Anatolian Fault System is a young graben like depression basin. İzmit Basin is morphologically located as a plain between Kocaeli Peneplane in north and Samanlıdağ Highlands in south. Northern strand of North Anatolian Fault System crossing the study area in east west direction is active in the region. Layers with sand and silty sand materials are common in the alluvial basin. The ground water measurements yield that the groundwater level is close the surface in the area. Data obtained from previous and recent borings, field and laboratory tests were assessed for defining engineering properties of young sediments. These borings, field and laboratory tests are densely existent in the west section of the basin in Saraybahçe, Kullar and Köseköy areas. Thus, this section of the basin was evaluated for engineering geologic and geodynamic purposes. Soil liquefaction and settlements due to liquefaction were specifically analyzed by this study. Two evaluation methods were carried out for soil liquefaction analyses based on soil properties. A computer program called LiquefyPro (CivilTech 2002) which runs liquefaction analyses based on Seed and Idriss (1971) approach was utilized to assess soil liquefaction risk (opportunity) for coarse grained soils. SPT N_{30} values of coarse grained soils were used in the liquefaction analyses and settlements due to liquefaction or seismic shaking were also determined. This method which is called Standard Liquefaction Analysis indicated that 36 out of 61 borings carry liquefaction risk in different sandy and gravelly sand levels. Calculated total average settlements varied from 7.83 to 13.27 cm. The lowest settlement was observed in Saraybahçe area. The results obtained from standard liquefaction analyses were imported to Geographical Information System (GIS) to map the liquefaction potential and seismic settlements in İzmit Basin. Modified Chinese Criteria (MCC) method was performed for liquefaction susceptibility of fine grained soil layers. This method which takes into account consistency and index properties of soils identified two boring areas that are susceptible to liquefaction. Artificial Neural Network (ANN) was employed for liquefaction assessment along with other two deterministic liquefaction analysis methods. Two algorithms, one is for training and the other one is for testing purposes, were compiled in Matlab V 6.5 editor. First, training data set containing liquefied and non-liquefied soil data from selected previous Turkish Earthquakes trained ANN, and then ANN was utilized to test the İzmit Basin soil layers for liquefaction potential. Trained ANN had a success rate as 92.3 % to reach the 1 (liquefaction) and 0 (no liquefaction) values. Results of ANN method were compared with standard liquefaction analysis results. Although the training phase was very successful, the test phase supplied lower success rates.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Deprem esnasında zemin davranışları son yıllarda geniş araştırmalara konu olmuş ve bu davranışların araştırılması, analiz edilmesi ve modellenmesi üzerine yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu incelemede bu yeni yöntemlerden bazıları kullanılarak İzmit Havzası genç çökellerinin deprem esnasında gösterebileceği davranışlardan biri olan zemin sıvılaşması araştırılmıştır. Depremlerde büyük hasarlar yaratabilen zemin sıvılaşması yeni ve mevcut yerleşim ve sanayi alanlarının güvenliği açısından son derece önemlidir. Yeni yerleşim ve sanayi alanlarının alüvyal zeminler üzerinde inşasından önce depremde zemin davranışlarından biri olan zemin sıvılaşması için sıvılaşma yatkınlığı ve tehlikesi taşıyan zeminlerin araştırılması gerekmektedir. Bu araştırmalar vasıtasıyla alınacak önlemler ile can ve mal kayıplarının en düşük seviyede olması sağlanacaktır.

Bana bu konuda çalışma olanağı veren, arazi ve büro çalışmalarında görüş ve katkılarını sağlayan tez danışmanı Yrd. Doç. Dr. Özkan CORUK'a, yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. Mustafa ERDİK'e (B.Ü.), Yapay Sinir Ağları ve Sıvılaşma konularında görüş ve katkılarını sağlayan Yrd. Doç. Dr. Kemal BEYEN'e, Yapay Sinir Ağları konusunda katkıda bulunan Yrd. Doç. Dr. Cihan KARAKUZU'ya, yardımlarını esirgemeyen ve katkıda bulunan Prof. Dr. Selçuk TOKEL, Doç. Dr. Feyzi GÜRER ve Yrd. Doç. Dr. Aydın KAVAK'a, Erzincan-Ekşisu'da Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli Araştırma Projesi (1992) verilerini sağlayan Doç. Dr. Ayfer ERKEN'e (İ.T.Ü), tezin hazırlanmasının farklı aşamalarında yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Sermin KILIVAN'a, Yüksek Lisans öğrencileri Banu YAZICIOĞLU, Çiğdem KAYABAŞLI, Emel COŞKUN, Gülnur KOÇ, Havva DUMAN ve Lisans öğrencileri Görkem AKBAŞ, Orhan GÖÇÜK, Mine Gönül AYDIN'a ve Doktora eğitimi boyunca bana göstermiş oldukları destek için Türkiye ve A.B.D.'deki ailemin tüm fertlerine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
TABLolar DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM1. GİRİŞ.....	1
1.1. İncelemenin Amacı.....	2
1.2. İnceleme Alanı.....	3
1.3. Çalışma Yöntemi ve Süresi.....	6
1.4. Önceki İncelemeler.....	7
1.4.1. Ulusal düzeyde yapılan incelemeler.....	7
1.4.2. Uluslararası düzeyde yapılan incelemeler.....	10
BÖLÜM 2. GENEL JEOLojİ VE TEKTONİK KONUM.....	15
2.1. Önceki Jeolojik İncelemeler.....	15
2.2. Bölgesel Jeoloji.....	19
2.3. Bölgesel Tektonik Konum.....	20
2.4. İnceleme Alanı Jeolojisi.....	26
2.4.1. Kuzey istif.....	27
2.4.1.1. Çınarlı formasyonu (Dç).....	29
2.4.1.2. İzmit formasyonu (TRi).....	31
2.4.1.3. Peksimet formasyonu (Kp).....	31
2.4.1.4. Akveren formasyonu (KTa).....	32
2.4.1.5. Korucu formasyonu (Tk).....	33
2.4.1.6. Acısu formasyonu (Tac).....	33
2.4.2. Güney istif.....	34

2.4.2.1. İznik metamorfizmaları (Pzi).....	36
2.4.2.2. Sarısu volkanitleri (Ts).....	37
2.4.2.3. Arslanbey formasyonu (Ta).....	38
2.4.3. Alüvyon (Qal1, Qal2).....	38
2.4.3.1. Yapay dolgu (Qd).....	40
BÖLÜM 3. BÖLGESEL VE GÜNCEL DEPREMSELLİK.....	42
3.1. Tarihsel Depremsellik.....	43
3.2. Aletsel Depremsellik.....	48
3.3. Güncel Depremsellik.....	51
BÖLÜM 4. ZEMİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ.....	57
4.1. Zeminlerin Genel Mühendislik Özellikleri.....	58
4.1.1. Geçirimsizlik (Permeabilite).....	59
4.1.2. Zeminlerin plastisitesi.....	60
4.1.3. Zeminlerin sıkışabilirliği.....	61
4.1.4. Zeminlerin dayanımı.....	63
4.1.5. Zeminlerin dane boyu dağılımı.....	63
4.2. İnceleme Alanı Zeminleri Mühendislik Özellikleri.....	64
4.2.1. Saraybahçe yerleşim alanı zeminleri mühendislik özellikleri.....	66
4.2.2. Kullar yerleşim alanı zeminleri mühendislik özellikleri.....	71
4.2.3. Köseköy yerleşim alanı zeminleri mühendislik özellikleri.....	75
BÖLÜM 5. ZEMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞLARI.....	81
5.1. Sıvılaşma Deformasyonu.....	82
5.1.1. Bu incelemede sıvılaşma analizleri ve terimleri.....	87
5.2. Oturma Deformasyonu.....	88
5.2.1. Kuru kumlarda meydana gelen oturmalar.....	89
5.2.2. Suyu doymuş kumlarda meydana gelen oturmalar.....	90
5.3. Kayma Deformasyonu.....	91
5.4. Sıvılaşma Potansiyeli Taşıyan Zeminlerin İyileştirilmesi.....	92
5.5. Güncel Depremlerde Görülen Zemin Davranışları.....	93
5.5.1. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi zemin davranışları.....	94
5.5.2. 1999 Chi-Chi depremi zemin davranışları.....	95

BÖLÜM 6. VERİ KAYNAKLARI.....	97
6.1. Jeolojik Veriler.....	97
6.2. Jeomorfolojik Veriler.....	99
6.3. Mühendislik Jeolojisi Verileri.....	103
6.4. Hidrojeolojik Veriler.....	104
6.5. Sismolojik Veriler.....	109
BÖLÜM 7. UYGULANAN YÖNTEMLER.....	111
7.1. Standart Sıvılaşma Yönteminin Gelişimi.....	111
7.2. Standard Sıvılaşma Analizi.....	113
7.2.1. Hesaplama teorisi.....	113
7.2.1.1. Çevrimsel gerilme oranı (CSR).....	114
7.2.1.2. Çevrimsel gerilme mukavemeti (CRR).....	115
7.2.1.2.1. SPT vuruş değerlerindeki düzeltmeler.....	115
7.2.1.2.2. SPT değerleri için ince tane düzeltmesi.....	117
7.2.1.2.3. CRR _{7,5} değerinin hesaplanması.....	118
7.2.1.3. Güvenlik katsayısı.....	119
7.2.2. Oturma hesapları.....	119
7.2.2.1. Suyu doymuş zeminlerde oturmalar.....	120
7.2.2.1.1. Tokimatsu and Seed (1987) yöntemi.....	120
7.2.2.1.2. Ishihara and Yosemine (1990) yöntemi.....	121
7.2.2.2. Kuru zemin oturmaları.....	123
7.2.2.3. Toplam oturma.....	126
7.3. Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri Yöntemi.....	126
7.4. Yapay Sinir Ağları Yöntemi.....	128
7.4.1. Yapay sinir ağlarının tarihsel gelişimi.....	129
7.4.2. Yapay sinir ağlarının ana bileşenleri.....	132
7.4.2.1. Ağırlık faktörleri.....	132
7.4.2.2. Toplama fonksiyonu.....	133
7.4.2.3. Transfer fonksiyonu.....	134
7.4.2.4. Ölçeklendirme ve sınırlama.....	135
7.4.2.5. Çıktı fonksiyonu.....	135
7.4.2.6. Hata fonksiyonu ve geri yayılım değeri.....	135
7.4.2.7. Öğrenme fonksiyonu.....	136

7.4.3. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi.....	136
7.4.3.1. Denetimli öğrenme.....	136
7.4.3.2. Denetimsiz eğitim.....	137
7.4.4. Geri yayılım ağı mimarisi ve algoritması.....	137
7.4.4.1. Yapay nöron modeli.....	138
7.4.4.2. Çok katmanlı ileri beslemeli ağ yapısı.....	139
7.4.5. YSA ile yapılan sıvılaşma çalışmaları.....	140
7.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri.....	144
7.5.1. Coğrafi bilgi sistemlerinin bileşenleri.....	144
7.5.2. Coğrafi bilgi sisteminde temel fonksiyonlar.....	145
7.5.2.1. Veri toplama.....	146
7.5.2.2. Coğrafi veri.....	146
7.5.2.3. Veri kaynakları.....	147
7.5.2.4. Coğrafi veri toplama yöntemleri.....	148
7.5.2.5. Veri depolama.....	148
7.5.2.6. Coğrafi veri tabanı.....	149
7.5.2.7. Veri sunuşu.....	150
7.5.3. Bu incelemede CBS.....	151
BÖLÜM 8. SIVILAŞMA ANALİZ UYGULAMALARI.....	153
8.1. Standard Sıvılaşma Analiz Uygulaması.....	154
8.1.1. Uygulamada kullanılan veriler.....	154
8.1.2. Yöntemin uygulanması.....	154
8.2. Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri Uygulaması.....	155
8.1.1. Uygulamada kullanılan veriler.....	155
8.1.2. Yöntemin uygulanması.....	156
8.3. YSA Sıvılaşma Analizi Uygulaması.....	157
8.3.1. Verilerin temini.....	158
8.3.2. Eğitim ve test veri setleri.....	158
8.3.2.1. Eğitim veri seti.....	158
8.3.2.2. Test veri seti.....	160
8.3.3. YSA modelinin oluşturulması.....	161
8.3.4. Eğitim safhası.....	163
8.3.5. Test safhası.....	163

8.3.6. Eğitim sonrası analiz (Postreg).....	163
BÖLÜM 9. SIVILAŞMA ANALİZ SONUÇLARI.....	166
9.1. Standard Sıvılaşma Analiz Sonuçları.....	166
9.1.1. Saraybahçe zeminleri sıvılaşma potansiyeli.....	166
9.1.2. Kullar zeminleri sıvılaşma potansiyeli.....	170
9.1.3. Köseköy zeminleri sıvılaşma potansiyeli.....	173
9.2. Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri Sonuçları.....	176
9.2.1. Saraybahçe ince taneli zeminleri.....	176
9.2.2. Kullar ince taneli zeminleri.....	177
9.2.3. Köseköy ince taneli zeminleri.....	179
9.3. Yapay Sinir Ağları Yöntemi Sonuçları.....	181
9.3.1. Eğitim safhası sonuçları.....	181
9.3.2. Test safhası sonuçları.....	183
BÖLÜM 10. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	189
KAYNAKLAR.....	194
EKLER.....	206
ÖZGEÇMİŞ.....	233

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

a_{max}	: Maksimum Yer İvmesi
c	: Kohezyon
CH	: Yüksek Plastisiteli Kil
CI	: Konsistans İndeksi
CL	: Düşük Plastisiteli Kil
$C_{\epsilon c}$: Düzeltme Faktörü
D_{50}	: Zeminin Ortalama Tane Boyu
D_r	: Rölatif Sıklık
E	: Elastisite
e_{max}	: Zeminin En Gevşek Haldeki Boşluk Oranı
e_{min}	: Zeminin En Sıkı Haldeki Boşluk Oranı
e_n	: Zeminin Doğal Haldeki Boşluk Oranı
G	: Yerçekimi İvmesi
G	: Kayma Modülü
GC	: Killi Çakıl
G_{eff}	: Kesme Deformasyonu
G_{max}	: Maksimum Kayma Modülü
GP	: Kötü Derecelenmiş Çakıl
G_s	: Özgül Yoğunluk
GW	: İyi Derecelenmiş Çakıl
K	: Zeminin Geçirirliiği
Km	: kilometre
K_o	: Yatay Yer Basıncı Katsayısı
LL	: Likit Limit
M	: metre
M_b	: Cisim Dalgası Manyetüdü
M_d	: Süre Manyetüdü
ML	: Düşük Plastisiteli Silt
M_s	: Yüzey Dalgası Manyetüdü
M_w	: Moment Manyetüdü
\emptyset	: İçsel Sürtünme Açısı
PI	: Plastisite İndisi
PL	: Plastik Limit

q_{cl}	: CPT Düzeltilmiş Uç Direnci
q_u	: Serbest Basınç Dayanımı
r_d	: Gerilme Azaltım Faktörü
S	: Doygunluk Derecesi
SC	: Killi Kum
SK	: Sondaj Kuyusu
SM	: Siltli Kum
SP	: Kötü Derecelenmiş Kum
SPT N₃₀	: Standard Penetrasyon Testi Vuruş Sayısı
SW	: İyi Derecelenmiş Kum
U	: Boşluk Suyu Basıncı
V_s	: Kayma Dalgası Hızı
w_n	: Doğal Su İçeriği
γ_{eyc}	: Efektif Çevrimsel Makaslama Yamulması
γ_d	: Dane Birim Hacim Ağırlığı
γ_n	: Birim Hacim Ağırlığı
ε_c	: Hacimsel Deformasyon
σ' = σ'_o	: Efektif Düşey Yük Gerilmesi
σ = σ_v = σ_o	: Toplam Düşey Yük Gerilmesi
T	: Kayma Gerilmesi
(τ_{av} / σ'_o)	: Eşdeğer Dinamik Kayma Gerilmesi

A.B.D.	: Amerika Birleşik Devletleri
ABD	: Ana Bilim Dalı
AIJ	: Architectural Institute of Japan
ANN	: Artificial Neural Network
ART	: Adaptif Rezonans Teorisi
ASTM	: The American Society for Testing and Materials
BPT	: Becker Penetration Test
CBS	: Coğrafik Bilgi Sistemi
CPT	: Conic Penetration Test
CRR	: Cyclic Resistance Ratio
CSR	: Çevrimsel Gerilme Oranı
CVT	: Coğrafi Veri Tabanı
DAD	: Deprem Araştırma Dairesi
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
D-B	: Doğu-Batı
DEM	: Digital Elevation Model
DMB	: Deprem Mühendisliği Bölümü
DMG SP	: Division of Mines and Geology Special Publication
DSİ	: Devlet Su İşleri
EERI	: Earthquake Engineering Research Institute
EJGE	: Electronic Journal of Geotechnical Engineering
ERI	: Earthquake Research Institute
ESRI	: Environmental Systems Research Institute
FC	: Fine Content
FS	: Factor of Safety
GB-GD	: Güneybatı – Güneydoğu
GIS	: Geographical Information System
GPS	: Global Positioning System
GRNN	: General Regression Neural Network
GSA	: Geological Society of America
GYA	: Geri Yayılım Ağı / Algoritması
İ.T.Ü.	: İstanbul Teknik Üniversitesi
IAEG	: International Association Engineering Geologist
IEEE	: Institute of Electronic and Electric Engineering
IRS	: Indian Remote Sensing
JSCE	: Japan Society of Civil Engineering
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KB-KD	: Kuzeybatı – Kuzeydoğu
K-G	: Kuzey-Güney
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

MCC	: Modified Chinese Criteria
ML	: Mekanik Öğrenme
MEÇK	: Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri
M.Ö.	: Milattan Önce
M.S.	: Milattan Sonra
M.T.A.	: Maden Tetkik ve Arama
MSF	: Magnitude Scale Factor
NCEER	: National Center for Earthquake Engineering Research
NRC	: National Research Council
PNN	: Probabilistik Ağları
RBF	: Radyal Tabanlı Fonksiyonlar
SOM	: Self Organizing Maps
SPT	: Standard Penetration Test
TDV/DR	: Türkiye Deprem Vakfı/Deprem Raporu
TF	: Transfer Fonksiyonu
T.P.A.O.	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
U.S.G.S.	: United States of Geological Survey
U.S.A.	: United States of America
USCS	: Unified Soil Classification System
UTM	: Universal Transverse Mercator
YAS	: Yeraltı Su Seviyesi
YSA	: Yapay Sinir Ağları
ZS	: Zemin Sınıfı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	İnceleme alanı yerbulduru haritası.	5
Şekil 2.1.	Türkiye ve çevresinin tektonik haritası (Barka 1992).	21
Şekil 2.2.	Anadolu Bloğu'nun GPS ölçümleri ile belirlenen hareket yönleri (McClusky et al 2000).	22
Şekil 2.3.	Türkiye tektonik hatları üzerinde meydana gelmiş depremler (Kahle et al 2000)	22
Şekil 2.4.	Marmara Bölgesi'nde KAF'ın kolları (Barka and Kadinsky-Cade 1988).	24
Şekil 2.5.	Anadolu Bloğunun Marmara Bölgesi GPS ölçümleri ile belirlenen hareket yönleri (Kahle et al 2000).	26
Şekil 2.6.	İnceleme alanı jeoloji haritası (M.T.A. 2003'ten değiştirilerek).	28
Şekil 2.7.	Kuzey İstif genelleştirilmiş stratigrafik sütün kesiti.	30
Şekil 2.8.	Güney İstif genelleştirilmiş stratigrafik sütün kesiti.	35
Şekil 2.9	İzmit Havzası ve civarının şematik jeolojik kesiti (Ölçeksiz).	41
Şekil 3.1.	Marmara Bölgesi tarihsel depremleri.	46
Şekil 3.2.	Tarihsel depremlerin yıllara göre dağılımları.	47
Şekil 3.3.	Marmara Bölgesi aletsel dönem depremleri ($M_s > 5.5$).	50
Şekil 3.4.	Kocaeli Depremi eş-şiddet haritası (Özmen 2000).	53
Şekil 3.5.	17 Ağustos 1999 Depremi İzmit Havzası yüzey kırığı.	54
Şekil 3.6.	17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi fay düzlemi çözümü.	55
Şekil 3.7.	17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi artçı şokları ($4.5 \leq M_b \leq 5.5$).	56
Şekil 4.1.	Zemin iskeleti ve zemini oluşturan kısımlar.	58
Şekil 4.2.	Sıvılaştıran ve sıvılaştırma potansiyeli taşıyan zeminlerin dane boyu dağılımı (Kasapoğlu ve diğ. 1999).	64
Şekil 4.3.	İnceleme alanında mühendislik özellikleri belirlenen kesimler.	65
Şekil 4.4.	Saraybahçe zemin araştırma sondajları.	67
Şekil 4.5.	Kullar Beldesi zemin araştırma sondajları.	72
Şekil 4.6.	Köseköy Beldesi zemin araştırma sondajları.	76
Şekil 5.1.	Zemin içinde deprem dalgalarının etkisi.	83
Şekil 5.2.	Zemin içinde oluşan gerilmeler.	84
Şekil 5.3.	Zemin tanelerinin sıvılaştırma esnasındaki durumu.	86

Şekil 5.4.	Deprem yükü ile meydana gelen oturma.	89
Şekil 6.1.	İnceleme alanını kapsayan 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli paftalar.	98
Şekil 6.2.	İzmit Havzası ve civarı 1/5.000 ölçekli paftalar.	98
Şekil 6.3.	İnceleme alanı ve civarı jeomorfoloji haritası.	100
Şekil 6.4.	İnceleme alanı ve civarı DEM görüntüsü.	102
Şekil 6.5.	İzmit Havzası akarsu ağı ve su bölüm hattı.	107
Şekil 6.6.	İzmit Havzası YAS genel durumu ve akış yönü.	108
Şekil 6.7.	1999 Kocaeli Depremi'nin farklı noktalarda kaydedilmiş ivme değerleri.	110
Şekil 7.1.	Derinlikle gerilim azaltım faktörü değişimi (Seed and Idriss 1971).	115
Şekil 7.2.	SPT değerlerinden ve sıvılaşma verilerinden elde edilen CRR temel eğrileri (NCEER 1997).	118
Şekil 7.3.	CSR ve düzeltilmiş SPT değerlerine göre hacimsel deformasyonlar.	121
Şekil 7.4.	Sıvılaşmaya karşı FS ve Dr ile ilişkili hacimsel deformasyonlar (Ishihara 1993).	122
Şekil 7.5.	Kesme deformasyonu grafiği (Tokimatsu and Seed 1987).	124
Şekil 7.6.	Hacimsel deformasyon grafiği (Tokimatsu and Seed 1987).	125
Şekil 7.7.	Manyetüd düzeltme faktörü (CivilTech 2002)	125
Şekil 7.8.	Şiddetleri VIII-IX olan Çin Depremleri'nde sıvılaşan zeminlerin Plastisite Kartı üzerinde dağılımları.	127
Şekil 7.9.	Genel hatlarıyla YSA çalışma sistemi (Demuth and Beale 2002).	128
Şekil 7.10.	YSA uygulamalarında sıkça kullanılan transfer fonksiyonları.	134
Şekil 7.11.	Yapay nöron modeli.	139
Şekil 7.12.	Çok katmanlı bir YSA'nın genel yapısı (Demuth and Beale 2002).	140
Şekil 7.13.	CBS kurulabilmesi için gerekli temel elemanlar.	145
Şekil 7.14.	CBS' nin temel yapısı.	145
Şekil 7.15.	CBS'inde katman yapısı.	149
Şekil 8.1.	Uygulanan yöntemlerin akış şeması.	153
Şekil 8.2.	Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri'ne göre sıvılaşma potansiyeli grafiği.	157
Şekil 8.3.	YSA modeli ve elemanları.	162
Şekil 8.4.	YSA'nda geri yayılım öğrenme algoritmasının genel çalışma akış diyagramı (Sağiroğlu ve diğ. 2003).	164

Şekil 8.5.	Matlab programında postreg rutini ile eğitim sonrası analiz.	165
Şekil 9.1.	Saraybahçe sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma ile oluşacak oturmalar.	169
Şekil 9.2.	Kullar Beldesi sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma ile oluşacak oturmalar.	172
Şekil 9.3.	Köseköy Beldesi sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma ile oluşacak oturmalar.	175
Şekil 9.4.	Saraybahçe Beldesi ince taneli zeminlerin sıvılaşma yatkınlığı grafiği.	177
Şekil 9.5.	Kullar Beldesi ince taneli zeminlerin sıvılaşma yatkınlığı grafiği.	179
Şekil 9.6.	Köseköy Beldesi ince taneli zeminlerin sıvılaşma yatkınlığı grafiği.	180
Şekil 9.7.	Eğitim seti çıktıları ile hedefler arasındaki uyum.	182
Şekil 9.8.	Eğitim seti toplam hata oranı.	182
Şekil 9.9.	Saraybahçe YSA sıvılaşma potansiyeli test sonuçları.	184
Şekil 9.10.	Kullar YSA sıvılaşma potansiyeli test sonuçları.	186
Şekil 9.11.	Köseköy YSA sıvılaşma potansiyeli test sonuçları.	188

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1.	Tarihsel depremlerin şiddet ve oluşum sıklığı.	45
Tablo 3.2.	Marmara Bölgesi aletsel dönem depremleri ($M_s > 5.5$).	51
Tablo 4.1.	İnce taneli zeminlerin LL değerlerine göre plastiklik sınıfları (IAEG 1981).	60
Tablo 4.2.	İnce taneli zeminlerin PI değerlerine göre plastiklik sınıfları (IAEG 1981).	61
Tablo 4.3.	İnce taneli zeminlerin konsistans indisi değerlerine göre plastiklik sınıfları (IAEG 1981).	61
Tablo 4.4.	Kum ve çakılların rölatif sıklıkları (IAEG 1981).	62
Tablo 4.5.	Zeminlerin SPT N_{30} değerlerine göre sıklık ve kıvam sınıfları (Peck et al 1974).	62
Tablo 4.6.	İnce taneli zeminlerin serbest basınç dayanım sınıfları (IAEG 1981).	63
Tablo 4.7.	Saraybahçe yerleşim alanı ince taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.	69
Tablo 4.8.	Saraybahçe yerleşim alanı iri taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.	70
Tablo 4.9.	Kullar yerleşim alanı ince taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.	74
Tablo 4.10.	Kullar yerleşim alanı iri taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.	75
Tablo 4.11.	Köseköy yerleşim alanı ince taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.	79
Tablo 4.12.	Köseköy yerleşim alanı iri taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.	80
Tablo 5.1.	Zemin sıvılaşması sonuçlarının sınıflaması (Castro 1987).	86
Tablo 6.1.	Zemin araştırma amaçlı sığ kuyular.	104
Tablo 6.2.	Derin D.S.İ. su kuyuları.	104
Tablo 7.1.	SPT N_{30} değerlerine uygulanan düzeltmeler (Youd and Idriss 1997).	116
Tablo 7.2.	$(N1)_{60}$, D_r (%) ve q_{cl} arasındaki ilişki.	123
Tablo 7.3.	Coğrafi veri kaynakları.	147

Tablo 8.1.	YSA kullanılan zemin sınıfları ve sayısal değerleri (Juang and Chen 2000).	159
Tablo 8.2.	Eğitim veri seti genel bilgileri.	160
Tablo 8.3.	Test veri seti genel bilgileri.	161
Tablo 9.1.	Saraybahçe LiquefyPro sınıflama analiz sonuçları özeti.	168
Tablo 9.2.	Kullar Beldesi LiquefyPro sınıflama analiz sonuçları özeti.	171
Tablo 9.3.	Köseköy Beldesi LiquefyPro sınıflama analiz sonuçları özeti.	174
Tablo 9.4.	Saraybahçe Belediyesi için Modifiye Edilmiş Çin Kriterlerinde kullanılan veriler.	176
Tablo 9.5.	Kullar Beldesi için Modifiye Edilmiş Çin Kriterlerinde kullanılan veriler.	178
Tablo 9.6.	YSA yapısı ve parametreleri.	181
Tablo 9.7.	Saraybahçe zeminleri YSA test sonuçları ile LiquefyPro Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.	184
Tablo 9.8.	Kullar zeminleri YSA test sonuçları ile LiquefyPro analiz sonuçlarının karşılaştırılması.	185
Tablo 9.9.	Kullar zeminleri YSA test sonuçları ile LiquefyPro analiz sonuçlarının karşılaştırılması.	187

BÖLÜM 1.GİRİŞ

Deprem koşullarında yerin davranışı, yapıların dengesine etkiyen önemli bir doğal olaydır. Bu davranışın anlaşılması deprem koşulları esnasında zemin dinamiği bilgisine ve zemin ortamının göstereceği deformasyon türüne bağlıdır. Deprem tarafından oluşturulan dinamik yükler zemin ortamlarda morfolojiye bağlı olarak değişik etkiler oluşturur. Bunlar zeminlerin sıvılaşması, zeminlerde oturmalar, yamaç ve şevlerde denge bozulması gibi etkilerdir. Ayrıca zeminin bulunduğu doğal ortama bağlı olarak da deprem dalgaları büyütmesi etkisi söz konusu olmaktadır.

Zeminlerin deprem esnasında oluşan tekrarlı yükler altında davranışları ortamda bulunan malzemelerin özelliklerine ve depremin karakteristiğine bağlıdır. Malzeme özellikleri zeminin cinsi, mekanik ve dinamik parametreleri, bulunduğu ortam ve deprem karakteristikleri ise sismik dalgaların genliği, frekans içeriği ve süresi olarak tanımlanabilir.

Deprem esnasında üretilen sismik enerji dalgaları değişik zeminlerde farklı etkiler ile kendilerini hissettirirler. Depremin yaratmış olduğu yer sarsıntısı, sıvılaşma, toprak kayması, zeminin oturması ve yatay yayılması gibi etkiler insan yaşamına ve insan yaşamının sürdürülmesi için gerekli olan binalara, alt ve üst yapılara büyük zararlar verirler. Deprem tektonik açıdan aktif bölgelerde her an hissedilecek kadar yaygın bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Depremin etkilerini en aza indirmek için bilim adamlarının ve mühendislerin yapmış olduğu çalışmalar ışığında hareket edilmelidir.

Türkiye'nin bulunduğu jeolojik konuma ve üzerinde oluşan tarihsel ve aletsel depremlere baktığımızda bir deprem ülkesi olduğu görülmektedir. Özellikle Kuzey Anadolu (KAF) ve Doğu Anadolu Fay (DAF) hatları civarında bulunan yerleşimler yıkıcı depremler ile zarar görmüş ve bu tehlike ile sürekli karşı karşıyadırlar. Kocaeli İli, İzmit şehri ve civarı bu tehlike ile yaşayan bölgelerdendir. 17 Ağustos 1999

Kocaeli Depremi bu gerçeği tüm açıklığı ile gözler önüne sermiştir. Bu bölgelerde yeni yerleşim alanları planlanmadan önce çok ayrıntılı araştırmalar yapılmalı ve Kuzey Anadolu Fayı'nın konumu göz önüne alınmalıdır.

Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi'nin hazırlamış olduğu deprem bölgeleri haritasında (DAD 1996) I. derece deprem bölgesi sınırları içinde kalan İzmit Havzası deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Kocaeli İli genelinde ise deprem tehlike bölgeleri haritasında, % 90'ı I. derece deprem bölgesi, % 10'luk kısmı da II. derece deprem bölgesine dahil olmaktadır. II. derece deprem bölgesinde olan kısmı Kandıra ilçe merkezi ile Kocaeli İl sınırı arasında kalan alan olmaktadır.

Herhangi bir alan yerleşime açılmadan önce gerekli çalışmalar yapılarak deprem riskinde göz önüne alınmasıyla zemin koşullarının çok ayrıntılı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Ortamın mühendislik jeolojisi özelliklerinin tanımlanması yanında jeoteknik parametrelerin de ortaya konulmasına dönük ayrıntılı çalışmalar yapılmalıdır. Mühendislik jeolojisi özelliklerinin tanımlanmasında jeolojik araştırmalar, jeofizik ölçümler, yerinde yapılan deneyler ve laboratuvar deneyleri ile veri birikimi temel başvuru kaynaklarıdır.

1.1 İncelemenin Amacı

İnceleme İzmit Havzası'nın batıda İzmit Körfezi'nden başlayıp doğuda Sapanca Gölü'ne kadar olan alanda bulunan genç çökeller olarak tanımlanan alüvyal kökenli zemin ortamının deprem esnasında davranışlarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Diğer bir anlatımla havzada birikmiş olan genç çökellerden oluşan zeminlerin deprem esnasında meydana gelen deprem yükleri ile olan ilişkilerinin araştırılmasıdır. Bu incelemede bu davranışlardan ağırlıklı sınıflama potansiyeli çeşitli yöntemlerle araştırılmıştır.

Deprem koşullarında zemin ortamlarının ince ve iri kırıntılı malzemelerinin göstereceği davranışlar farklı olacağından farklı zemin davranışları meydana gelebilmektedir. Farklı zemin davranışlarında depremde oluşan hasarların derecesinin yüksek ya da düşük olmasına neden olur. İzmit Havzası'nın depremde

göstereceği tepkiler havzanın genel durumu ve bazı kendine özgü koşullar ile ilişkilidir. İzmit Havzasının jeolojik faktörleri ile zemin koşulları, sediman kalınlığı, uniform ve temiz kumlu kırıntı oranı ve yeraltısuyunun konumu önem arz etmektedir. Özellikle uniform ve temiz kumlu kırıntı oranının yüksek ve yeraltı suyunun yüzeye yakın olması depremde oluşacak hasarın bu kısımlarda artmasına neden olacaktır. Ayrıca bu kesimde yerleşim alanlarının sıklığı, sanayi tesislerinin varlığı ve yeni yerleşim alanlarının da oluşturulması ile insan ve bina sayısının artması olacak bir depremde maddi ve manevi zararları arttıracaktır.

Bu çalışmanın ana amacı olan inceleme alanındaki farklı zemin gruplarının deprem esnasındaki davranışının belirlenmesi; havzanın mühendislik jeolojisi özelliklerini ortaya konulması için morfolojik, jeolojik, jeofizik, hidrojeolojik veri kaynaklarının kullanılması, jeoteknik parametrelerin detaylı çalışılması; derlenen tüm veriler ile bir veri tabanı oluşturulması ve yapıların üzerine inşa edileceği zeminin parametrelerinin iyi bir şekilde irdelenmesi aşamalarını içermektedir.

Yukarıda bahsedilen arazi ve mevcut verilerin derlenmesi ve güvenilirliği yüksek olan veriler ile ilişkili bir veri tabanının oluşturulması bu çalışmanın temel kısımlarından birini teşkil etmiştir. Oluşturulacak veri tabanı yardımıyla Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında çalışma alanı üzerine noktasal bazda haritalar yapılarak iyi bir modelleme için gerekli olan veri sürekliliğinin çalışma alanı görüntülenmesi sağlanmıştır. Bu işlem ile veri eksikliği olan kısımlarda yeni veri elde etme yoluna gidilmiştir.

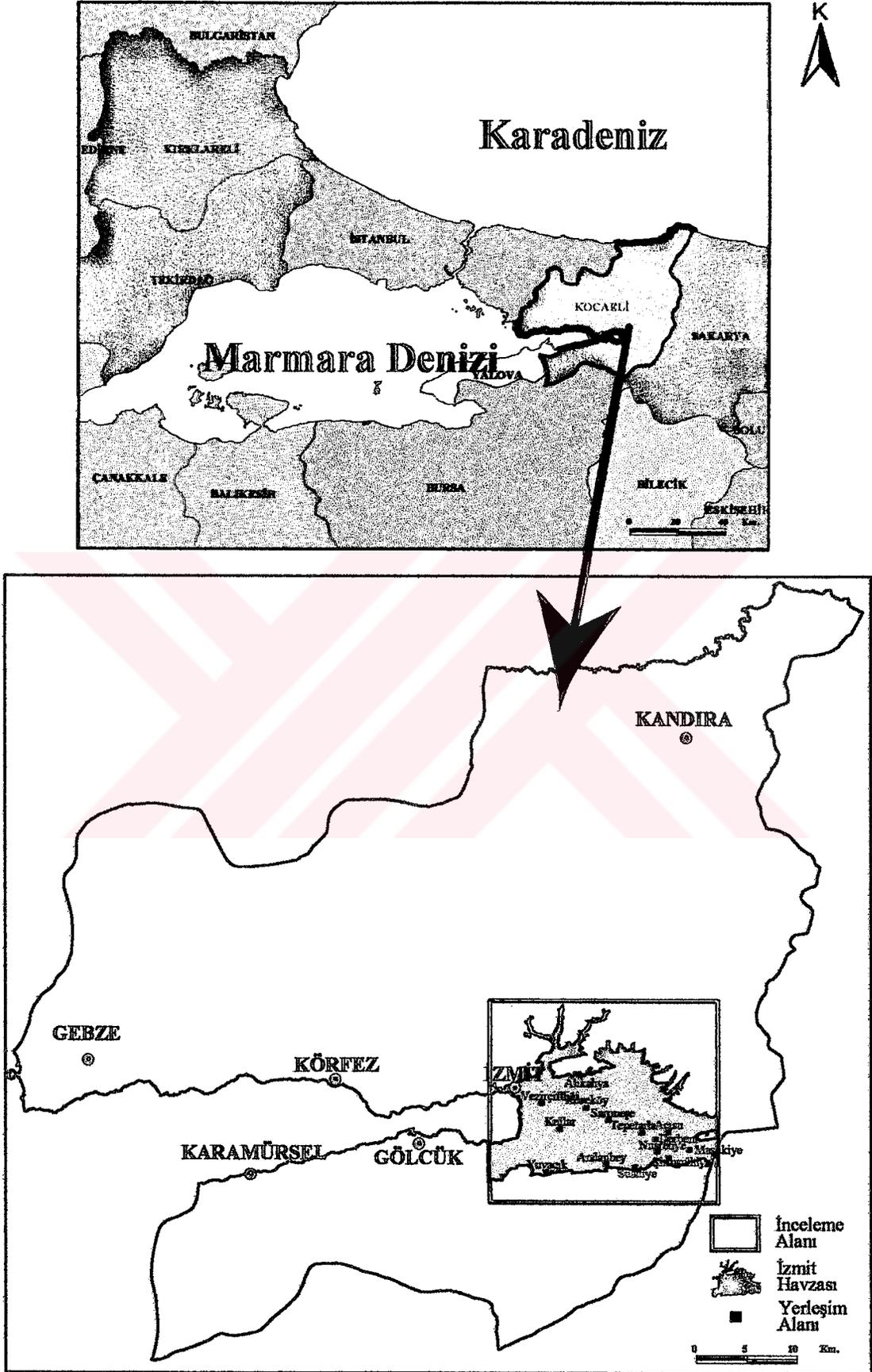
1.2 İnceleme Alanı

İnceleme alanı Kocaeli İli İzmit İlçesi sınırları dahilinde olup B'da İzmit Körfezi'nden D'da Sapanca Gölü'ne kadar uzanmakta, K-G yayılımı ise İzmit Ovası'nı sınırlayan yükselimler şeklindedir. D-B yönünde yaklaşık 20 kilometrelik bir uzunluk ve K-G yönünde 10 kilometrelik bir genişlik ile yaklaşık 200 km² lik bir alan kapsar. Havza doğuda Sapanca Gölü civarında daralmakta ve kuzey ile güneydeki yükselimler arasında bir çöküntü alanı şeklindedir.

İnceleme alanının batı kısmı 1:100.000 ölçekli Bursa G23 paftası, doğu kısmı ise Adapazarı G24 paftası dahilindedir. Ayrıca, çalışma alanı 1:25.000 ölçekli Bursa G23b3, c2, Adapazarı G24a3, a4, d1, d2 paftalarının bir kısmını veya tamamını kapsamaktadır. İnceleme alanı yaklaşık 50 adet 1:5.000 ölçekli harita paftaları ile temsil edilmektedir. İnceleme alanı coğrafi koordinatları yaklaşık olarak $40^{\circ} 42' 00''$ - $40^{\circ} 48' 00''$ K enlemleri ve $29^{\circ} 56' 00''$ - $30^{\circ} 08' 00''$ D boylamları arasında kalmaktadır (Şekil 1.1).

Bu alan içinde kalan önemli yerleşim merkezleri batıdan doğuya doğru İzmit Merkez, Kullar, Köseköy, Ali Kahya, Sarımeşe, Rahmiye, Arslanbey, Şirinsulhiye ve Derbent olarak yer almaktadır (Şekil 1.1). İnceleme alanı içinde kalan belediyeler ise batıdan doğuya doğru Saraybahçe, Bekirpaşa, Ali Kahya, Kullar, Yuvacık, Köseköy, Arslanbey, Suadiye, Sarımeşe, Uzunçiftlik, Derbent, Uzuntarla ve Maşukiye olarak sayılabilir.

İnceleme alanı topoğrafik olarak genelde düzlük bir alan olmakla beraber yükseklik değerleri 0 ile 50 metre arasında değişmektedir. Batıda İzmit Körfezi'nde deniz seviyesinden 0 metre kotu ile başlayıp doğuya doğru Sapanca Gölü civarında 35 metre kotuna ulaşır. Havzanın kuzey ve güney kısımlarında yükselimselinin başlamasıyla 40–50 metre kotlarına ulaşır. Havza kenarlarında eğim değerleri % 5' ten büyük değerler almaktadır, güney kenarındaki eğimler kuzey kenar eğimlerine göre daha yüksek değerler sunmaktadır. Havza içinde ise eğim değerleri % 0–5 arasında değişmektedir.



Şekil 1.1. İnceleme Alanı Yerbulduru Haritası.

1.3 Çalışma Yöntemi ve Süresi

Çalışma yöntemi arazi ve büro çalışmalarını kapsayan evrelerden oluşmaktadır. Arazi çalışmalarında havza içi ve civarının jeolojik araştırmaları ve hidrojeolojik çalışmaları kapsamaktadır. Jeolojik çalışmalar birimlerin ve formasyonların birbirleriyle olan dokanak ilişkileri, birimlerin tanımlanması, stratigrafik ilişkilerinin anlaşılması olarak tanımlanabilir. Ayrıca havza içinde 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen depremin yüzeyde yaratmış olduğu kırığın izleri GPS el alicısı ile nokta bazında kaydedilerek CBS ortamına aktarılmıştır. Bu arazi çalışmaları sonucunda 1/25.000 ve 1/5.000 ölçekli jeoloji ve Kuzey Anadolu Fay yüzey yırtığı haritaları yapılmıştır. Hidrojeolojik çalışmalar, havza içinde yeraltı su seviyesi (YAS) tespitine yönelik belirlenmiş kuyulardan aylık su seviyesi ölçümleri teşkil etmiştir. Bu ölçümler 2001–2004 yılları arasında yürütülmüştür.

Çalışmanın büro kısmında ise araziden ve diğer kaynaklardan elde edilen veriler ve bilgiler bilgisayar ortamına aktarılmış ve değerlendirilmiştir. Bilgisayar ortamında 1/25.000 ve 1/5.000 ölçekli jeoloji haritaları ve 17 Ağustos Kuzey Anadolu Fay izi CBS kullanılarak yapılmıştır. İnceleme alanı dâhilinde ilçe ve belde belediyelerin yaptırmış olduğu yerleşim amaçlı jeolojik ve jeoteknik inceleme raporlarından sondaj verileri, yerinde yapılmış deneylerden SPT verileri, laboratuvar analiz sonuçları ve jeofizik verileri derlenerek bir veritabanı oluşturulmuştur. Bu veritabanı yardımıyla 1/5.000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritaları üretilmiştir. Sondaj ve laboratuvar analiz verileri kullanılarak bir sıvılaşma analizi programı olan LiquefyPro (CivilTech 2002) ile farklı lokasyonlarda açılmış sondajlar yardımıyla zemin ortamlar sıvılaşma potansiyeli için analiz edilmiş ve çıkan sonuçlar CBS ile değerlendirilmiştir. Havza içindeki ince taneli zeminlerin sıvılaşma potansiyeli Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri yöntemi ile yapılmıştır. Son olarak farklı bir yaklaşım olan Yapay Sinir Ağları yöntemi kullanılarak sıvılaşma analizi yapılmıştır. Arazi çalışmaları 2001-2004 yılları, büro çalışmaları ise 2004-2005 yılları arasında geçen süre olarak tanımlanabilir

1.4 Önceki İncelemeler

Önceki çalışmalar yapılacak olan çalışma için bir yol göstericisi ve referans niteliğindedir. Bu nedenle konuyla ilgili olarak önceki incelemeler derlenerek anlamlı bir şekilde sunulmalıdır. Konu ile ilgili incelemelerin derlenmesi yapılacak bu çalışma için gerekli veri kaynaklarının oluşturulması ve yapılacak işin konseptinin anlaşılması için faydalı olmaktadır. Bu kısımda bu çalışma ile birebir veya kısmen ilişkili çalışmalar derlenerek ulusal düzeyde yapılan incelemeler ve uluslararası düzeyde yapılan incelemeler olarak iki kısım altında sunulmuştur. Jeolojik ve tektonik yapı hakkında yapılan önceki çalışmalar genel jeoloji ve tektonik konum bölümlerinde sunulmuştur.

1.4.1. Ulusal düzeyde yapılan incelemeler

Ulusal düzeyde yapılan incelemeler kapsamında çalışma alanı ve çalışma konusu ile ilgili incelemeler derlenmiştir. Bu incelemeler aşağıda kronolojik bir sıra takip edilerek sunulmuştur.

Adapazarı-İzmit-Bursa Bölgeleri için taşınabilen bir sismometre ile alüvyon zemin içinde yapılmış olan mikrotremor ölçümleri bir yüksek lisans bitirme tezi olarak sunulmuştur (Kösebay 1972). Gençoğlu ve Ayhan (1974) tarafından yapılan bir çalışmada İzmit İli ve civarında yapılan mikro bölgelendirme araştırmaları için uygulanan mikro tremor çalışmasının sonuçları verilmektedir. Erken ve Ülker (1994) ve Erken et al (1995) 1992 Erzincan Depreminde ($M_s=6.8$) Erzincan Havzası'nda Ekşisu Bölgesinde siltli ve kumlu tabakaların sıvılaşma özelliklerini araştırmışlardır. Deprem ile suya doymuş kumlu ve siltli tabakalarda görülen sıvılaşmanın nedenlerini araştırma amacıyla geniş kapsamlı SPT ve CPT deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, örselenmemiş numuneler laboratuvarında dinamik basit kesme deneylerine tabii tutulmuşlardır. 1992 Erzincan Depreminde karşılaşılan hasarın nedenlerini incelemek için çok detaylı bir hasar araştırması ve saha incelenmesi yapılmıştır. Bu çalışmanın ana amaçlarından biri jeoteknik durumların etkisini detaylı bir şekilde çıkarmak ve yerel jeoteknik faktörler, deprem karakteristikleri ve hasar dağılımı karşılaştırılmasının araştırılması olmuştur (Ansal and Lav 1995).

Sismik sıvılaşma potansiyelinin yapay sinir ağıları ile belirlenmesi çalışması Siyahi ve Anagün (1998) tarafından zemin ve deprem parametreleri arasındaki karmaşık ilişkiyi modellemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu çalışmada Gümüşova-Gerede otoyolu boyunca değişik alanlarda sıvılaşmanın olup olmayacağı, varsa ne derecede olacağı YSA yöntemi ile analiz edilmiştir. 17 Ağustos 1999 Depremi esnasında zemin koşullarının etkisi Erken (1999) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Adapazarı, İzmit ve Yalova dolaylarında yapılmış sondaj kesitleri ile zemin koşulları ortaya konmuştur.

Erken and Okan (1999), 1998 Adana-Ceyhan Depreminde zeminlerin davranışını incelemişlerdir. Deprem esnasında meydana gelen sıvılaşmayı araştırmak için sıvılaşma olan ve olmayan alanlarda sondajlar yapılarak iki bölge karşılaştırılmıştır. Kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyeli Yusayusa-2 efektif gerilme analiz yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İzmir Büyükşehir Belediyesi için KRDAE Deprem Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan Deprem Master Planında Geoteknik değerlendirme bölümü altında zeminlerin deprem yükleri altında davranışları incelenmiştir (Erdik et al 2000).

17 Ağustos Depremi sonrası Adapazarı'nda yapılan sıvılaşmış zeminlerde zemin davranışı modellemesinde kullanılan zemin araştırma yöntemleri, Adapazarı örneği Durgunoğlu ve diğ. (2000) tarafından sunulmaktadır. Sıvılaşmaya karşı zemin iyileştirilmesinin değerlendirilmesinde CPT kullanımı Emrem (2000) tarafından doktora çalışması olarak yapılmıştır. Bu tezde CPT, zemin sıvılaşması ve zemin iyileştirilmesi konularında detaylı çalışmalar yapılmıştır.

1998 Adana-Ceyhan Depremi mühendislik jeolojisi özellikleri yanında sıvılaşma ve sıvılaşmada zemin davranışının etkisi Ulusay et al (2000) tarafından incelenmiştir. Bu depremde sıvılaşan alüvyon zeminlerin arazi değerlendirilmeleri yapılarak, sıvılaşmaya neden olan etkenler araştırılmıştır. Adaher and Aydıngün (2000) 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi esnasında sıvılaşma incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Bu inceleme, depremin özelliklerini, depremin yaratmış olduğu zemin sıvılaşma ve sıvılaşmaya bağlı yer deformasyonlarını jeoteknik yönleriyle beraber araştırmakta ve analiz etmektedir.

Eskişehir yerleşim yeri zemin türlerinin ve sıvılaşma potansiyelinin konik penetrasyon testi (CPT) ile belirlenmesi incelemesi Nefeslioğlu ve diğ. (2001) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada II. derece deprem bölgesinde bulunan Eskişehir yerleşim alanının zemin türlerinin ve sıvılaşma potansiyelinin konik penetrasyon testi ile belirlenmesi anlatılmaktadır. Adapazarı zemin koşulları ile zemin deformasyonu arasındaki korelasyon ilişkilerinin araştırılması Sancio et al (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çokal Vadisi'ndeki (Gelibolu) alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyeli Ündül ve Gürpınar (2003) tarafından değerlendirilmiştir. Vadide araştırma amaçlı açılmış sondaj kuyularından alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerden dane çapı dağılımları ortaya konulmuş, sondaj kuyuları verileri LiquefyPro sıvılaşma analiz programında sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Çay-Eber (Türkiye) Depreminin (Md=6.0) jeoteknik açıdan genel bir değerlendirilmesi Ulusay et al (2004) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, ana şokun karakteristik özellikleri yanında yerel zemin koşulları, sıvılaşma olgusu ve doğal yamaç kaymaları araştırılmıştır.

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi artçı şokları etkisi altında Adapazarı Havzası'nın yer tepkisinin iki boyutlu lineer olmayan modellemesi Adapazarı Havzası'nın 17 Ağustos Depreminin artçı şoklarına göstermiş olduğu tepkinin iki boyutlu analizi için yapılmıştır (Beyen and Erdik 2004). 1998 Adana-Ceyhan (Türkiye) Depremi ve Ceyhan yerleşim alanı için sıvılaşma potansiyeline dayalı ön mikro bölgeleme çalışması Ulusay and Kuru (2004) tarafından yapılmıştır. Bu incelemede depremin karakteristik özellikleri yanında sıvılaşma alanları değerlendirilmiştir. Ayrıca, sıvılaşma yatkınlığı analizi verileri kullanılarak Ceyhan için ön mikro bölgeleme haritaları hazırlanmıştır.

Depremler sırasında zeminlerin sıvılaşması ve taşıma gücü kayıpları çalışması Erken ve diğ. (2004) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada öncelikle suya doygun kum, silt ve killerin deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceği üzerinde durulmuş, ikinci aşamada kumların ve düşük plastisiteli siltlerin sıvılaşma analizinin nasıl

yapıldığı anlatılmış, son kısımda ise plastik silt ve killerin dinamik yükler altında yumuşaması sonucu taşıma gücünün nasıl etkilendiği açıklanmıştır.

1.4.2. Uluslararası düzeyde yapılan incelemeler

Uluslararası incelemeler sıvılaşma analiz yöntemleri ve sıvılaşma nedenlerini araştırmaya yönelik çalışmalardır. Zeminlerin dinamik davranışlarından biri olan sıvılaşma için ilk çalışmalar özellikle 1964 yılında meydana gelen Alaska ($M_w=9.2$) ve Niigata ($M_s=7.5$) depremlerinden sonra başlamıştır. Seed and Idriss (1971) sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi için basitleştirilmiş yöntemi geliştirmişlerdir. Bu çalışma ile sıvılaşma analizlerinde kullanılan Seed yöntemi ortaya çıkmıştır.

SPT sonuçları ve sıvılaşmanın istatistiği Christian and Swiger (1975) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada belli bir deprem altında belli bir alanın sıvılaşp sıvılaşmayacağı belirlemede istatistiksel yaklaşımlar kullanılmıştır. Bu yaklaşım için kullanılan zemin parametreleri standart penetrasyon testleri ile elde edilmektedir. Bu yöntem için 39 veri değeri kullanılmıştır. Bu veriler farklı zamanlarda farklı yerlerde meydana gelen depremlerde yapılan sondajlar ile elde edilmiş zemin ve sismik parametreleri içermektedir. İstatistik yaklaşım yöntemi olarak diskriminant analiz kullanılmıştır. Bu yöntem ile düzeltilmiş ivme değeri ile relatif yoğunluk değerlerine bakılarak bir alanın sıvılaşan veya sıvılaşmayan alanlar kategorisine girip girmediği araştırılmıştır.

Iwasaki et al (1982) deprem esnasında zemin sıvılaşmasının değerlendirilmesi için basitleştirilmiş bazı yöntemler önermişlerdir. Tokimatsu and Yoshimi (1983) SPT-N değerleri ve ince tane oranına dayanarak zemin sıvılaşmasının amprik korelasyonu yöntemini tanıtmışlardır. Zemin sıvılaşma direncinin değerlendirilmesinde SPT yönteminin etkisi Seed et al (1985) tarafından araştırılmıştır. Araştırmanın amacı mühendislik uygulamalarında farklı SPT yöntemleri ile ilişkili enerji oranları ile ilgili verilerin değerlendirilmesi ve bu ilişkileri kullanarak SPT-sıvılaşma ilişkisinin daha anlaşılır bir şekilde belirlenmesi olarak tanımlanmıştır.

Enerji prensipleri ile zemin sıvılaşmasının değerlendirilmesi çalışması sıvılaşma potansiyelinin tanımlanmasında enerji kavramının laboratuvar ortamında kum nummeleri üzerinde nasıl yapıldığı hakkında bilgi vermektedir (Figureroa et al 1994). Zemin malzemeleri için davranış ilişkileri Prevost and Popescu (1996) tarafından incelenmiştir. Bu incelemenin amacı zemin davranış modelleri ve onlarla ilgili konular hakkında genel bir bakış sağlamaktır.

Kaliforniya San Fransisko Körfez Bölgesi Kuvaterner çökellerinin ve sıvılaşma yatkınlığının haritalanmasının tanımlanması çalışması Knudsen et al (2000) tarafından hazırlanmıştır. Bu çalışmada bahsi geçen alan için sayısal ortamda 1:24.000 ve 1:100.000 ölçekli jeolojik haritalardan yararlanılarak Kuvaterner çökellerin haritaları oluşturulmuş ve bu haritalardan sıvılaşma yatkınlığı haritaları üretilmiştir. Benzer bir çalışma olan sıvılaşma yatkınlığının haritalanması Helms et al (ESRI 2002) tarafından Kaliforniya'da Ventura yerleşim alanı için yapılmıştır. Bu çalışmada 1:12.000 ile 1:24.000 ölçekli sayısal Kuvaterner jeolojik haritalar ve sıvılaşma yatkınlığı haritaları üretilmiştir. Guo et al (2000) 1999 Chi Chi Depreminde Tayvan'da sıvılaşan zeminler için sıvılaşma yatkınlığını değerlendirmiştir. Bu incelemede zeminlerin sıvılaşma yatkınlığının belirlenmesi için Wang (1979) Çin kriterleri yöntemini kullanmışlardır.

Missouri Acil Kurtarma Güzergâhı, U.S. 60 için sismik tehlikelerin ön değerlendirmesi Santi et al (2002) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada belirli kısımlarda deprem dolayısıyla oluşabilecek heyelanlar, sıvılaşma yatkınlığının değerlendirilmesi ve baraj ve nehir taşkın yapılarının hasar görmesi ile muhtemel sel baskını tehlikeleri araştırılmıştır. Seed and Idriss (1971) ortaya koyduğu stress yaklaşımı ve ASTM standartlarına uyarlanmış Çin Kriterleri yöntemlerini kullanarak, Akaba (Ürdün) şehrinin sıvılaşma potansiyeli Mansoor et al (2004) tarafından yapılmıştır. Literatürde Çin Kriterleri olarak geçen yöntem ince taneli, kohezyonlu (genelde silt, killi silt) türü zeminlerin sıvılaşma potansiyelini ortaya koymak amacıyla Wang (1979) tarafından geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yöntem daha sonra Perlea et al (1999) tarafından ASTM standartlarına uyarlanarak geliştirilmiştir.

İran'ın Tahran şehri güney kısımları için sıvılaşma potansiyeli Hosseini et al (2004) tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmada Tahran şehri için farklı kuruluş ve araştırmacılar tarafından yapılan sıvılaşma potansiyeli çalışmaları ile beraber yazarların kendi yaptıkları çalışmalar ile bahsi geçen alanların sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu çalışmalar sonucu elde edilen mikro bölgeleme haritaları da çalışmada sunulmuştur.

1999 Chi-Chi Tayvan Depremi ($M_w = 7.5$) arazi gözlemleriyle ilişkili sismik yer hareketi, su seviyesi değişimi ve sıvılaşma çalışması Wang et al (2003) tarafından ortaya konmuştur. Deprem esnasında kaydedilen veriler ve arazide elde edilen verilerin birleşimi ile havza bazında sismisite-zemin ilişkisi ortaya konulmuştur. Andrus and Stokoe (1998), kayma dalgası (V_s) hızlarını kullanarak sıvılaşmaya karşı zeminin direncini hesaplayan bir yöntem ortaya koymuşlardır. İncelemelerinde sıvılaşma direncini değerlendirmede küçük deformasyon yaratan kayma dalgası hızını kullanmışlardır. Bu yöntemin geliştirilmesinde analitik çalışmalar, laboratuvar çalışmaları ve sınırlı ölçüde arazi verileri kullanılmıştır. Massachusetts, Boston Bölgesinde sıvılaşma tehlikesinin haritalanması Baise et al (2004) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma ile Massachusetts, Boston metropol alanında yer alan doğal çökeller ve dolgu alanlarının sıvılaşma yatkınlığı ve tehlikesi değerlendirilmiştir.

Sıvılaşma analizlerinde yeni bir yaklaşım olan YSA kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Yapay Sinir Ağları (YSA) metoduyla sismik sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmesi Goh (1994) tarafından 1891–1980 tarihleri arasında farklı ülkelerde meydana gelmiş 85 depremin verileri kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada sismik ve zemin parametreleri ve sıvılaşma potansiyeli arasındaki karmaşık ilişkinin modellenmesinde yapay sinir ağları metodunun kullanılabilirliği araştırılarak, elde edilen sonuçlar standard sıvılaşma analizi ile karşılaştırılmıştır. Goh (1996) aynı yöntemi kullanarak sıvılaşma potansiyelini CPT verilerinden yararlanarak değerlendirmiştir. CPT sismik sıvılaşma verilerinin yapay sinir ağları yöntemi ile modellenmesi çalışmasında, CPT arazi verileri kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde yapay sinir ağları yönteminin kullanılabilirliği test edilmiştir (Goh 1996).

Kayma dalgası hızı ölçümlerine dayanarak sıvılaşma değerlendirilmesi için sınır durumunun geliştirilmesinde rasyonel bir yöntem Juang and Chen (2000) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde arazi verileri kullanılmıştır. Sıvılaşma görülen ve görülmeyen alanlarda V_s hızları ölçülmüş diğer arazi verileri ile bir veritabanı oluşturulmuştur. Sıvılaşan alan ile sıvılaşma olmayan alanları ayırmada yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak bir sınır geliştirilmiştir. Bu sınır durum, zemin direnç parametrelerine karşılık bir çevrimsel direnç oranı vermektedir. Veritabanındaki tüm durumların değerlendirilmesi göstermiştir ki sıvılaşmanın olup olmayacağının tahmininde yüksek derecede güvenilirlik sunmuştur. Geliştirilen YSA modeli zeminin çevrimsel direnç oranını oldukça doğru tahmin etmektedir.

Shahin et al (2001) jeoteknik mühendisliğinde yapay sinir ağları uygulamalarını değerlendirmişlerdir. Değerlendirmenin amacı jeoteknik mühendisliği problemlerinin çözümünde kullanılan yapay sinir ağlarının uygulamalarına genel bir bakış sunmaktır. Jeoteknik mühendisliği uygulamalarından kazık kapasite tahmini, zemin davranışı modellemesi, destek yapıları, yapıların oturması, tünellerin tasarımı, sıvılaşma, zemin permeabilitesi, zemin kompaksiyonu, zemin şişmesi ve sınıflaması çalışmalarında yapay sinir ağları yöntemi ile başarılı sonuçlar elde edildiği belirtilmiştir.

Goh (2002) sismik sıvılaşma potansiyelini, olasılık türü bir yapay sinir ağı modeli ile değerlendirmiştir. Konik penetrasyon testi ve kayma dalgası hızı yardımıyla elde edilmiş arazi verileri kullanılarak iki farklı analiz gerçekleştirilmiştir. Model standart sıvılaşma analizlerine göre sıvılaşmanın oluşması veya oluşmasının tahmininde daha başarılı bir performans ortaya koymuştur.

Barai and Agarwal (2002) sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmesi için farklı durumlara dayalı öğrenme modellerini araştırmışlardır. Bu çalışmada makina tabanlı bir sistem olan duruma dayalı öğrenme yöntemi CPT arazi verileri kullanılarak test edilmiştir. İnşaat mühendisliği problemlerinde yapay sinir ağları uygulamaları Jeng et al (2003) tarafından gerçekleştirilmiştir. İnşaat mühendisliğinin bazı alanlarında karşılaşılan problemler için YSA yöntemi yaklaşımı ile çözüm üretmişlerdir. Dalga seviyesi tahmini, deprem ile meydana gelen sıvılaşma ve dalga ile oluşturulan sahil

dengelesizlikleri, YS alanlarında karşılaşılan problemlerin çözümünde YSA doğru ve etkili bir yöntem olmuştur. Chu et al (2003) zemin davranışı ve sıvılaşma analizlerini içeren çalışmasını Tayvan merkez yerleşim alanları için gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada derlenen 25 sondaj ve 6 CPT verisi kullanılarak standard sıvılaşma, CPT ve kayma dalgası (Vs) hızına dayalı yaklaşımlarla sıvılaşma değerlendirilmiştir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar YSA yöntemleri ile de karşılaştırılmıştır.

1999 Türkiye ve Tayvan Depremleri verilerini kullanarak YSA modeli ile tabakalı zeminlerin sıvılaşma potansiyeli çalışması Saygılı et al (2005) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, yapay sinir ağlarından genel regresyon ağları (GRNN) modelini, 1999 yılında Türkiye ve Tayvan'da meydana gelen iki büyük depremin sismik ve arazi verilerine uygulamışlardır. Önerilen GRNN modeli seçilen alanlarda zemin sıvılaşmasının olup olmayacağını doğru bir şekilde tahmin etmiştir. Model sismik koşullarda sıvılaşmaya duyarlı alanların değerlendirilmesinde jeoteknik mühendislere güvenilir bir yöntem sunmaktadır.

BÖLÜM 2. GENEL JEOLJİ VE TEKTONİK KONUM

Jeoloji bir bölgede bulunan kayalar ve zemin ortamların oluşumlarını, yaşlarını, yatay ve düşey dağılımlarını, fiziksel özelliklerini belirler. Jeolojik incelemeler ile jeolojik birimlerin bu özellikleri ortaya konulur. Bu nedenle jeolojik çalışmalar bir bölgenin jeolojisini, tektoniğini ve jeolojik evrimini açıklamaya yöneliktir. Bir bölgenin geçirmiş olduğu jeolojik ve tektonik evrim o bölgede bulunan kaya ve zeminlerin ne tür şartlarda ve nelerden oluştuğunu ortaya koymaktadır. Jeolojik çalışmalar bölgede bulunan kaya ve zeminleri tanımlayarak oluşumlarından günümüze kadar geçirdikleri evreleri açıklarlar.

İnceleme alanının jeolojisi ve tektonik konumu incelemenin amacına göre önem kazanmaktadır. İnceleme alanının jeolojisi yanında bölgesel jeoloji ve tektonik konum bir bütünün parçaları olarak düşünülüp ortaya konulmalıdır. Bu bölümde ilk olarak Kocaeli ve Armutlu Yarımada larını kapsayan önceki jeolojik çalışmalar derlenerek sunulmuştur. Kocaeli İli ve civarının bölgesel jeolojisi ve tektonik konumu ile inceleme alanı jeolojisi önceki jeolojik incelemelerinden sonra açıklanmaktadır.

2.1. Önceki Jeolojik İncelemeler

Marmara Bölgesinde farklı alanlar ve amaçlar için jeolojik ve tektonik içerikli daha önce yapılmış pek çok inceleme bulunmaktadır. Bu incelemeler doğu Marmara bölgesinde yer alan Kocaeli Yarımadası, Armutlu Yarımadası, İzmit Körfezi ve çevresi, Sapanca Gölü ve çevresi alanlarında jeolojik, jeomorfolojik ve tektonik özellikleri ortaya koymaya yöneliktir. Aşağıda derlenen bu incelemeler kronolojik bir sıra takip edilerek anlatılmaktadır. Bu araştırmalar inceleme alanı jeolojisini ve tektoniğini ortaya koymada temel teşkil etmişlerdir.

İnceleme alanı kuzey ve güney olmak üzere farklı iki jeolojik istiftten oluştuğundan bu istiflere ait daha önceki incelemeler derlenmiştir. Bu çalışma için derlenen incelemeler 1963–2003 tarihleri arasında yapılmıştır. Kuzeyde Kocaeli Yarımadası olarak nitelendirilen kısım ile ilgili çalışmalar Abdüsselamoğlu (1963), Altınlı (1968) ve Çakır (2000) tarafından yapılmıştır. Güneyde ise Armutlu Yarımadası ile ilgili çalışmalar Akartuna (1968), Gönçüoğlu (1991) ve Yılmaz ve diğ. (1994) tarafından yapılmıştır. Seymen (1995) incelemesinde kuzey ve güney kesimin jeolojisini açıklamaktadır. İzmit Havzası jeolojisi çalışmaları Bargu ve Yüksel (1993), Bargu (1993), Doğan (1998) ve Herece ve Akay (2003) tarafından yapılmıştır. Marmara Bölgesi jeolojisi ve tektoniği incelemeleri Sakınç ve Bargu (1989), Emre ve diğ. (1998), Barka ve diğ. (1998), Barka (1997), Yılmaz ve diğ. (1994) ve Koral ve Eryılmaz (1995) yapmışlardır. Bu incelemeler ile yapılan araştırmalar aşağıda kronolojik bir sıra ile açıklanmaktadır.

Kocaeli Yarımadası'nın jeolojisi Abdüsselamoğlu (1963) tarafından Maden Tetkik ve Arama (M.T.A.) için 1/100.000 ölçeğinde hazırlanmıştır. Bu araştırmada Kocaeli Yarımadasında yer alan jeolojik birimler zaman-kaya ayırtlanmasına göre haritalanmış ve birimlerin birbirleriyle olan ilişkileri ortaya konmuştur. Kocaeli Paleozoyiği ile ilgili diğer bir inceleme Altınlı (1968) tarafından İzmit-Hereke-Kurucadağ Alanın Jeolojisi ile yapılmıştır. Bu çalışmada jeolojik istif stratigrafisi, Alt Ordovisiyen-Kuvaterner zaman aralığında, formasyon ve üye bazında açıklanmıştır. Jeolojik birimlerin litolojik özellikleri, yayılımları, stratigrafik kalınlıkları ve dokanak ilişkileri tanımlanmıştır. Çalışmada ayrıca yapısal jeoloji, ekonomik jeoloji ve jeomorfolojik özelliklere de kısaca değinilmiştir.

Armutlu Yarımadası'nın jeolojisi ile ilgili ilk çalışmalardan birisi Akartuna (1968) tarafından yapılmıştır. Bu incelemede İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü güneyinde D-B doğrultusunda uzanan 4.000 km²'lik bir alanın jeolojisi açıklanmaktadır. Temelde bulunan Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler ve onların üzerlerinde stratigrafik olarak bulunan Permokarbonifer, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı örtü birimlerin jeolojisi ortaya konmuştur. Bölgede oluşmuş magmatik ve volkanik faaliyetler ile tektonik hareketler de incelenmiştir.

Sakıncı ve Bargu (1989) İzmit Körfezi güneyindeki Geç Pleyistosen (Tireniyen) çökel stratigrafisi ve bölgenin neotektonik özelliklerini araştırmışlardır. Bu araştırmada Karamürsel yöresinde gözlenen Geç Pleyistosen çökellerinin stratigrafik, paleontolojik özellikleri ile bölgenin neotektonik özellikleri de açıklanmaktadır.

Armutlu Yarımadası'nın jeolojisi Göncüoğlu (1991) tarafından da incelenmiştir. Bu çalışmada Armutlu Yarımadası'nı oluşturan temel kayalar ve bu temel kayalar üstündeki örtü istiflerin stratigrafik özellikleri incelenmiştir. Birimlerin coğrafik dağılımı, kaya türü özellikleri, dokanak ilişkileri ve yaşları hakkında elde edilen bulgular sunulmuştur. Neotektonik özellikler ile Armutlu Yarımadası'nın ve yakın dolayının tektonik yapısı da ortaya konulmaktadır.

İzmit Körfezi'nin Kuvaterner deniz dibi çökellerinin stratigrafik ve yapısal özellikleri ile kalınlıklarının dağılımı Bargu ve Yüksel (1993) tarafından incelenmiştir. Bu incelemede ilk olarak İzmit Körfezi kuzey, güney ve doğu kesiminin stratigrafisi açıklanmıştır. Ayrıca, İzmit Körfezi deniz dibi stratigrafisi, yapısal özellikleri, güncel çökelleri ve kalınlıklarının dağılımı da irdelenmektedir.

Sapanca Gölü çevresindeki Orta Pleyistosen çökellerinin stratigrafisi, yakın dolayındaki çökellerle karşılaştırılması ve tektonik özellikleri Bargu (1993) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü arasında ve Sapanca Gölü çevresi inceleme alanında Kuvaterner öncesi stratigrafisi ve Kuvaterner stratigrafisi sunulmuştur. Kuvaterner stratigrafisi detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Ayrıca inceleme alanının tektonik özellikleri Alt-Orta Pleyistosen'deki paleocoğrafik konum hakkında bilgiler sunulmaktadır.

Yılmaz ve diğ. (1994) Kuzeybatı Anadolu'da Geç Kretase yaşlı kıta kenarının evrimi çalışmasıyla Armutlu Yarımadası ve yakın dolaylarının ve Sakarya Kıtasının jeolojik evrimini irdemişlerdir. Araştırmacılar K'den G'ye doğru Rodop-Pontid Fragmanı, İç Pontid Okyanusu ve Sakarya Kıtasına ait tektonik birlikleri ve onların stratigrafilerini ortaya koymuşlardır.

İzmit Körfezi ve çevresinin jeolojisi Seymen (1995) tarafından derlenerek İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi çalışmasında sunulmuştur. Bu incelemede Kocaeli Yarımadası' nın ve Armutlu Yarımadası' nın jeolojisi ve jeolojik birimleri açıklanmaktadır. Kocaeli Yarımadası jeolojisi kısmında İstanbul Anadolu Yakası ile Sapanca Gölü arası jeolojik birimler zaman-stratigrafisi ile açıklanmıştır. Armutlu Yarımadası jeolojisinde ise birimler kaya-stratigrafisi ile tanımlanmıştır.

İzmit Körfezi'nin Tektoniği çalışması Koral ve Eryılmaz (1995) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada İzmit Körfezinin birbirini izleyen D-B yönünde uzanan aşamalı üç grabenden oluştuğunu belirtmişlerdir. Marmara Bölgesi'nin neotektoniği çalışması Barka (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir. Marmara Denizi Bölgesinde Kuzey Anadolu Fay Zonunun segmentlerinin geometrisi, kinematığı ve deprem aktivitesi araştırılmıştır. Bu incelemede İzmit Körfezi, İznik-Gemlik, Ganos-Saros ve Biga Yarımadası jeolojisi, jeomorfolojisi ve deprenselliği araştırılmıştır. Bölgenin neo-tektonik özellikleri hakkında bilgiler yanında İzmit Körfezi ve İznik civarı deprem aktiviteleri tarihsel ve aletsel kayıtlara dayanarak açıklanmaktadır.

Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaterner'deki Evrimi Emre ve diğ. (1998) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu incelemede Doğu Marmara Bölgesinde Neojen-Kuvaterner çökelleri konu edilerek bu çökellerin kaya türü ve stratigrafisi, günümüzdeki morfolojik konumları ve neotektonik dönem deformasyonları ele alınarak çökel havzaları tartışılmıştır. Ayrıca, tektonizma-morfoloji-depolanma etkileşimlerinden hareketle bölgenin Neojen-Kuvaterner'deki paleocoğrafik evrimine yeni bir yaklaşım sunulmuştur.

Marmara Denizi jeolojisi ve jeofiziği incelemesinde Barka ve diğ. (1998) tarafından Marmara Denizi ve çevresi jeolojisi, coğrafik özellikleri, tektonik özellikleri ve deprem aktivitesi ortaya konulmuştur. Marmara Denizi ve çevresi jeolojisi ile Marmara Denizi çevresinde yer alan önemli jeolojik birimler, temel kayalar ve Neojen-Kuvaterner birimler olarak sunulmuştur. Temel kayalar Sakarya Kıtası, İntra-Pontid Kenet Kuşağı ve Pontidler olarak üç kısımda toplanmıştır. Denizel, karasal ve delta fasiyeslerinde çökelmiş Neojen birimler Gelibolu-Çanakkale Yöresi, İstanbul

batısı (Trakya) ve Doğu ve Güney Marmara için tanımlanmıştır. Kuvaterner ise Pleyistosen ve Holosen zaman birimleri dâhilinde incelenmiştir.

Yuvacık (İzmit)-Sapanca (Sakarya) dolaylı Orta Pleyistosen çökellerinin stratigrafisi ve Kuzey Anadolu Fayı deformasyon analizi Doğan (1998) tarafından araştırılmıştır. Bahsi geçen alandaki Neojen yaşlı çökellerin özellikleri ve maruz kaldıkları tektonik deformasyonlar açıklanmaktadır. İzmit-Körfez (Kocaeli) dolayının ve K'nin stratigrafisi Çakır (2000) tarafından incelenmiştir. İncelemede Kocaeli Yarımadası'nın GD'sunda bulunan çalışma alanının stratigrafisi ortaya konulmuştur. Çalışma alanındaki Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı jeolojik birimler, formasyon ve üye bazında ayırtlanmıştır.

Herece ve Akay (2003) Kuzey Anadolu Fay (KAF) boyu jeoloji atlası çalışmasında Bingöl'den Edirne'ye kadar uzanan KAF boyunca, jeolojik birim ve formasyonların 1/100.000 ölçeğinde haritalarını hazırlamışlardır. İzmit Havzası ve civarı jeolojik birimleri ve havzayı D-B kesen KAF'ı atlasta haritalanmıştır.

2.2. Bölgesel Jeoloji

İnceleme alanı Marmara Bölgesi'nde Marmara Denizi'nin doğusunda yer alan Kocaeli ili sınırları içindedir. İnceleme alanı Kocaeli İli dâhilinde olması sebebiyle bu bölümde Marmara Bölgesi'nin doğu kısmının bölgesel jeolojisi sunulmaktadır. Bir bütün olarak bakıldığında Doğu Marmara Bölgesi K'de Pontidlerden İstanbul-Zonguldak Zonu, güneyde Sakarya kıtası ve bu ikisi arasında Intra Pontid Kenet Kuşağı gibi paleotektonik döneme ait önemli üç tektonik birlik içermektedir. Bu üç tektonik birlik kendine özgü jeolojik istiflerden meydana gelmektedirler. Kocaeli ili sınırları dâhilinde İzmit Körfezi'nin K'inde ve G'inde iki farklı istif yer almaktadır. Bu iki farklı jeolojik istifin nedeni Kuzey Anadolu Fayıdır (KAF). KAF sağ yönlü doğrultu atımlı olup kuzey ve güneyde bulunan iki farklı tektonik birliği bir araya getirmektedir.

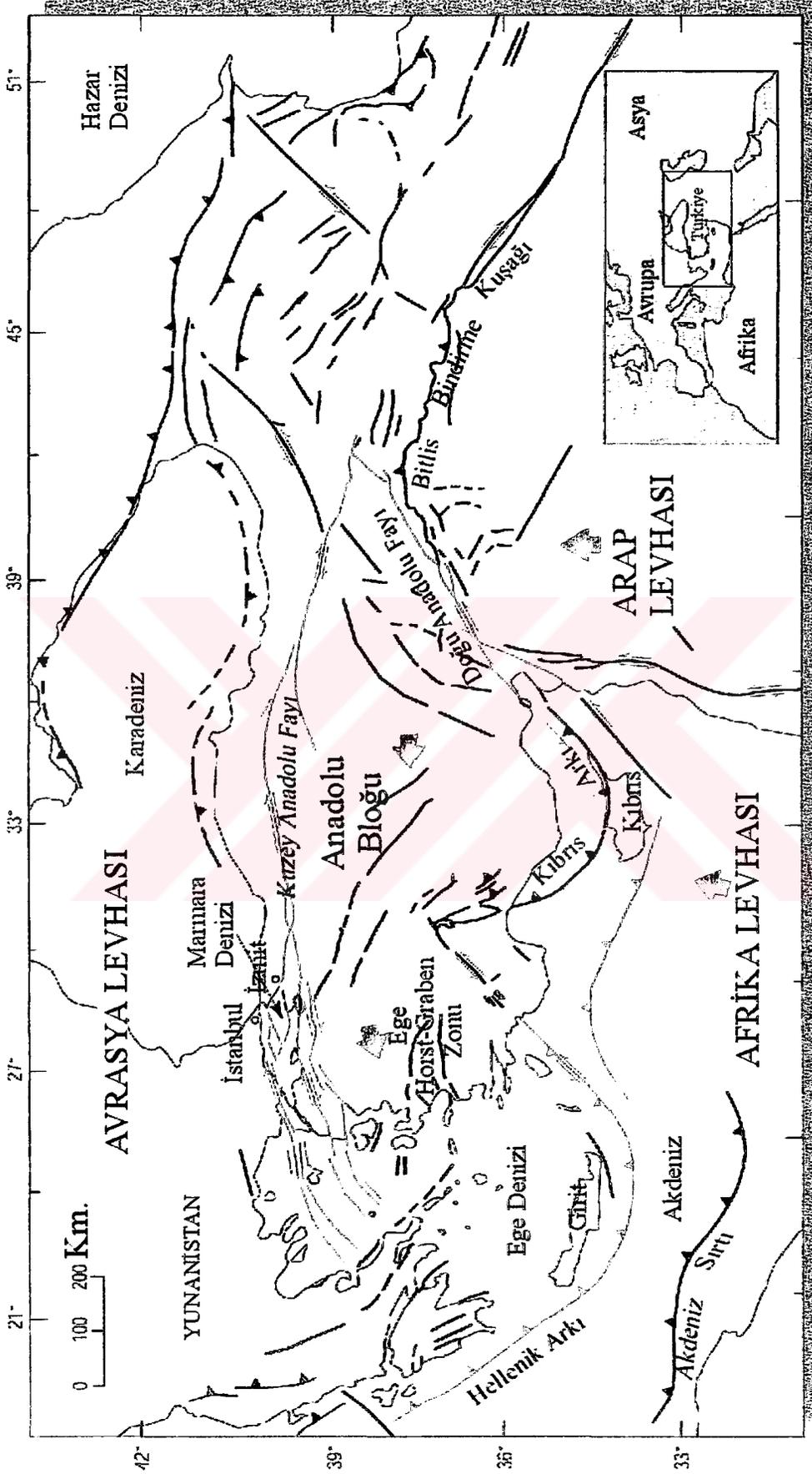
Kuzey istifte temelde Paleozoyik yaşlı sedimanter kayalar yer almaktadır. Paleozoyik temel üzerine Mesozoyik yaşlı sedimanter kayalar yer yer uyumlu veya

diskordanstır. Güney istifin temelinde Paleozoyik yaşlı İznik metamorfikleri yer almaktadır. Temel üzerinde Alt-Orta Eosen yaşlı kırıntılı ve volkanik kırıntılı sedimanter kayalar ile bunları yer yer örten Orta-Üst Eosen yaşlı volkanik kayalar vardır. Kuzey ve Güney istiflerin bir araya geldikleri KAF zonu boyunca çöküntü havzalar meydana gelmiştir. Bunlardan birisi olan İzmit Havzası'nda ise genç birimlerden Neojen ve Kuvaterner yaşlı sedimanter çökeller bulunmaktadır.

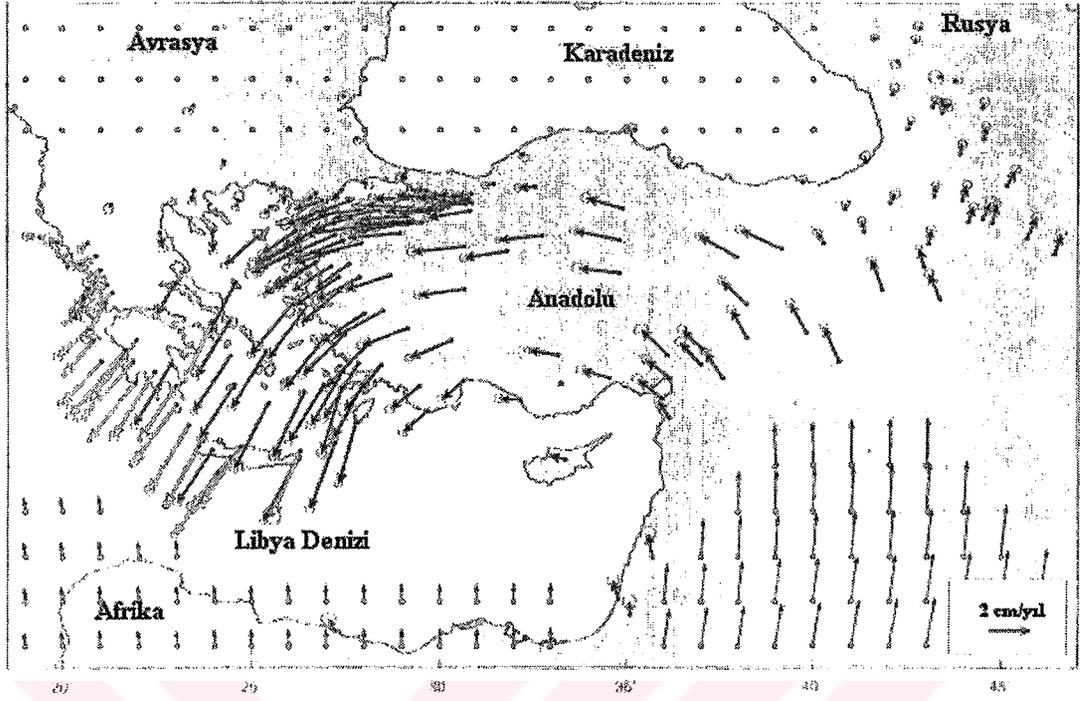
2.3. Bölgesel Tektonik Konum

Türkiye coğrafi konum olarak aktif tektonik bir kuşak içinde yer alır. Alp-Himalaya deprem kuşağı olarak adlandırılan bu kuşak, doğuda Himalayalar'dan başlayarak, batıda Azor Adalarına kadar uzanır. Doğu Akdeniz ve Ortadoğu'nun aktif tektonik yapısını, Afrika ve Arap levhalarının Avrasya levhası ile çarpışması oluşturmaktadır (Şekil 2.1). Levha tektoniği modeli NUVEL 1-A (DeMets et al 1994) göre, Arap levhasının, Avrasya levhasına doğru, K- KD doğrultusunda, yaklaşık 3 milyon yıldır 18–25 mm/yıl hız ile hareket ettiğini göstermektedir. Bununla beraber, yine aynı modele göre, Afrika levhası da, K'e doğru yaklaşık 10 mm/yıl hız ile Avrasya levhası ile çarpışmaktadır. Afrika ve Arap levhaları arasındaki hız farklılığı sol yönlü doğrultu atımlı faylanma olan Ölü Deniz Fayının oluşmasına yol açmıştır.

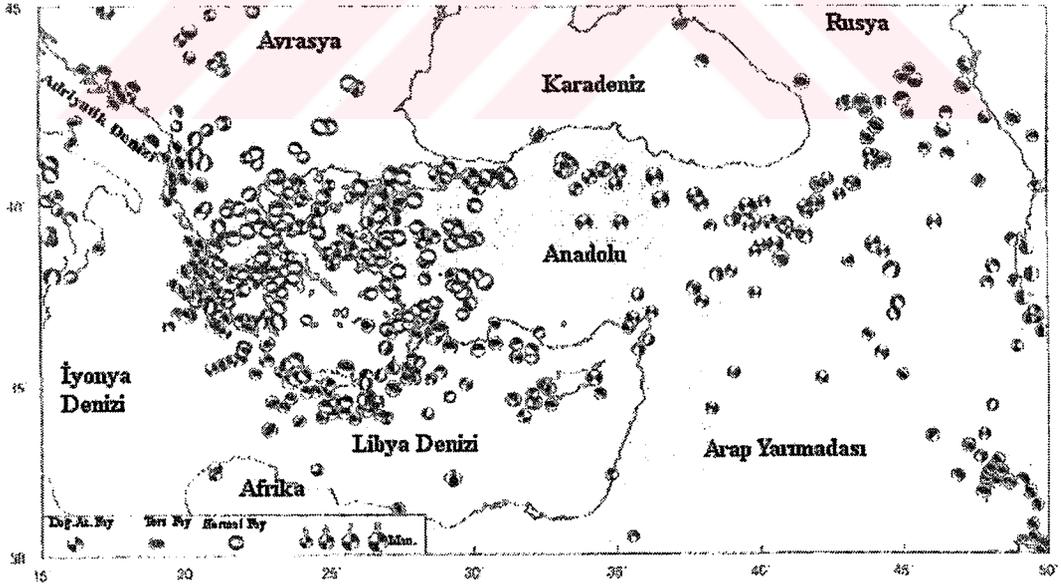
Arap levhasının K'e doğru Afrika levhasına göre göreceli olarak hareket etmesi Anadolu Bloğunun yanal olarak hareket etmesine ve batıya doğru dönmesine yol açar (Şekil 2.2). Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı batıya doğru hareket eden Anadolu Bloğunun kuzey ve güney sınırlarını teşkil ederler. Arap levhasının K- KD doğrultusundaki hareketi, Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı boyunca kıtasal çarpışmaya ve bu yüzden, yüksek sismik aktivite ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde ve Kafkaslarda yüksek topografyaya neden olmuştur. Arap levhasının bu hareketi aynı zamanda, kuzeyde D-B doğrultusunda uzanan doğrultu atımlı sağ yönlü Kuzey Anadolu fayı (KAF) ve doğuda da doğrultu atımlı sol yönlü Doğu Anadolu Fayı (DAF) ile sınırlanan, Anadolu levhasının batıya doğru kaçış hareketine de katkıda bulunmaktadır. Türkiye'nin depremselliğini kontrol eden başlıca bu tektonik elemanlar, Türkiye'nin yıkıcı depremlerini üreterek, yüksek can ve mal kayıplarına neden olmuşlardır (Şekil 2.3).



Şekil 2.1. Türkiye ve çevresinin tektonik haritası (Barka 1992).



Şekil 2.2. Anadolu Bloğu'nun GPS ölçümleri ile belirlenen hareket yönleri (McClusky et al 2000).

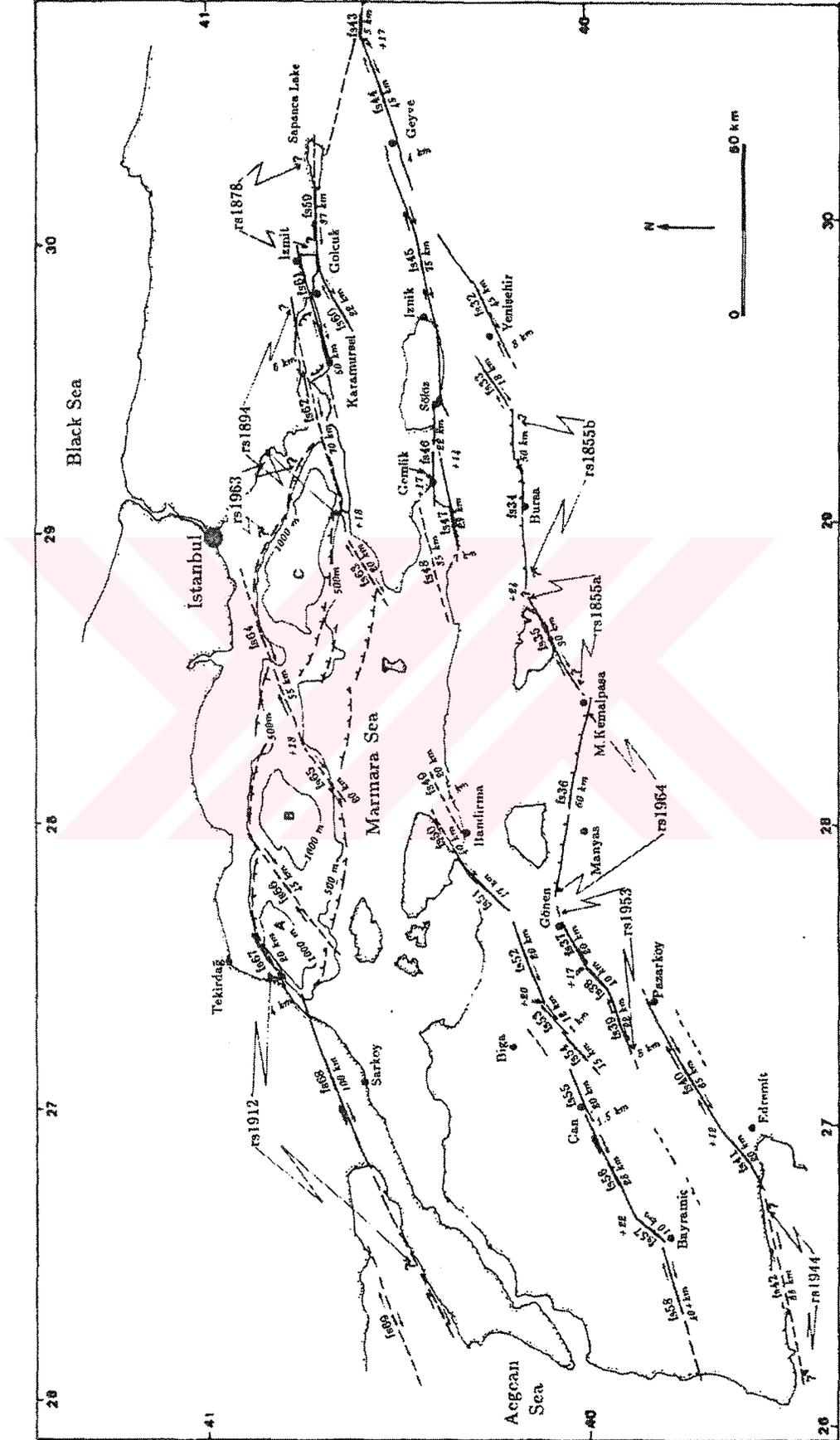


Şekil 2.3. Türkiye tektonik hatları üzerinde meydana gelmiş depremler (Kahle et al 2000).

Arap levhası'nın Anadolu'nun güneydoğu kısmı boyunca yaptığı sıkıştırma hareketinden dolayı Türkiye doğuda sıkıştırma rejimi altındadır. Bu sıkışma rejimi KAF hattı boyunca Marmara Bölgesi'ne kadar iletilir. Ege Bölgesi'nde sıkışma rejimi, açılma rejimine dönüşerek horst-graben oluşumları içinde yer alan normal faylanmaların etkin olduğu bir bölge oluşturur. Anadolu Bloğunun K sınırını oluşturan KAF, dünya üzerindeki önemli fay hatlarından biridir. KAF karada Erzincan-Karlıova dolaylarında başlayıp Karadeniz kıyılarına paralel olarak ilerleyerek İzmit Körfezi'nden Marmara Denizi'ne girer ve bundan sonraki ilerlemesini denizden gerçekleştirir. Marmara Denizi'ni Ganos kıyılarında terk edip tekrar karadan ilerlemesini B'ya doğru sürdürür. Kuzey Anadolu Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı ana bir faydır. Anadolu Bloğunun B yönüne kaçışına ve saat istikametinin tersi yönüne dönüşüne olanak veren bu faydır. Karlıova üçlü ekleminden Ege Denizi'ne kadar yaklaşık olarak 1.200 km'lik bir uzanım sunar.

Sağ yönlü doğrultu atım faylanma özelliğine sahip olan ve Karlıova üçlü ekleminden Ege Denizi ve Trakya Bölgelerini etkileyen KAF, yaklaşık 1.500 km uzunluğa sahiptir. Karlıova üçlü ekleminden Doğu Marmara'ya kadar genel karakteristiğini bozmayan KAF, Marmara Bölgesi'nde üç kola ayrılarak karmaşık bir hal almaktadır. Marmara Bölgesi'nin tektoniği birçok yerbilimci tarafından araştırılmıştır (Ketin 1973, Üçer et al 1997, Barka 1997). Bu bölgede bazı noktalar açığa çıkmış olsa bile bölgenin karmaşık yapısından dolayı halen açıklanması gereken kısımları bulunmaktadır.

KAF, Marmara Denizi'nin doğusunda üç kola ayrılmaktadır (Barka and Kadinsky-Cade 1998, Parke et al 1999). Güneydeki kol Yenişehir ve Manyas arasından geçmektedir. Ortadaki kol, İznik'ten Bandırma'ya kadar Marmara Denizi kıyısını takip eder. Kuzeydeki kol ise İzmit Körfezi'nin güneyinden Saros Körfezi'nin güneyine kadar Marmara Denizi boyunca devam eder (Şekil 2.4). Bu üç kol geometrik olarak birbirlerine benzese de, tarihsel ve aletsel dönem kayıtlar kuzeydeki kolun sismik aktivitesinin daha yoğun olduğunu göstermiştir (Ambraseys and Finkel 1991).

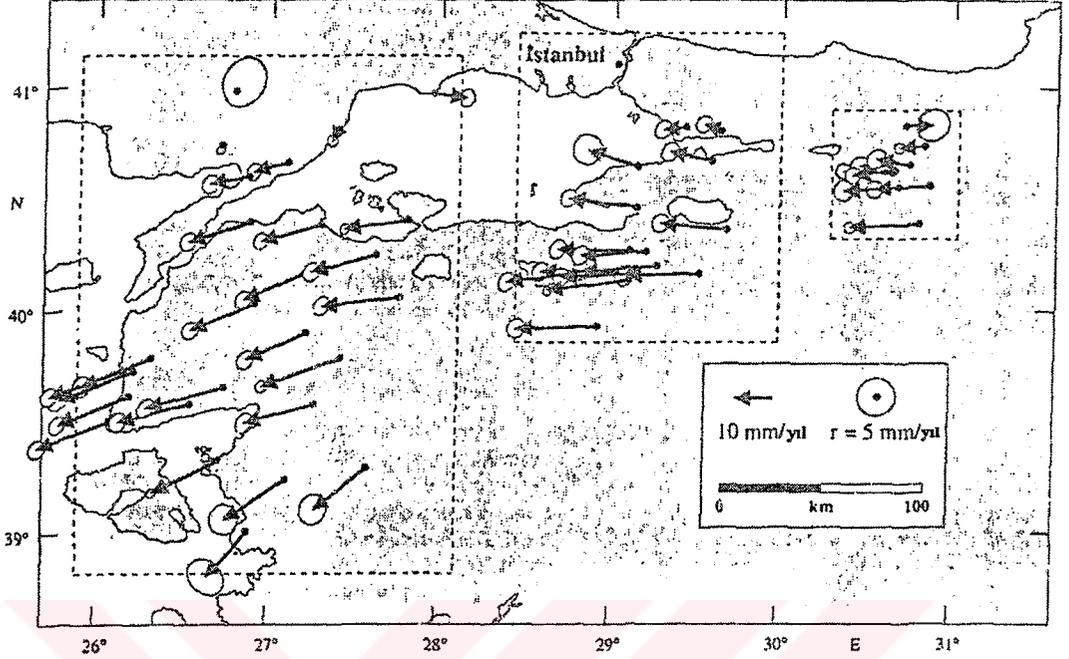


Şekil 2.4. Marmara Bölgesi'nde KAF'ın kolları (Barka and Kadinsky-Cade 1988).

İzmit Havzası Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun kuzey kolu üzerindedir. Bu havzanın gelişimindeki tektonik aktiviteler KAF zonu tarafından üretilmiştir. Havza, KAF zonunda D-B yönünde oluşmuş graben görünümlü dar ve uzun bir çöküntü alanı şeklindedir. İlk çalışmalarda İzmit Körfezi bir graben yapısı olarak düşünülmüştür (Crampin and Evans 1986). Bazı araştırmacılar düşey bileşimi olan doğrultu atımlı bir fayın körfezi oluşturduğunu belirtmişlerdir (Ketin 1969, Şaroğlu ve diğ. 1987). Diğer yandan Barka and Kadinsky-Cade (1988) ve Barka and Gülen (1988) çek-ayır modelini tanıtmışlardır. Bu model ile B'ya doğru aşamalı (en echelon) çalışan doğrultu atımlı faylar arasında ufak çöküntü havzalarının geliştiği açıklanmaktadır. Bu araştırmacılar bölgede İzmit ve Karamürsel Havzalarının bu şekilde oluştuğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, KAF kuzey kolu en az üç aşamalı doğrultu atımlı segmentlerden oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu segmentler Sapanca-Gölcük, İzmit-Karamürsel ve Yarımca-Yalova segmentleri olarak adlandırılmışlardır. Bu segmentler arasında, İzmit ve Karamürsel Havzaları çek-ayır havzalar olarak açıldığını ileri sürmüşlerdir.

Teknolojik gelişmeler vasıtasıyla KAF'ın ana sınır olduğu Avrasya levhası ve Anadolu Bloğu arasındaki hareket yönleri ve miktarları GPS ölçümleri ile hesaplanmıştır. Bölgesel GPS ölçümlerine göre McClusky et al (2000) KAF'ın üst sınır kayma hızını 24 ± 1 mm/yıl olarak hesaplamışlardır. Marmara Bölgesi'nde Anadolu-Avrasya levhaları arasındaki göreceli hareket hesaplamaları için bağımsız GPS ölçümleri Straub et al (1997) tarafından gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucu Anadolu Bloğu Avrasya levhası'na göre batıya 22 ± 3 mm/yıl olarak hareket hızını ortaya koymuşlardır (Şekil 2.5). Bu hesaplanan güncel fay hızları jeolojik kayma hızlarını ortaya koyan toplam atım ve fayın tahmin edilen jeolojik yaşı ile uyumlu sonuçlar vermektedir.

Marmara Bölgesi'nde Kuzey Anadolu Fayı'nın deprem aktivitesi ve segmentasyonu Barka (1997) tarafından detaylı olarak araştırılmıştır. Bu kollara ait fay düzlemi çözümleri ve GPS ölçümleri hâkim hareket türünün doğrultu atımlı olduğunu göstermektedir. En kuzeydeki kol üzerindeki sismik aktivite, GPS ölçümleri ve jeolojik veriler bu kolun diğer iki koldan daha aktif olduğunu belirtmektedir.



Şekil 2.5. Anadolu Bloğu'nun Marmara Bölgesi GPS ölçümleri ile belirlenen hareket yönleri (Kahle et al 2000).

2.4. İnceleme Alanı Jeolojisi

İnceleme alanı K'de Kocaeli Penepleni ve G'de Armutlu Yarımadası yükselimi olan Samanlı Dağları arasında kalan graben görünümlü bir havza ve çevresini kapsamaktadır. Bu alanda jeolojik istif Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerden oluşur. Havza içi Neojen ve Kuvaterner yaşlı genç birimlerden meydana gelmektedir. Havza kenarları kuzeyde Mesozoyik yaşlı sedimenter kayalar, güneyde ise Paleozoyik yaşlı metamorfitletler ile Eosen yaşlı volkanitlerden oluşmaktadır. Temel kayalar ile Neojen birimler arasındaki dokanak güneyde ve kuzeyde muhtemelen faylıdır. Kuzey kesimde Paleozoyik temel üzerinde bulunan Mesozoyik yaşlı sedimenter kayalar üzerine stratigrafik olarak Pliyosen yaşlı Acısu formasyonu (Tac) olarak adlandırılan akarsu ve gölsel ortamlarında çökelmiş sedimanter birim gelmektedir.

Güneydeki temel kayalar üzerine Pliyosen yaşlı yine karasal fasiyeste çökelmiş az tutturulmuş kumtaşı ve çakıltası ile çakıl, kum, silt ve kil, çökelleri içeren Arslanbey formasyonu (Ta) gelmektedir. Bu iki birimin üzerine stratigrafik olarak Kuvaterner

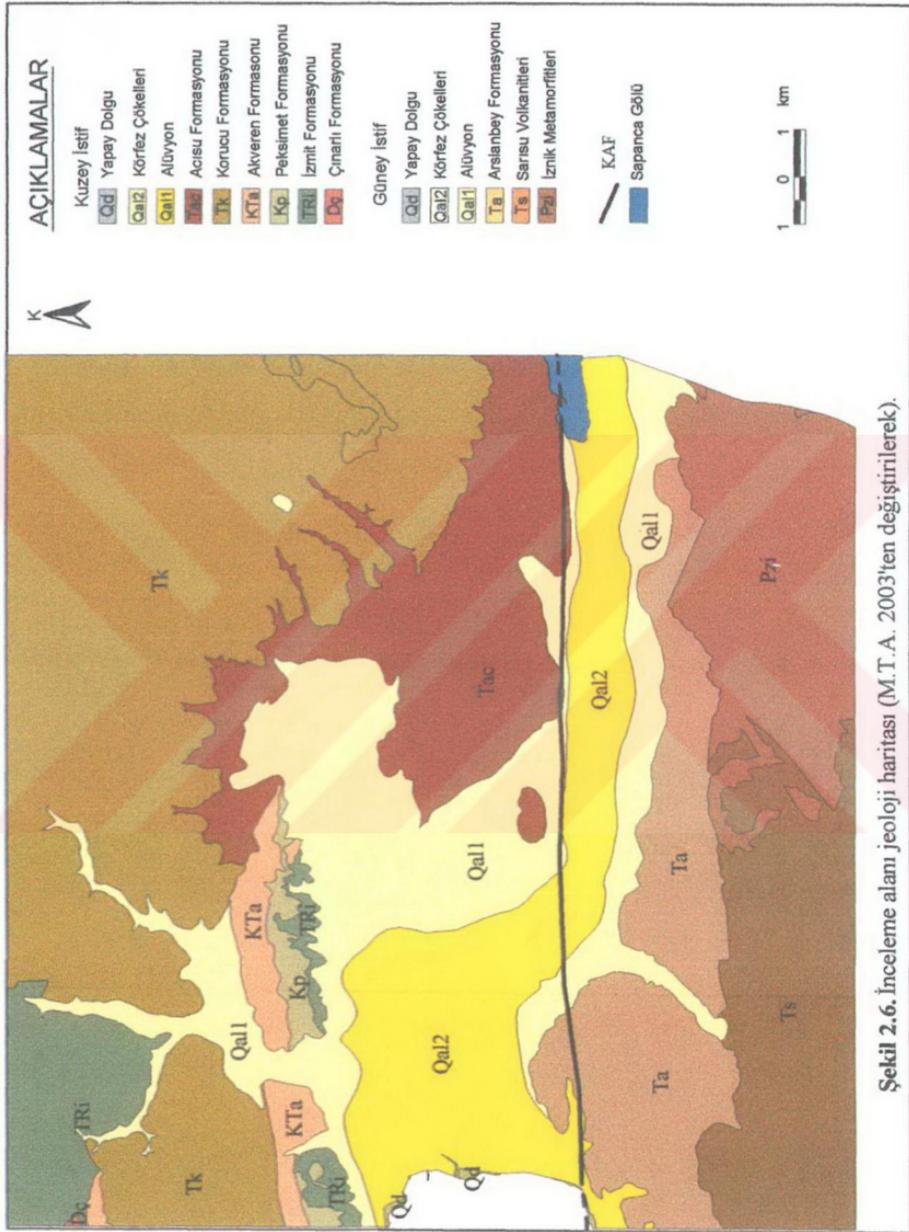
yaşlı alüvyon gelmektedir. Alüvyon iki farklı birim olarak 1/5.000 ölçeğinde haritalanmış ve 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasına aktarılmıştır. Bu birimlerden ilki Qal1 olarak haritalanan eski alüvyon ikinci birim ise Qal2 olarak haritalanan genç körfez çökelleridir. Qal2 birimi Qal1 biriminden daha güncel olup bataklık çökelleri niteliğindedir. Bu birimlerin üzerinde güncel yapay dolgu (Qd) bulunmaktadır. İnceleme alanı 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası Şekil 2.6'da görülmektedir.

İnceleme alanı İzmit Havzası olmakla beraber jeolojik olarak havza dışı temel ve daha genç birimler havza jeolojisi ile ilişkilidir. Bu nedenle, bu bölümde havzada ve civarında bulunan jeolojik oluşumların özellikleri birlikte aktarılmıştır. İnceleme alanı jeomorfolojisi ile belirtildiği üzere K'de Kocaeli ve G'de Armutlu Yarımada farklı topoğrafyaya sahip oldukları gibi farklı kaya toplulukları içerirler. Bu nedenle kuzey ve güney kısımları farklı iki jeolojik istif olarak tanımlanacaktır. Jeolojik birimler yaşlıdan gence doğru açıklanmaktadır.

2.4.1. Kuzey istif

Kuzey istif Kocaeli Yarımadası jeolojisi ile temsil edilir. İstif içinde Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik zaman aralıklarında çökelmiş sedimater türü litolojiler bulunmaktadır. Kocaeli Yarımadası'nın temelini Paleozoyik sedimater kayalar oluşturmaktadır. Sayar (1970), Abdüsselamoğlu (1963) bu kayaları Ordovisiyen-Alt Karbonifer yaşlı ve uyumlu gelişmiş bir pasif kıta kenarı çökel istifi şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Paleozoyiği oluşturan kayalar arkoz, vake, arenit, kuvarşlı arenit, kuvarsit, ortokuvarsit, grovak, kireçtaşı, marn, kumtaşı ve çakıltası gibi farklı litolojileridir. Paleozoyik yaşlı kayalar Alt Ordovisiyen ve Devoniyen devirlerinde çökelmiştir. Paleozoyik temel üzerine Mesozoyik yaşlı sedimenter kayalar diskordanstır. Mesozoyik kayalar çakıltası, marn, kireçtaşı, taşlı vake, dolomitli kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı litolojilerinden oluşmaktadır. Senozoyik yaşlı genç birimler ile Mesozoyik yaşlı birimler arasındaki ilişki de diskordanstır. Senozoyik birimler Neojen ve Kuvaterner devirlerinde çökelmişlerdir.

İnceleme alanı içinde kalan kuzey istif litolojileri yukarıda açıklanan Kocaeli Yarımadası jeolojik istifin belli kısımlarını içermektedir. Havzanın kuzey kısmında Neojen yaşlı birim ile Mesozoyik yaşlı birimler bir araya gelmektedir. Havzanın



Şekil 2.6. İnceleme alanı jeoloji haritası (M.T.A. 2003'ten değiştirilerek).

kuzeydoğu ve gúney kısımlarında temel kayalar ónünde flúvyal ve gótsel ortamlarda depolanmış Pliyosen yaşlı birimler yer almaktadır. Havzada en genç birim havza içinde evre kayalardan aşındırılarak depolanmış Kuvaterner yaşlı alúvyondur. Havzanın belli kesimlerinde ve kıyılarda bataklık olan kısımlar dolgu malzemesi ile doldurulmuştur. Şekil 2.7 kuzey istifin genelleştirilmiş stratigrafik sútún kesitini góstermektedir. İzleyen kısımlarda inceleme alanının kuzey istifine ait jeolojik formasyonları yaşlıdan gence doğru sunulmaktadır.

2.4.1.1. ınarlı formasyonu (D)

İnceleme alanı sınırlarında ve Kuzey istif içinde górúlen en yaşlı sedimater birim ınarlı formasyonudur. İnceleme alanının kuzeybatısında kúúk bir alanda yúzeylenmektedir. Bu formasyon Devoniyen yaşlı sedimater birimlerden oluşmaktadır. Birimler marn, kireçli Şeyl, vake, arenit, grovak ve kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Formasyon tabanında feldispatlı arenit mercekleri ve mermerleşmiş kireçtaşı gelişmiştir. Formasyon içindeki litolojilerde yanal geçiş ve merceklenme bulunmaktadır. Formasyon tabanda kaba gózúkúr (feldispatlı arenit, feldispatlı taşlı vake, az feldispatlı taşlı arenit, arkozumsu vake, kuvarslı arenit). Ortada daha ince, laminalı kuvarslı vake, Şeyl, kırıntılılar ile çeşitli saf olmayan karbonatlar karşılıklı girik ve mercekseldirler. Ústte radyolarit ve bademli kireçtaşı, ince dokulu olabilen grovak ile ardalanmalı ve giriktir (Altunlı 1968).

Kireçtaşları mikritik túründe olup çoğunlukla grovak içinde mercek yapılar şeklinde bulunmaktadır. Grovak farklı renk, doku ve bileşim sunar. Genel olarak yúzeyde sarı, bej renklerine karşın taze kısımları siyah, kırmızı, eflatun gibi koyu renkler sunar. Grovak içinde tabakalanma belirsiz olup çatlaklı bir yapıya sahiptir. Formasyondaki birimlerden derlenen fosiller yardımıyla bu formasyon için Devoniyen yaşlı Altunlı (1968) tarafından belirlenmiştir.

PALEOZOYİK		MESOZOYİK		SENOZOYİK				Üst Sistem
DEVONİYEN	TRİYAS	KRETASE	TERTİYER	KUVATERNER	Sistem	Seri	Formasyon	Simge
Alt Devoniyen	Alt Triyas	Üst Kretase	Paleosen-Eosen	Holosen				
Çınarlı fm.	İzmit fm.	Peksimet fm./Akveren fm.	Koruca fm.	Acısu fm.	Alüvyon			
Dç	TRİ	Kp	Tk	Tac	Qall	Qal2	Qd	
LİTOLOJİ								
AÇIKLAMALAR								
Kireçtaşı merceekli grovak - kumtaşı								
Çakıltaşı, kumtaşı yer yer çamurtaşı, ara düzeyli								
Karbonat çimentolu kumtaşı, çakıltaşı yer yer marn								
Kireçtaşı, marn, killi kireçtaşı karbonatlı kilitaşı								
Kumtaşı, kilitaşı, marn ardalanması, volkanik sil, filon arakatlı								
Az tutturulmuş çakıl, kum, kil, silt karışımları								
Çakıl, kum, silt, kil karışımları								
Körfez Çökelleri: siltli, kavkılı kum aradüzeyle kil								
Yapay dolgu								

Şekil 2.7. Kuzey İstif geliştirilmiş stratigrafik sütun kesiti.

2.4.1.2. İzmit formasyonu (TRi)

İzmit formasyonu inceleme alanının kuzey ve kuzeybatı kesimlerinde yüzeylenmektedir. Baykal (1943) bu formasyon için Ballıkaya formasyonu adlamasını kullanmıştır. Formasyon, Altınlı (1968) tarafından Kapaklı formasyonu olarak adlandırılmıştır. İzmit formasyonu adlanması Çakır (2000) tarafından kullanılmıştır. Bu incelemede İzmit formasyonu adlaması kullanılmıştır. Çınarlı formasyonu üzerine açılı uyumsuz olarak gelmektedir. Formasyon yaşı Alt Triyas olarak belirtilmiştir. Altınlı (1968) formasyon içinde Gıcık çakıltası ve Gözlü kireçtaşı üyeleri ayırtlamıştır. Çakır (2000) ise birimi içinde Ayvalıdere konglomera üyesi ile Dikenlitepe kumtaşı üyesini ayırtlamıştır.

Formasyon kırıntılı birimlerden oluşmaktadır. Tabanda çakıltası ile başlayıp ince tabakalı, çakıllı kumtaşı ile devam eder. Formasyonda hâkim renk mor, açık kırmızı veya bordo olup ince yer yer kalın tabakalı veya laminalı bir yapı sunar. Alt düzeyler genelde çakıltası, üst seviyeleri yer yer çamurtaşı, şeyl ara katkılı kumtaşı litolojilerinden oluşur. Formasyonda çakıltası, kumtaşı, kumlu çamurtaşı, şeyl düzeyleri genellikle ardalanmalı görülür. Üzerine çökeldiği paleotopoğrafyaya bağlı olarak 50–1.000 m arasında kalınlık sunar. Silis çimento etkisi birim içinde farklı dayanımlı yüzeyler sunar. 1–2 m' lik ayrışma yüzeyi bulunmaktadır. Seymen (1995) formasyonu Hersiniyen dağ oluşumunu izleyen molas çökelleri olarak tanımlamıştır. Çakıltası ve kumtaşı litolojilerini oluşturan taneler çevredeki Paleozoyik birimlerden türemiştir. Sığ denizel bir ortamda çökelmiştir. İzmit formasyonu üzerinde yer alan Peksimet formasyonu (Kp) ile arasındaki ilişki diskordanstır Formasyon, daha önceki araştırmacılar elde ettikleri fosiller yardımıyla, Sikitiyen (Alt Triyas) yaşını vermişlerdir (Baykal 1943, Altınlı 1968, Çakır 2000).

2.4.1.3. Peksimet formasyonu (Kp)

İnceleme alanının KB'sında yüzeylenen bu formasyon D-B yönünde uzanmaktadır. Formasyon için bu adlama ilk defa Çakır (2000) tarafından kullanılmıştır. İzmit' in D'sunda yer alan Peksimet Tepe birim için tipik mevkidir. Formasyon çakıltası, kumtaşı, kireçtaşı ve marn litolojilerinden oluşmakla beraber hâkim litoloji kumtaşıdır. Bej, sarı ve kirli sarı renk hâkimdir. Çakır (2000) birim içinde bulunduğu

Pelesipodlar ve mikrofosiller yardımıyla formasyona Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşını vermiştir. Formasyondaki çakıltası seviyelerini sığ denizel, kumtaşı, kireçtaşı ve marnlı seviyeler ise derin deniz ortamını belirtmektedir. Peksimet formasyonu, İzmit formasyonu üzerine diskordandır. Peksimet formasyonu üzerinde ise uyumlu olarak çökeltmiş Akveren formasyonu vardır. Uyumlu ilişki yer yer dereceli geçiş de sunmaktadır. Üst Kretase istifinin tabanını bu formasyon oluşturur. Formasyonda çakıltası genelde tabanda izlenir ve kalınlığı az olup üst kesimlere doğru orta taneli kum boyutundaki tanelerden oluşan kumtaşı hâkimdir. Çakıl ve kum boyutundaki kırıntılar karbonat çimento ile tutturulmuştur. Daha üst düzeylerde kireçtaşı ve marn ara düzeyleri ile izlenir. Formasyonun kalınlığı 100 m civarındadır.

2.4.1.4. Akveren formasyonu (KTa)

Formasyon inceleme alanının KD kesiminde D-B uzanımlıdır. Peksimet formasyonu ile uyumlu bir şekilde yayılım sunmaktadır. Akveren formasyonu adlaması ilk defa Ketin ve Gümüş (1963) tarafından Batı ve Orta Karadeniz’ de geniş yayılım sunan kireçtaşları için kullanılmıştır. Altınlı (1968) birimi Şemsettin kireçtaşı, Eroskay (1978) ise Şemsettin formasyonu olarak adlanmışlardır. Çakır (2000) formasyon içindeki kireçtaşlarından elde ettiği mikrofosilleri incelemesi sonucunda birimin yaşını Alt Lütésiyen/Kampaniyen-Maestrihtiyen yaş aralığında vermiştir. Altınlı (1968) ayırtladığı fosiller ile formasyona Maestrihtiyen yaşı vermiştir. Tipik rengi beyaz, kirli beyaz, krem arasında değişmektedir. Tabakalar genelde GB’ya eğimli ince ve orta kalınlıkta olup sert, masif bir yüzey sunarlar. Egemen litolojisi killi kireçtaşı olmakla beraber formasyon içinde marn, kireçtaşı ve karbonatlı kiltası litolojileri de bulunmaktadır. Formasyon tabanında Peksimet formasyonu ile tavanda ise Korucu formasyonu ile konkordandır. Birim şelf ortam çökeli olup killi kireçtaşı ve mikritik kireçtaşı düzeyleri yanında kumtaşı ve marn seviyeleri türbiditik akıntıların ve hareketli bir deniz tabanının tipik göstergesidir. Formasyon kalınlığı inceleme alanı sınırlarında 100–200 m arasında değişmekte, mostra yüzeylerinde iki metreye kadar inen az-orta ayrılmış yüzeyler sunmaktadır. Formasyonda kireçtaşı kesimler sağlam düzeyler sunarlar.

2.4.1.5. Korucu formasyonu (Tk)

Korucu formasyonu inceleme alanının kuzey kesimlerinde D-B yönünde geniş bir yayılım sunar. Kuzey kesimin yüksek kısımlarını bu formasyon oluşturur. Formasyon kumtaşı, kilitaşı, marn litolojileri ile ardalanmalı bir yapı sunar. Çakır (2000) Korucu formasyonunu Atbaşı formasyonu olarak adlandırmıştır. Atbaşı formasyonu adlanması ilk olarak Ketin ve Gümüş (1963), Gedik ve Korkmaz (1984) tarafından kullanılmıştır. Altınlı (1968) Korucu formasyonu adlamasını kullanmıştır. Açık boz, krem, açık kahverengi formasyonda hâkim renklerdir. Kumtaşı ve marn litolojileri sağlam kesimler sunduğundan dişli bir görünüm sunar. Tabakalanma ince-orta kalınlıklar arasında değişmektedir. Çakır (2000) tarafından formasyon içinde tespit edilen fosillere dayanarak Kampaniyen?-Maestrihtiyen ve Alt Lütesyen yaşları verilmiştir. Formasyon içinde ve üzerinde filon ve sil şeklinde yerleşmiş volkanik-volkana sedimenter tüfler vardır.

Akveren formasyonu ile dereceli geçişli olup bu formasyona nazaran dayanımsız ardalanmalı litolojilerden oluşmaktadır. Dayanımsız litolojiler aşınmanın etkisiyle alçak bir topoğrafya sunarlar. Formasyon içindeki boz renkli ince-kalın tabakalı marn Akveren formasyonu ile yer yer girik ve yer yer uyumlu bir ilişki sunar. Kuru iken keskin kırıklı, sertçe, köşeli ufalanana veya yuvarlak ayrışan marn ıslanınca soliflüksiyon geçirir. Formasyon bazı kesimlerde Akveren formasyonundan ayırtılamaz. Formasyonda 257 metrelik kalınlık Altınlı (1968) tarafından ölçülmüştür.

2.4.1.6. Acısu formasyonu (Tac)

Acısu formasyonu inceleme alanının doğu kesimlerinde K-G yayılımlı şekilde izlenir. Korucu formasyonunun oluşturduğu yüksek kesimlerin önünde Neojen devrinde depolanmış karasal kökenli sedimentar birimlerden oluşmaktadır. Formasyon adlamasını Acısu yerleşim alanında vermiş olduğu mostralardan dolayı almıştır. Coruk ve diğ. (2001) Acısu formasyonu adlamasını kullanmıştır. Bargu (1993) aynı formasyonu, Sapanca Gölü'nün GB ucunda Maşukiye Köyü'nün kuzeyinde tipik olarak görülmesinden dolayı Maşukiye formasyonu (Qm) olarak adlandırmıştır. Bargu (1993) tarafından formasyonun killi silt birimleri içinde

Gastropodlardan *Planorbarius*, *Helix* ve *Unio* fosillerinin termoluminisans yöntemiyle yapılan yaş tayininde 350.000 yıl saptanmıştır ve bu yaşında orta Pleyistoseneye karşılık geldiği belirtilmiştir. Formasyonda görülen renkler sarı, kirli sarı, kahverengi ve gri arasında değişmektedir. Kil, silt, kum matriks içinde metamorfik kökenli çakıllar yanında kuvars ve kireçtaşı çakılları da bulunmaktadır. Çakıllar kötü boylanmalı, yuvarlak, yarı yuvarlak ve az köşeli şekillere sahiptirler. Yer yer kum mercikleri formasyon içinde görülmektedir. Formasyon kalınlığı 35–40 m. arasında değişmektedir. Formasyon içinde görülen litolojiler kiltası ve silttaşı, kum ve çakıl, silt, çakıllı kum, siltli kum yer yer kil bantlarından oluşmaktadır.

2.4.2. Güney istif

Güney istif Armutlu Yarımadası jeolojisi ile temsil edilir. Armutlu yarımadası temelde Paleozoyik yaşlı metamorfik bir topluluk, onun üzerinde Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı örtü birimlerden meydana gelmektedir. Paleozoyik metamorfik temel Pamukova ve İznik metamorfikleri olarak iki farklı topluluktan oluşur. Armutlu metamorfikleri zayıf ve kataklastik metamorfizmalı İznik metamorfikleri bölgesel metamorfizmalı olarak belirtilmiştir (Yılmaz ve diğ. 1994). Armutlu metamorfikleri Armutlu Yarımadasının batı ucunda mostra vermektedirler. Tabanda amfibolit fasiyesinde mikaşist, amfibolit, metagabro ve intrüzif granitten oluşmaktadır. İznik metamorfikleri Armutlu Yarımadasının orta kesimlerinde mostra vermektedir. Bu metamorfik kayalar altta şist, mermer, üst kesimlerde metavolkanik, metaofiyolitik türü kayalar içermektedir. Metamorfitler üzerine Fliş-Olistostrom litolojileri içeren Bakacak formasyonu, İncebel flişi ve Sarısu volkanitleri örtü birimler olarak gelmektedir.

İnceleme alanı içinde havzayı güneyden sınırlayan temel kayaları İznik metamorfik topluluğu ve onun üzerine akmış olan daha genç volkanikler oluştururlar. Temel kayalar önünde geniş bir yayılım sunan az tutturulmuş karasal Arslanbey formasyonu bulunmaktadır. Paleozoyik yaşlı temel kayalar ile Neojen yaşlı Arslanbey arasındaki ilişki faylı (tektonik) bir dokanak ile açıklanabilir. Arazi gözlemlerinden de dokanağın faylı olduğu temel metamorfik ve volkanik birimlerin topografik olarak Neojen birimlerden daha yüksekte olmasından anlaşılmaktadır. Şekil 2.8 güney

2.4.2.1. İznik metamorfikleri (Pzi)

Armutlu Yarımadası jeolojisi farklı araştırmacılar tarafından değişik zamanlarda incelenmiştir. Bunlardan Yılmaz ve diğ. (1994) Armutlu Yarımadası'nı Kuzey zon ve orta zon olarak iki farklı jeolojik istif olarak yorumlamışlardır. Kuzey zonu düşük dereceli metamorfik Paleozoyik bir istif olarak tanımlamışlardır. Kuzey zon İzmit Havzası inceleme alanı dışında kalmaktadır. Orta zon ise Paleozoyik-Üst Kratese İznik metamorfikleri, Üst Kretase yaşlı ofiyolit melanj ve Geyve metamorfikleri olarak tanımlanmıştır. İzmit Havzası güney kenarı orta zonun litolojilerinden oluşmaktadır. Bu alanda orta zonun İznik metamorfik topluluğu kayaları mostra vermektedir.

Bu topluluk bölgesel ve penetratif şistozite kazanmıştır. İstif Üst Kratese'yi içeren kalın bir Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı kaya topluluğundan oluşur. Orta zonu oluşturan istifte metamorfizma alttan üstte doğru azalmaktadır. Bunun sonucu olarakta istifin en üst birimleri zayıfça metamorfiktir ve çoğunlukla birincil yapı ve doku özelliklerini korumuşlardır (Yılmaz ve diğ. 1994). Göncüoğlu (1991) Armutlu Yarımadası jeolojisi çalışmasında temeldeki birimleri İznik ve Pamukova metamorfikleri olarak ikiye ayırmıştır. İznik metamorfikleri en alta şist, mermer, bunların üstüne kireçtaşı ve en üsttede ofiyolitik şistler olarak üç kısıma ayrılmıştır. Pamukova metamorfikleri altta kuvarsit ve onun üstünde mermer, mermerin üstünde de yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş volkanik ve piroklastik kayalardan oluşmaktadır. Akartuna (1968) Armutlu Yarımadası'nın temelindeki krsitalen şistlerin Permokarbonifer yaşlı olup mikaşist, serizitşist, kloritşist, kuvarsit, kristalize kireçtaşı ve mermer litolojilerinden oluştuğunu belirtmiştir.

İznik metamorfikleri inceleme alanının GD kısmında yüzeilenmektedir. İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü hattı G'indeki bölgede Armutlu Yarımadası'nın temelini oluşturan İznik metamorfikleri Paleozoyik yaşlıdır. Metamorfikler önünde kuzey kesimlerde depolanan Arslanbey formasyonu ile ilişkisi faylı veya diskordanstır. Metamorfiklerin B'sında yüzeilen Sarısu volkanitleri ile ilişkisi diskordanstır. Saha gözlemlerinden birimin metamorfik kayalardan şist, sleyt, fillat, rekrystalize kireçtaşı ve mermer içerdii gözlenmiştir. Metamorfik yapılardan foliasyon, şistozite, görülmektedir. Bu birimler içinde Suadiye-Okçapınar mevhide ve Arslanbey

yerleşim alanın güneyinde açılmış kırmataş ocaklarında birimlerin özellikleri oldukça iyi görülmektedir. Rekristalize kireçtaşı-mermerler büyük bloklar halinde şist, sleyt, fillat gibi metamorfikler içinde bulunmaktadır.

2.4.2.2. Sarısu volkanitleri (Ts)

Armutlu yükselimini oluşturan temel metamorfik birimleri örten volkanik birimler çalışma alanın GB kesiminde görülmekte ve Armutlu metamorfitlerinin stratigrafik olarak üstünde bulunmaktadır. Volkanik birimler metamorfitlerin üzerine akma şeklinde gelerek onların örtü kayaları oluşmuşlardır. Volkanitler andezit, bazalt ve dasit türü kayalardan oluşmaktadırlar. Volkanitler ince taneli, koyu gri, yeşil, siyah, kahverengi ve sarımsı kahve renkli olup yüzey kısımlarında 1–2 metrelik ayrılmış bir zon bulunmakta derine inildikçe sağlam bir yapı sunmaktadırlar. Çatlaklı bir birim olan volkanitler Arslanbey yerleşim alanının güneyinde işletilmekte olan kırmataş ocağında mostarları görülmüştür.

Volkanitlerin yaşı Erendil ve diğ. (1991)'e göre Eosen olarak belirtilmiştir. Volkanitler ile Paleozoyik yaşlı metamorfitler arasındaki dokanak diskordanstır. Maden Tetkik ve Arama (MTA) Marmara Bölge Müdürlüğü Kocaeli şubesinin yapmış olduğu stabilize taş ocağı çalışmasında (MTA 2002) yer elektro yöntemi ile Arslanbey beldesi Manastır Tepe mevkinde bulunan birimlerin düşey kesiti ortaya konmuştur. Bu çalışma sonucunda belirgin karakteristik soğan yapısı özelliğinde ayrışma gösteren yüzeyden itibaren derine doğru 1.5–2.0 metre kalınlığında tamamen ayrılmış örtü tabakası, devamında yaklaşık 30.0 metre derinliğe kadar devam eden kısmen ayrılmış bol çatlaklı ve kırıklı bir seviye ve bu seviyeden sonra daha sağlam, masif karakterli volkanitler tespit edilmiştir. Etüd sahası civarında yapılan ölçümler sonucunda stratigrafik olarak bu birimin yüzeyden itibaren derinliğinin 70–80 metreye kadar indiği tespit edilmiştir. Bu seviyenin altında temel kayalardan metamorfitler başlamaktadır. Bargu ve Sakıncı (1987, 1989/1990) bu birimi Orta-Üst Eosen yaşlı Kızderbent Andeziti olarak adlandırmışlardır.

2.4.2.3. Arslanbey formasyonu (Ta)

İnceleme alanının güney kesimlerinde D-B uzanımlı (İzmit Körfezi kıyısı civarından Sapanca Gölü'ne) bir yayılım sunmaktadır. Metamorfik ve volkanik birimlerin önünde topografik olarak daha alçak kesimlerde depolanmışlardır. Bargu (1993) bu birimi Sapanca Gölünün güneyinde Karaçam Köyünde tipik olarak görüldüğünden Karaçam formasyonu olarak adlandırmıştır. Arslanbey formasyonu çakıl, kum, silt ve kil malzemelerinden oluşan yer yer tabakalı ve az tutturulmuş birimlerden oluşmaktadır. Formasyonda hâkim renk kirli sarı, krem, sarı, kahverengi arasında değişmektedir. Formasyon içindeki çakıllar kötü boylanmalı az yuvarlak-köşelidirler. Çakılların yoğun olarak bulunduğu kesimler kanal çökellerinin çakılları olup çökellerinin üzerine sellenme zamanlarında taşkın ovası çökellerinden ince malzemeler çökerek formasyon içinde iki farklı ortamı niteleyen kesitler sunar. Çakıllar köken olarak metamorfik ve volkanik birimlerden türemişlerdir. Formasyon içindeki turba ve karbonat oluşumları akarsu evresinden sonra gölsel ve evaporitik karasal bir çökeltme ortamında zamanında var olduğunu göstermektedir. Çalışma alanının farklı kesimlerinde yer yer kil-kum cepleri bu formasyon içinde gözlenmiştir. Akarsu çökelleri kil-kum matriks içinde çakıllar olarak yüksek yamaçlar oluşturmuşlardır. Tabakalı kesimler yatay veya yataya yakındır. Bu formasyonun doğal yamaçları oldukça duraysız olduğu yer yer gözlenen ufak çaplı heyalanlar ile anlaşılmaktadır. Ayrıca birim içinde küçük ölçekli normal faylar da gelişmiştir. Formasyon temel kayalar olan metamorfik ve volkanik birimlerin önünde doğu-batı yönünde geniş yayılımlar sunarak depolanmışlardır. Yer yer birim üzerinde yoğun ağaç topluluğu gözlenmektedir. Yaşı kuzey kesimdeki Acısu formasyonu ile deneştirildiğinde Pliyosen yaşlı kabul edilir.

2.4.3. Alüvyon (Qal1, Qal2)

Havza içinde alüvyon K ve G istifleri örten en genç birim olduğundan bu istiflerden ayrı olarak açıklanmaktadır. İnceleme alanında dere yatakları ve İzmit Havzası'nda Sapanca Gölü-İzmit Körfezi arasında genç alüvyal çökeller (Qal) bulunmaktadır. Bu çökeller Kuvaterner yaşlı olup stratigrafik olarak en üst ve en genç sedimanter litolojiyi oluştururlar. Alüvyal çökeller inceleme alanının orta kısımlarında K-G ve D-B yönlerinde yüzeylenmektedir. Bu kapladığı alan ile iki istif üzerinde bir örtü

tabakası şeklinde durmaktadır. Havza içinde alüvyon yüzey alanı yaklaşık 90 km² civarındadır. Dere yataklarındaki alüvyon güncel olup sınırlı kalınlıklarda ve alanlarda, çakıl, kum ve silt boyutlarındaki malzemelerden oluşur. İnceleme alanının orta kısımlarında geniş yayılımlar sunan alüvyon Üst Miyosen'den günümüze kadar nehirlerin Armutlu Yükselimi ve Kocaeli Yarımadası'ndan taşıdıkları malzemeler ile oluşmuştur. Havza kenarlarında Kuzeyde kuzey istif litolojilerinden türeyen, Güneyde ise Güney istif litolojilerinden türeyen ince ve iri malzeme çökelmiştir. Orta kısımlarda tamamen kendi alüvyonel özelliğini gösteren malzemedan oluşmaktadır. Yer yer havza içinde gölsel çökellerde gelişmiş bu alanlarda kavkılı yeşil-mavi kil, silt birimleri çökelmiştir. Alüvyon birimler çakıl, kum, silt ve kil boyutundaki farklı malzemelerden oluşmaktadır. Havza içinde bu malzemelerin dağılımı farklılıklar sunmaktadır. Bazı kesimlerde alüvyon siltli-kil, siltli kum, çakıllı kum, silt gibi farklı birimler içermektedir. Havza civarındaki farklı topografik yükselimler, eğim ve jeolojik yapı vasıtasıyla havzaya K'den ve G'den gelen malzemelerin kökeni ve boyutları farklı olmaktadır. Güneydeki kısımdan genelde çakıl, kum gibi iri kırıntılı ve metamorfik kökenli malzeme havzaya taşınırken kuzeyden silt, kil gibi ince taneli ve sedimanter kökenli malzeme taşınmaktadır.

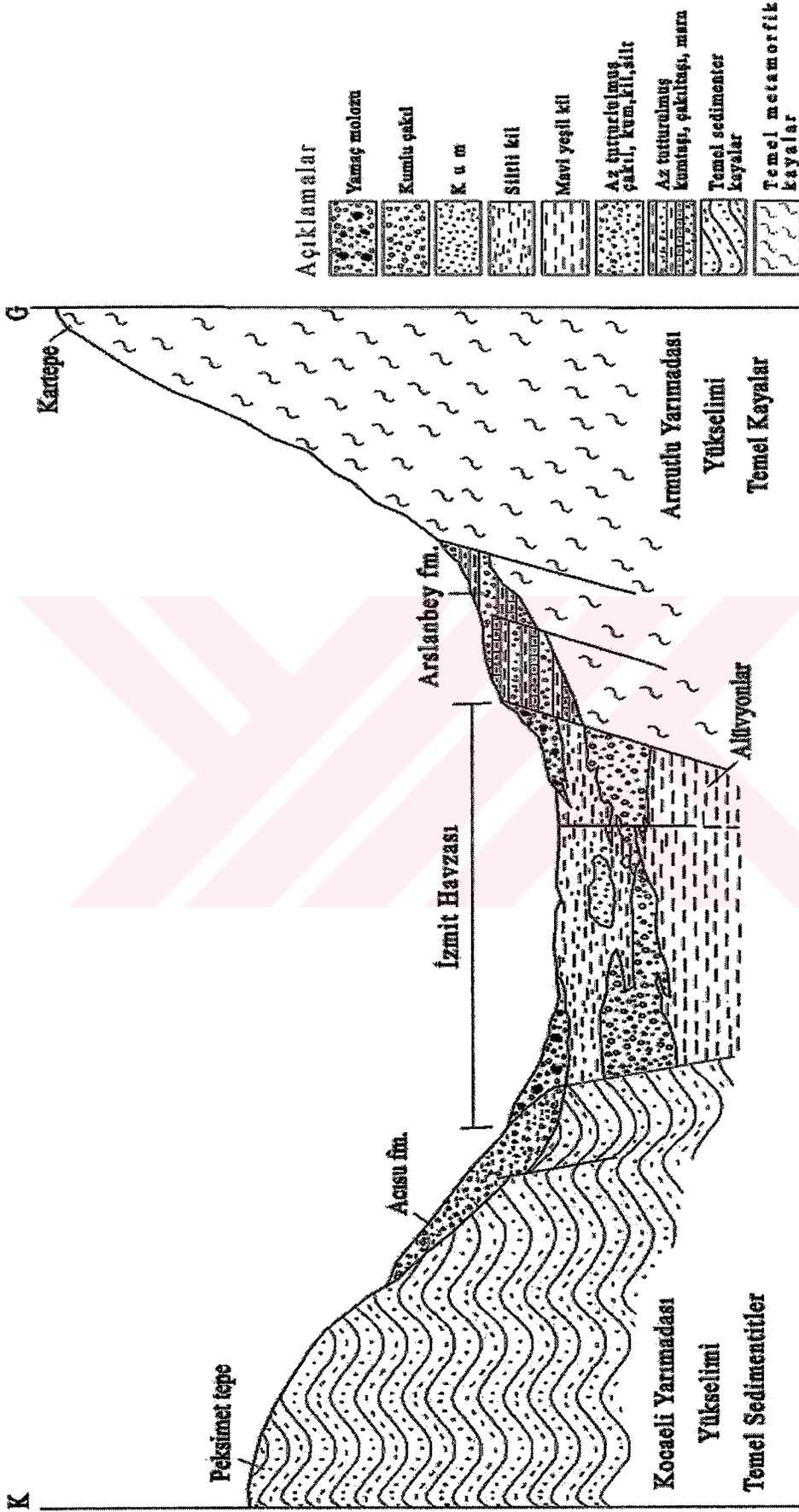
İzmit Havzası KAF zonu çöküntü alanında K ve G yükselimlerden taşınan kırıntılı birimlerden oluşmuş alüvyonel (Qal) bir ovadır. Havzanın temeli K'de kuzey istif, G'de güney istif litolojilerinden oluşmaktadır. Eldeki mevcut sondajlara bakıldığında tüm havzayı kat eden bir sondaj bulunmamıştır. Ancak temel üzerindeki alüvyal istifin kalınlığı 200–300 m dolaylarında olduğu düşünülmektedir. Köseköy Belediyesi sınırları içinde İzmit Havzası'nın orta kısmına doğru Mayıs 2003 tarihinde özel bir sondaj şirketi tarafından 70.35 m'lik bir sondaj yapılmıştır. Bu sondajda kesilen litolojiler yukarıdan aşağı doğru dolgu zemin; siltli kum, kil, çakıl, siltli kil'den oluşmaktadır. Su seviyesi 13.50 metre olarak belirlenmiştir. 70.35 metrelik sondajın 47.15 metresi (% 67) siltli kil, 14.7 metresi (% 21) çakıl, 4.5 metresi (% 6.4) kil, 3.8 metresi (% 5.4) siltli kum, 20 cm'lik en üstteki dolgu kısmında sondajın % 0.2'lik kısmını teşkil etmektedir. Coruk ve diğ. (1997) havzanın orta kesiminin 70 m' lik derinliğini 0–10 m arasında değişen kalınlıkta killi siltli bir birim, bu birimin altında 30–50 m kalınlığa sahip iri kırıntılı bir düzey, bu düzeyin altında 40–70 m derinliklerde izlenen geçirimsiz plastik mavi veya yeşil kil seviyeli

olarak tanımlanmışlardır. Ayrıca mavi kil düzeyinin derin su sondajlarında 150–170 m'ye kadar devam ettiğini belirtmişlerdir. Şekil 2.9 İzmit Havzası içi ve civarının K-G yönünde alınmış taslak jeolojik kesitini göstermektedir. Havza kenarlarındaki temel kayalar ve orta çöküntü kısımdaki genç çökeller arasındaki stratigrafik ilişki bu şekilde görülmektedir.

Alüvyon birim kendi içinde iki farklı birim olarak haritalanmıştır. Genelde kum, silt, kil düzeylerinden oluşan yeraltısuyu etkisiyle sert ve orta sert kıvamda veya orta sıklıkta olan birim eski alüvyon (Qal1) olarak ayırtlanmıştır. Bu birimde dane boyu yakın aralıklarla değişmektedir. Çakıl, kum, silt ve kil daneleri yer yer karmaşık haldedir. Qal1 alüvyonunun ayırtlanmasında SPT N_{30} değerleri 10 ve üzerinde değerler dikkate alınmıştır. Diğer alüvyon birim Qal2 olarak haritalanan genç körfez çökelleridir. Bu birim içinde üst kesimlerde kil, siltli kil derine indikçe siltli kum ve kavkılı kil, kum gibi düzeyler bulunmaktadır. Birim SPT N_{30} değerleri 10 altında değerler sunmaktadır. Havza içindeki bataklık alanlar da Qal2 olarak haritalanmıştır. Kuzey ve güney istiflerin en genç birimleri havza içinde depolanmış alüvyondur (Qal1, Qal2).

2.4.3.1. Yapay dolgu (Qd)

İzmit Körfezi kıyılarında bataklık alanlar dolgu malzemeleri ile doldurularak günümüzdeki dolgu alanlarını teşkil etmiştir. Bu dolgular yer yer kontrollü yer yer kontrolsüz bir şekilde yapılmış olup günümüzde halen dolgu işlemi yapılmaktadır. Bu dolgu alanların konumları jeolojik haritada Qd sembolü ile gösterilmiştir. Kıyılara yakın bataklık alanlar üzerine yapılmış dolgu alanlar sınırlı da olsa kuzey ve güney kesimlerde yer almaktadır.



Şekil 2.9. İzmit Havzası ve civarının şematik jeolojik kesiti (Ölçeksiz).

BÖLÜM 3. BÖLGESEL ve GÜNCEL DEPREMSELLİK

İzmit Körfezi ve çevresi aktif tektonik bir bölgede olmasından dolayı her zaman yüksek deprem riski ile karşı karşıyadır. İzmit Havzası içinden geçen KAF'ın kuzey kolu bir deprem kaynağıdır. Havza içinde bulunan çökellerin davranışları depremlerin oluşturacağı etkiye bağlıdır. Bundan dolayı bölgenin depremselliği ve depremlerin dışmerkezleri (episantırlarının) inceleme alanına uzaklıkları büyük önem kazanmaktadır. Depremlerin bir bölgede sık olarak meydana gelmesi ve bu depremlerin hasar verici büyüklükte olması o bölgenin aktif bir deprem kuşağı üstünde olmasını işaret eder. Meydana gelen büyük ve küçük manyetüdü depremler bir bölgenin depremselliğini ortaya koymaktadır. Bu depremlerin kayıtlarda bulunması bilimsel çalışmalar için çok önemli bir veritabanı olmaktadır. Kayıtlı tarihsel depremler bir bölgenin çok eski zamanlardan beri aktif bir depremselliğe sahip olduğunu gösterir.

Depremsellik, tarih öncesi, tarihsel ve aletsel, dönemlere ait olmak üzere üç grup altında toplanabilir. Tarih öncesi depremlere ait oldukça kesin ve güvenilir bilgiler, son yıllar içerisinde oldukça büyük gelişmeler gösteren paleosismolojik çalışmalar ile elde edilebilmektedir. Tarihsel depremler ile ilgili bilgiler, farklı deprem kataloglarından elde edilir. Bu katalogların kapsadığı periyod ne kadar uzun olursa, depremlerin oluşum zamanları ve yerleri ile ilgili bilgilerin güvenilirliği de o derecede azalmaktadır. Tarihsel ve tarih-öncesi döneme ait depremlerin detaylı bir şekilde incelenmesi, bir bölgedeki depremlerin tekrarlanma aralıkları, diri fayların ortaya çıkarılması, diri faylar ile ilgili segmentlerin ayırt edilmesi ve her bir segment ile ilgili deprem modellerinin yapılabilmesine olanak sağlar (Demirtaş ve Yılmaz 1996). Aletsel dönem ise 20. yüzyılın başlarında depremlerin sayısal olarak kaydedilmesi ile başlayan dönemdir.

Tarih öncesi depremlere ait bilgiler, çeşitli araştırmacılar tarafından Türkiye'de 1990'lı yılların başlarında başlayan ve paleosismolojik çalışmaların temelini teşkil

eden hendek çalışmaları ile elde edilmeye başlanılmıştır. Diğer yandan, Türkiye ve çevresinde tarihsel depremler ile ilgili kayıtlar M.Ö. 2100 yıllarına kadar uzanmaktadır. Bu tarihsel deprem kayıtları ile ilgili, Pınar ve diğ., Ergin ve diğ., Shebalin et al, Alsan ve diğ., Erdik ve diğ., Soysal ve diğ. tarafından derlenmiş deprem katalogları bulunmaktadır (Demirtaş ve Yılmaz 1996). Türkiye’de aletsel döneme ait veriler, 1900’lü yıllardan sonra deprem istasyonlarının kurulması ile başlamıştır.

Türkiye, bilinen tarihsel dönem deprem kayıtlarına göre M.Ö. 550 (Soysal ve diğ. 1981) yılından beri sürekli olarak hasar yapıcı ve yüzey faylanmasına neden olmuş büyük depremlere maruz kalmıştır. Aletsel olarak da 1990 ile 2003 yılları arasında kaydedilmiş magnitudü, $M_s > 5.4$ hasar yapıcı depremlerin dışmerkezleri, özellikle diri fay segmentlerine karşılık gelen faylar üzerinde, uçlarında ve çevrelerinde yoğunlaşmışlardır. Tarihsel ve aletsel dönemlerde kaydedilen depremler Türkiye’nin tektonizmasına ışık tutmaktadır.

Tarihsel dönem depremlerine ait veriler KRDAE, Soysal ve diğ. (1981) ve Yüksel (1995), aletsel dönem depremlerine ait veriler ise KRDAE ve Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü DAD, kaynaklarından elde edilmiştir. Bu kaynaklara göre Türkiye ve civarı için tarihsel depremlerin zaman aralığı M.Ö. 2100-M.S 1900 arasında değişmektedir. Aletsel döneme ait kayıtlar ise 09.03.1902 tarihli Çankırı ($M_s=5.6$) depremi ile başlayıp günümüze kadar olan depremleri kapsamaktadır.

3.1. Tarihsel Depremsellik

Depremler milyonlarca yıllardan beri oluşmaktadırlar. Depremlerin tarihsel kayıtları yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Dünyanın farklı bölgelerinde tutulan tarihsel kayıtlar zaman açısından farklılıklar göstermektedir. Örneğin, Çin’de kayıtlı depremler 3000 yıllık, Japonya ve Doğu Akdeniz Bölgesinde 1600 yıllık bir geçmişe dayanmaktadır. A.B.D’de ise tarihsel depremlerin kayıtları 350 yıl gibi daha bir kısa zaman için bulunmaktadır. Türkiye ve çevresinde ise kayıtlı tarihsel depremler yaklaşık olarak 4000 yıllık bir zamana dayanmaktadır (Soysal ve diğ. 1981).

Tarihsel depremler, belli bölgelerde yaşayan insanların geçmişte meydana gelmiş depremleri kayıtlara geçmesiyle haklarında bilgi edinebildiğimiz depremlerdir. Depremlerin aletsel olarak kaydedilmesi 1900 yılları sonrası olduğu için bu tarihten önce oluşmuş depremler tarihsel depremler olarak tanımlanır. Bu tür depremlerin kayıtları bir bölgenin tarihsel depremselliğine ışık tutucu kaynaklar olmaktadır. Bu tür yazılı kayıtların doğruluğu ve çokluğu bölgenin depremselliğinin daha kapsamlı değerlendirilmesini sağlar. Tarihsel depremler yaptıkları hasarların şiddetlerine göre derecelendirilmiştir.

Tarihsel depremler için üç farklı kaynaktan veri sağlanmıştır. İnceleme alanı Marmara Bölgesi'nde olduğu için Marmara Bölgesi tarihsel depremleri derlenmiştir. KRDAE İnternet'te sunduğu tarihsel depremlerin verileri incelendiğinde Marmara Bölgesi'nde M.S. 29–1894 zaman aralığında meydana gelmiş 19 adet yıkıcı depremin 17'sinin şiddeti IX ikisinin şiddeti X olduğu görülmektedir. Yine aynı kaynaktan Manyetüd/Şiddet karşılaştırması tablosu olan Mercalli tablosundan IX-X şiddetli depremlerin 6.5 ile 7.5 Richter Manyetüdüne (büyüklük) karşılık geldiği görülür. KRDAE Deprem Mühendisliği Bölümü ise Marmara Bölgesi'nde önemli tarihsel depremleri M.S. 29, 69, 121, 128, 269, 362, 446, 478, 554, 740, 989, 1064, 1672, 1719, 1754, 1878 ve 1894 tarihlerinde sıralamışlardır. Bu depremlere ait şiddet ve lokasyon bilgileri olmayıp sadece etkilediği bölgeler ile yaptığı etkilerden kısaca bahsedilmiştir.

Tarihsel depremler için 3. kaynak ise Soysal ve diğ. (1981) hazırladıkları deprem katalogudur. TÜBİTAK tarafından Türkiye ve çevresinde 22°- 45° D boylamlarıyla 33°- 45° K enlemlerinin sınırladığı alanda M.Ö. 2100-M.S 1899 yılları arasında oluşmuş depremlere ait bilgiler tarihsel kaynaklardan yararlanarak derlenmiş ve katalog haline getirilmiştir (Soysal ve diğ. 1981). Bu üç veri kaynağından elde edilen Marmara Bölgesi tarihsel depremleri Ek A Tablo A.1'de verilmiştir.

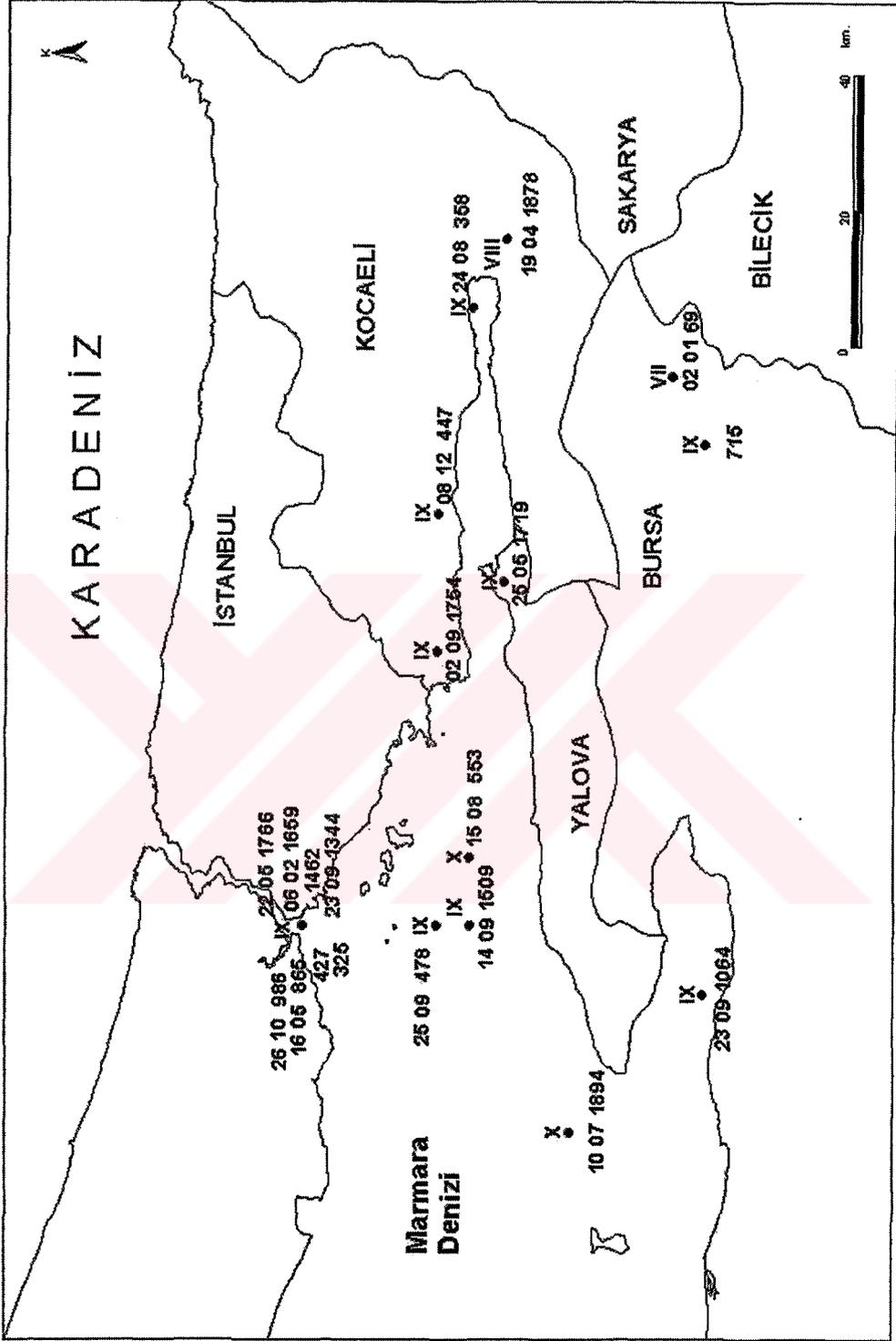
Bu incelemede M.S. 29–1894 yılları arasında Marmara Bölgesi'nde meydana gelmiş tarihsel depremler 40 adet olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.1). Belirlenen depremler İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Bursa ve Yalova İlleri civarında oluşan depremlerdir (Şekil 3.1). Bu depremlerin şiddetleri, oluşum sayıları ve manyetüd olarak karşılığı

Tablo.3.1’de gösterilmiştir. Genellikle VIII (yıkıcı) ve IX (çok yıkıcı) şiddetindeki depremler İzmit, İzmit, İstanbul, Adapazarı ve Bandırma’yı tarihsel dönemlerde etkilemiştir.

Yüksel (1995) İzmit Körfezi ve yakın çevresinin sismik aktivitesi incelemesinde Marmara Bölgesi’nde oluşmuş tarihsel depremleri M.Ö.19-M.S. 1878 tarihleri arasında sıralamıştır. Tarihsel depremlerin oluşum tarihleri, muhtemel yerleri (coğrafik koordinatlarda), şiddetleri ve etkiledikleri alanlar belirtilmiştir. Yüksel (1995) İzmit Körfezi ve yakın çevresinde VI-X şiddetleri arasında 23 adet tarihsel deprem belirlemiştir. Bu depremlerden 15 tanesi VIII, 5 tanesi IX, birer tanede VI, VII, X şiddetinde depremlerdir. Yüksel (1995) çalışmasında tarihsel deprem verilerini Soysal ve diğ. (1981) hazırladıkları katalogdan almıştır.

Tablo 3.1. Tarihsel depremlerin şiddet ve oluşum sıklığı.

Şiddet	Oluşum Sayısı	Manyetüd Karşılığı
VI	2	5.5
VII	6	6
VIII	13	6.5
IX	17	7
X	2	7.5



Şekil 3.1. Marmara Bölgesi tarihsel depremleri.

3.2. Aletsel Depremsellik

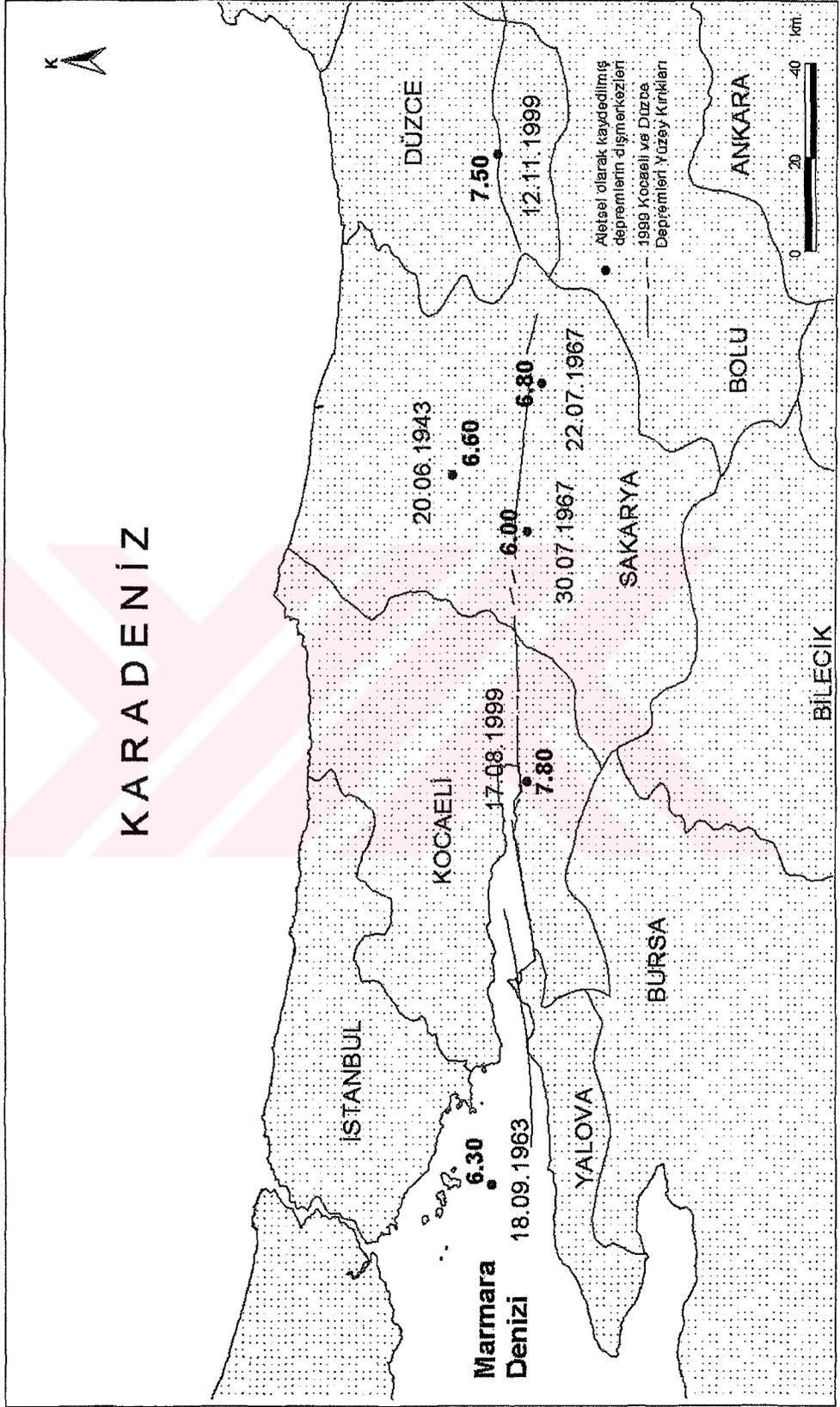
Depremlerin aletsel olarak kaydedilmesi 20. yüzyıl başlarından itibaren başlamıştır. Depremde açığa çıkan enerji dalgalarının yarattığı salınımlar sismograf cihazı tarafından kaydedilmiştir. Bu cihazların yardımıyla depremin dışmerkezi ve büyüklüğü hesaplanarak tarihsel depremlerde eksik olan lokasyon ve büyüklük verileri daha güvenilir olarak hesaplanmıştır. Türkiye’de aletsel depremsellik deprem dalgalarını kaydedici cihazların kullanıma girmesiyle farklı iki evrede gelişmiştir.

Türkiye’de 1900–1970 yılları arasında birkaç deprem istasyonu ile depremselliğinin belirlendiği dönem, aletsel dönemin ilk yarısını ve 1970’li yıllardan sonra deprem istasyonlarının sayısının artması sonucu depremlerin kaydedilmiş olduğu dönem ise aletsel dönemin ikinci yarısını oluşturmaktadır. 1900–1995 yılları arasında manyetüdü $M_s > 4.0$ olan toplam 6656 civarında deprem kaydedilmiştir. 1900–1970 yılları arasında aletsel dönemin ilk yarısına ait yıllık deprem sayıları düşük değerler vermektedir. Bunun sebebi, deprem istasyon sayısının çok az olmasından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, 1939–1967 deprem serisinden önce Kuzey Anadolu Fay zonunda bir suskunluk dönemi yaşanmış olmasıdır. 1970–Günümüz arasında aletsel dönemin ikinci yarısında kaydedilmiş deprem sayılarının yıllara göre dağılımları ayrı olarak incelenmiştir. 1965 yılından sonra depremlerin sayılarında dereceli olarak bir artış olmuştur. Bu artış, 1970–1984 yılları arasında maksimum değerlere erişmiş ve 1984 yılından sonra yıllık deprem sayılarında göreceli olarak bir azalma eğilimi görülmüştür (Demirtaş ve Yılmaz 1996).

Kuzey Anadolu Fayı’nın deprem etkinliği D’den B’ya doğru sistematik bir düzen içinde ilerlemiştir. 1939’da D’de Erzincan Depremi ile başlayan aktivite 1967 Adapazarı Depremi ile B’ya ulaşmıştır. 1999’da Kocaeli Depremi ile ilerleme Yalova’ya kadar sürmüştür. Erzincan’dan Yalova’ya kadar uzanan KAF üzerinde 1939 ile 1999 tarihleri arasında 13 adet $M_s > 6.7$ deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden 11’inin $M_s > 7.0$ ’ dır. 1999 Kocaeli Depreminde kırılan segmentler 1963 Çınarcık Depremi ($M_s=6.3$) ile 1967 Mudurnu Vadisi Depremi ($M_s=7.2$) arasında sismik boşluk olarak nitelendirilen kesimde oluşmuştur. Bazı araştırmacılar KAF’ın İzmit segmentlerinin hasar yapıcı bir deprem üretme olasılığının yüksek olduğunu 1999 Kocaeli Depremi öncesinde belirtmişlerdir.

Marmara Bölgesi ve civarında son yüzyıl içerisinde oluşmuş $M_s > 5.5$ depremlerin, yer ve zaman içerisindeki değişimleri incelenmiştir. 1943–1999 yılları arasında en batıda Çınarcık ve en doğuda Düzce olmak üzere $M_s > 5.5$ 'ten büyük 6 adet deprem meydana gelmiştir (Şekil 3.3). En küçük manyetüdü deprem 1967 yılında $M_s = 6.0$ ile Akyazı (Adapazarı) Depremi olmuştur. En büyük deprem ise 17 Ağustos 1999 tarihinde $M_s = 7.8$ ile Kocaeli, Gölcük yakınlarında meydana gelmiştir (Tablo 3.2).





Şekil 3.3. Marmara Bölgesi aletsel dönem depremleri ($M_s > 5.5$).

Tablo 3.2. Marmara Bölgesi aletsel dönem depremleri ($M_s > 5.5$).

Tarih	Koordinatlar		Yer	Büyük­lük (M_s)	Şiddet	Derinlik (km)
	N	E				
20.06.1943	40.85	30.51	Hendek (Adapazarı)	6.6	IX	10
18.09.1963	40.77	29.12	Çınarcık (İstanbul)	6.3	VII	40
22.07.1967	40.67	30.69	Mudurnu (Adapazarı)	6.8	IX	33
30.07.1967	40.70	30.40	Akyazı (Adapazarı)	6.0	IX	18
17.08.1999	40.77	29.97	Gölcük (Kocaeli)	7.8	X	18
12.11.1999	40.76	31.14	Düzce (Bolu)	7.5	IX	11

3.3. Güncel Depremsellik

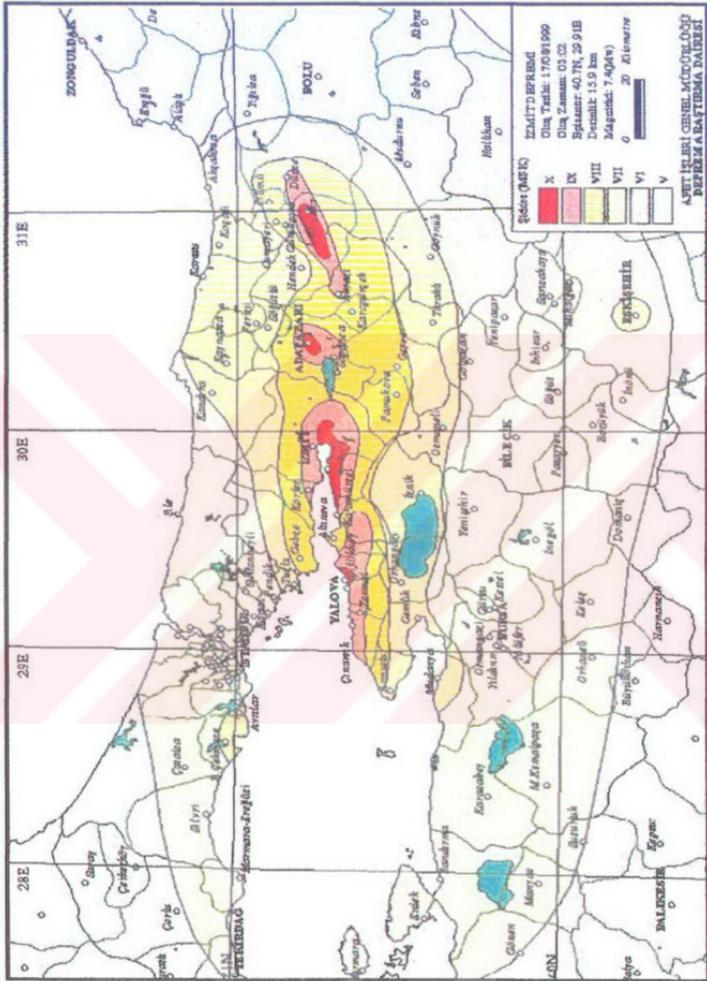
Güncel depremsellik ile Marmara Bölgesi'ni etkileyen 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli Depremi ve artçı depremleri tanımlanmaktadır. 17 Ağustos 1999 yerel saat ile 03:02'de meydana gelen Kocaeli Depremi ($M_w=7.4$), 1939 Erzincan Depremi'nden sonra yaşanan 2. büyük, yaptığı ekonomik tahribat ile de en büyük deprem felaketi olarak Türkiye Cumhuriyeti tarihine geçmiştir. Dış merkez koordinatları, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü DAD tarafından 40.70 K ve 29.91 D, KRDAE tarafından 40.77 K, 29.97 D olarak verilen bu depremin merkezi, İzmit yerleşim alanının GB'sı ve Gölcük İlçesi D'suna karşılık gelmektedir.

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi Kuzey Anadolu Fay hattının Gölyaka-Yalova arasındaki kısmının kırılması sonucu oluşmuş ve Türkiye tarihinin yüksek can ve mal kayıpları doğuran en büyük doğal afetlerden biri olmuştur. Kocaeli Depremi zemin davranışı açısından zeminin sıvılaşması-yanal yayılması, kıyasal çökmeler ve kara ve kıyı kesimlerindeki heyelanlar gibi etkilerle yüksek bir hasar yaratmıştır. Sıvılaşma Adapazarı Bölgesi'nde yaygın olarak ortaya çıkmış ve binaların yana yatmasına veya düşey olarak zemine gömülmesine yol açarak yüksek hasarlara sebep olmuştur. Kocaeli ve civar illerde depremin etkisi daha çok bina çökmeleri ile öne çıkmıştır.

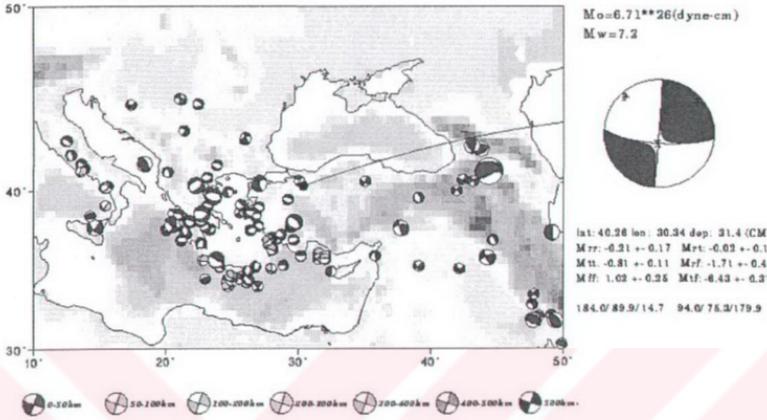
Kocaeli, Sakarya, Bolu ve Yalova depremden en fazla etkilenen iller olmuşlardır. Daha az etkilenen iller ise Bursa, Eskişehir ve İstanbul İlleri olmuştur (Şekil 3.4). Şekil 3.4 bu depremin eş-şiddet haritasını göstermektedir. Haritaya göre depremin şiddeti en yüksek X en düşük V olmuştur. Depremin manyetüdünün ve kuvvetli yer hareketinin büyük olması, nüfusun yüksek ve yoğun olması ve binaların düşük yapı kalitesi, depremin yarattığı hasarın çok büyük olmasına yol açmıştır.

Marmara Bölgesinde yaşanan en büyük depremlerden biri olan 17 Ağustos Depremi KAF'ın Bolu-Yalova arasındaki segmentlerin kırılması sonucu meydana gelmiştir. Fayın kırılma hattı üzerinde bıraktığı yüzey izleri, yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından haritalanmıştır. Arazi çalışması ile inceleme alanı içinde kalan Başiskele-Sapanca Gölü arasındaki alandaki fay izleri belirgin noktalarda GPS el alıcısı aleti ile kaydedilmiştir. Bu noktalar daha sonra GPS el alıcısından bilgisayara aktarılıp CBS ortamında fayın yüzeydeki izleri, noktaların birleştirilmesi ile haritalanmıştır (Şekil 3.5). Kocaeli Depremini yaratan fay Şekil 3.5'de görüldüğü gibi İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü' arasında kalan İzmit Havzası güneyinden D-B doğrultusunda ilerlemiştir. Arazi gözlemlerinden fayın hareketinin doğrultu atımlı sağ yönlü olduğu görülmüştür. Fayın gözlenen kısmında genel doğrultusu K86D olarak tespit edilmiştir. Fay zonunun genişliği yer yer 3-5 m, ile 50-100 m. arasında değişmektedir. En şiddetli hasar fay zonu üzerinde olup faydan uzaklaştıkça hasar derecesi azalmaktadır. Daha uzak alanlarda zemin ve yapı koşullarına bağlı olarak hasar derecesi değişmektedir.

17 Ağustos 1999 Depremi, 1939 Erzincan Depreminden bu yana meydana gelen en büyük ve en çok hasar veren deprem olmuştur. Deprem KAF'ın B kısmında meydana gelmiştir. Depremin dış merkezi farklı kuruluşlar tarafından farklı hesaplanırsa da genel olarak Gölcük ilçesi D'su olmaktadır. En büyük hasarlar dış merkeze yakın olan Gölcük ve İzmit civarlarında oluşmuştur. Fay düzlemi çözümleri D-B doğrultulu, düşey sağ yanal atımlı bir fay ortaya koymuştur (Şekil 3.6). Depremin derinliği farklı kuruluşlar tarafından 13-20 km arasında hesaplanmıştır.



Şekil 3.4. Kocaeli depremi eş-şiddet haritası (Özmen 2000).



Şekil 3.6. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi fay mekanizması (ERI 1999).

Yüzey toplam kırığı 3-4 parça halinde 120 km boyunca meydana gelmiştir. Fay İzmit Körfezi'nin B'sında Yalova'dan Düzce yakınlarına kadar kırılmıştır (Şekil 3.7). Fayın yüzeydeki izleri boyunca tüm ötelemeler sağ yanal atımı vermektedir. Saha gözlemlerinden elde edilen yüzeysel atımlar 120 km'lik kırılma hattı boyunca 0.7-5.1 m arasında değişmiştir. Ortalama atım 2.5 m olup, en büyük atım 5.1 m ile Arifiye'de (Adapazarı) gözlenmiştir. Kocaeli Depreminin dış merkezi İzmit Körfezi'nin GD'suna düşmektedir. Deprem yaklaşık düşey bir düzlem (84°) boyunca sağ yanal doğrultu atımlı bir hareket meydana getirmiştir. Bölgede fayın hareketini izlemek amacıyla Marmara Araştırma Merkezi tarafından GPS ölçüm aletleri deprem öncesi ve sonrası kurulmuştur.

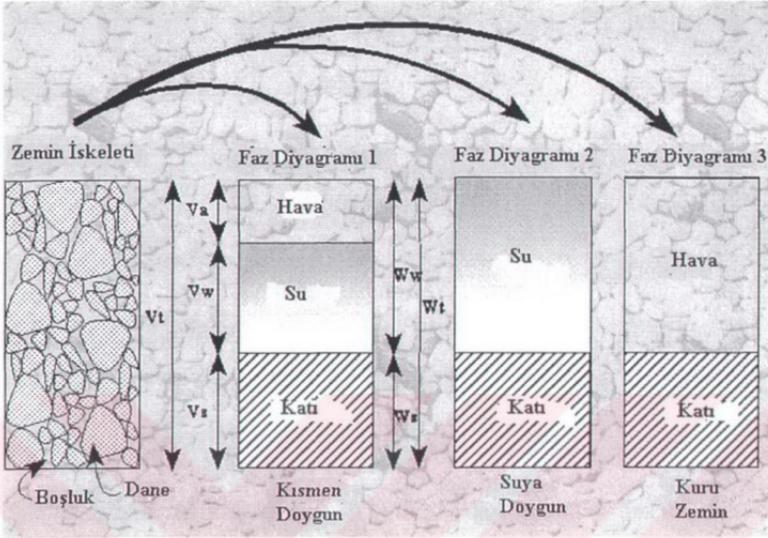
1999 Kocaeli ve Düzce Depremleri ana şoku sonrası 17.08.1999-14.08.2001 tarihleri arasında KRDAE tarafından 34 adet artçı şok kaydedilmiştir. Büyüklükleri Mb olarak hesaplanan artçı şoklar 4.5 ile 5.5 arasında değişmektedir (Şekil 3.7). Zamanla artçı şokların oluşum sıklıkları ve büyüklükleri azalmıştır. İzmit Körfezi ve çevresinde oluşmuş tarihsel dönem depremleri ve 1900 yılından bu yana oluşan aletsel dönem depremleri önemli hasarlara ve can kayıplarına yol açmışlardır. Sonuç olarak tarihsel ve aletsel dönem depremlere bakıldığında İzmit Havzası ve civarı deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır.

BÖLÜM 4. ZEMİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Zeminlerin depreme vereceği tepkinin belirlenebilmesi için, öncelikle zeminin hangi tür malzemeden meydana geldiği araştırılmalıdır. Zeminler köken, tane boyu ve şekli olarak farklı türde malzeme içerebilmektedir. Bu farklılıklardan dolayı deprem esnasında zemine etkiyen sismik yükler farklı etkiler doğurmaktadır. Genel olarak birbiriyle temas halinde olan tanelerden oluşan kohezyonsuz (kum ve çakıl) ve çok ufak ve birbirlerine yapışık tanelerden oluşan kohezyonlu zeminler (killer) olarak iki tip zemin tanımlanır. Siltler plastisiteye bağlı olarak kohezyonlu veya kohezyonsuz olarak nitelendirilebilir. Doğal zeminler bu iki zemin türü karışımları olabileceği gibi yalnızca kil, silt, kum ve çakıldan da meydana gelebilir.

Farklı boyut ve şekillerdeki tanelerin bir araya gelmesi ile bir zemin iskeleti oluşur ve bu zemin iskeletinin boşlukları genellikle su ve hava veya gaz ile dolmuştur. Zemin doğal olarak kuru, suya doymun veya kısmen suya doymun hallerde (fazlarda) bulunur (Şekil 4.1). Zemin ortam olarak nitelendirilen ayrık malzeme yığınları ve kayaların mühendislik özellikleri, güvenli ve ekonomik mühendislik yapıların inşası için çok detaylı bir şekilde araştırılmalıdır.

Zemin genel olarak zemin taneleri, boşluk suyu ve hava gibi üç kısımdan oluşmaktadır. Zeminin deformasyonu sözkonusu olduğunda zeminin iskeleti göz önüne alınır (Şekil 4.1). Zemin iskeleti tarafından taşınan gerilmelere efektif gerilme denir. Gözenekler arasındaki suyun oluşturduğu gerilmelere de boşluk suyu basıncı adı verilir. Zemin deformasyonunda zemin içindeki havanın ve suyun rijitideleri küçük olduğundan zemin davranışına etkisi ihmal edilir. Zemin tanelerinin rijitidesi hava ve suya oranla oldukça yüksektir, fakat tanelerin tek başına deformasyonları ihmal edilebilir. Bu nedenle zemin iskeleti ve boşluk suyu temel olarak zeminin davranışını kontrol eder.



Şekil 4.1. Zemin iskeleti ve zemini oluşturan kısımlar.

Zemini oluşturan tanelerin boyları zeminin deformasyon karakteristiğini büyük ölçüde etkiler. Kum ve kil gibi farklı tane boyutlarındaki malzemeler farklı deformasyon özellikleri gösterebilirler. Zemindeki boşluk suyunun tanımlanması ve modellenmesi oldukça sorunlu olabilmektedir. Zeminden boşluk suyu drene olmuş ise bu durumda boşluk suyunun deformasyona ve zeminin davranışına etkisi az olmaktadır fakat zeminde boşluk suyu var ise zemin iskeleti içinde onunla beraber tek bir davranış gösterir (AIJ 1993). Zemin ortamlar incelenirken ortamdaki su ve mühendislik özellikler belirlenmelidir.

4.1. Zeminlerin Genel Mühendislik Özellikleri

Belirgin mühendislik özellikleri gösteren zemin veya kayaları gruplandırmak, ortamların herhangi bir çalışmada daha belirgin bir şekilde anlaşılmasını sağlar. Zeminlerin mühendislik özellikleri;

- Köken Kaya
- Minerolojik bileşim
- Organik madde içeriği

- Yaş
- Taşınma metodu
- Depolanma yeri
- Sıklık derecesi
- Tane boyu dağılımı faktörleri ile belirlenir.

Bu faktörlere bağlı zeminin bazı önemli mühendislik özellikleri

- Geçirimsizlik (k)
- Elastisite (E)
- Atterberg Limitleri (LL ve PL, PI)
- Kohezyon (c)
- İçsel sürtünme açısı (ϕ)
- Su içeriği (w_n)
- Birim hacim ağırlığı (γ_n)
- Büzülme/şişme potansiyeli
- Sıkışabilirlik
- Tane boyu dağılımı olmaktadır.

Aşağıda zeminlerin bu önemli özelliklerinden bazıları açıklanmaktadır.

4.1.1. Geçirimsizlik (Permeabilite)

Zeminin önemli mühendislik özelliklerinden birisi geçirimsizliğidir. Değişik zemin türleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda permeabilite katsayılarının (k) çok geniş aralıklarda olduğu gözlenmiştir. İri taneli ve konsalide olmamış çökeller, suyu ortamda çok kolay iletirler. Bunun yanında permeabilitesi oldukça düşük olan ince taneli kil ve silt türü çökeller, bazı mühendislik projelerinde suyu ortamda tutmak amacıyla kullanılırlar. Farklı tane boylarından oluşan sedimanter malzemenin permeabilite değerleri çok geniş bir aralıkta değişmektedir. İnceleme alanı zeminleri için geçirimsizlik değerleri ve dereceleri Terzaghi and Peck (1967)'e göre mühendislik özellikleri belirten tablolarda verilmiştir. Suyun zeminler içinde kolay veya zor hareket etmesi deprem sırasında ve sonrasında aşırı boşluk suyu basıncının gelişimini doğrudan etkiler. Zemin içinde sıvılaşmayı kontrol eden anahtar parametrelerden birisi permeabilitedir (Snieder and Beukel 2004).

4.1.2. Zeminlerin plastisitesi

Plastisite kohezyonlu zeminlerin çatlamadan veya ufalanmadan kalıcı olarak deforme olma özelliğinin bir göstergesidir. Kohezyonlu zeminlerin kıvam özelliklerini belirler. Likit limit ve Plastik limit kohezyonlu zeminlerin davranışlarını belirleyen iki önemli sınır değeridir. Bu limitlere Atterberg Limitleri adı verilir. Bu limitler arasındaki fark plastisite indeksi (PI) olarak ifade edilir. PI zeminin göstereceği plastik davranışın önemli bir göstergesidir. Atterberg limitleri bir zemin ortamın yüklenme geçmişi belirlenmesinde de kullanılır. Tablo 4.1 ince taneli (kohezyonlu) zeminlerin LL değerlerine göre plastiklik sınıflarını, Tablo 4.2 PI değerlerine göre plastiklik sınıfları ve Tablo 4.3 ise kıvamlılık indeksi değerlerine göre kıvam sınıflarını göstermektedir. Kıvamlılık indeksi Denklem 4.1'de laboratuvar deneylerinden elde edilen değerlerin yerine konulmasıyla hesaplanır.

$$CI = \frac{LL - w_n}{PI} \quad (4.1)$$

İnceleme alanındaki ince taneli ve kohezyonlu zeminlerin LL, PL, ve PI değerleri tablolara aktarılarak Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'e göre sınıflandırılmışlardır.

Tablo 4.1. 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 4.2. 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 4.3. 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

4.1.3. Zeminlerin sıkışabilirliği

İri daneli (kohezyonsuz) zeminlerin önemli özelliklerinden birisidir. Relatif sıkılık (D_r) ile tanımlanan sıkışabilirlik, zeminin sıkılığı ve dolayısıyla dayanımı hakkında fikir verir. Tablo 4.4 kum ve çakılların rölatif sıkılık değerlerine karşılık zeminleri çok gevşek ile çok sıkı arasında tanımlar. Kumlar ve çakılların relatif sıkılıkları doğal haldeki boşluk oranı ve laboratuarda belirlenen en gevşek haldeki boşluk oranı (e_{max}) ve en sıkı haldeki boşluk oranı (e_{min}) ile Denklem 4.2’de ki gibi hesaplanır. Bulunan değer Tablo 4.4’teki değerler ile karşılaştırılarak zeminin gevşek veya sıkı olduğu belirlenir. SPT N_{30} değerleri zeminlerin relatif sıkılıklarını belirlemede kullanılmaktadır. Boşluk oranı verilerinin olmaması durumunda SPT N_{30} verileri

yardımıyla zeminlerin gevşek veya sıkı olup olmadığı belirlenir. SPT N_{30} değerlerine karşılık zeminlerin sıklığı Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te verilmektedir.

$$Dr = \frac{e_{\max} - e_n}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (4.2)$$

e_{\max} =zeminin en gevşek haldeki boşluk oranı

e_{\min} =zeminin en sıkı haldeki boşluk oranı

e_n =zeminin doğal haldeki boşluk oranı

Tablo 4.4. Kum ve çakıllı zeminlerin relatif sıklıkları (IAEG 1981).

Tanım	Relatif Sıklık (%)	SPT N_{30}
Çok gevşek	< 20	0-4
Gevşek	20-33	4-10
Orta sıkı	33-66	10-30
Sıkı	66-90	30-50
Çok sıkı	90-100	> 50

Tablo 4.5. Zeminlerin SPT N_{30} değerlerine göre sıklık ve kıvam sınıfları (Peck et al 1974).

Kohezyonsuz Zeminler		Kohezyonlu Zeminler	
Sıklık	SPT N_{30}	Kıvam	SPT N_{30}
Çok gevşek	< 4	Çok yumuşak	< 2
Gevşek	4-10	Yumuşak	2-4
Orta sıkı	10-30	Orta Katı (firm)	4-8
Sıkı	30-50	Katı (stiff)	8-15
Çok sıkı	> 50	Çok katı (very stiff)	15-30
		Sert (hard)	> 30

4.1.4. Zeminlerin dayanımı

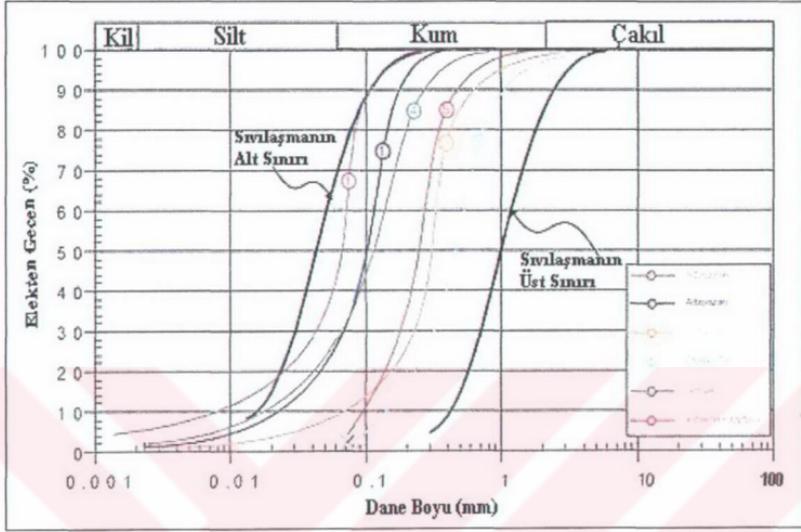
Kohezyonlu zeminler için temel parametrelerden birisi serbest basınç dayanımıdır. Kohezyonlu zeminlerin serbest basınç dayanımı serbest basınç deneyi ile bulunur. Bu deney sonucunda elde edilen Mohr çemberinden zemine ait kayma direnci (görünür kohezyon) de hesaplanabilir. Tablo 4.6 ince taneli zeminlerin serbest basınç dayanımlarına göre sınıflarını göstermektedir. İnceleme alanındaki zeminler için yapılmış serbest basınç dayanım verileri Tablo 4.6'ya göre tanımlanmıştır.

4.1.5. Zeminlerin dane boyu dağılımı

Zemin içinde bulunan danelerin çaplarının yüzde dağılımı, o zeminin ne tür bir zemin olduğunu belirler. Bu incelemede USCS'de kabul edilen dane boyları temel alınarak zeminler tanımlanmıştır. Bu sınıflamaya göre çakıl ile kum arasındaki sınır 4.76 mm, kum ile silt arasındaki sınır 0.074 mm, silt ile kil arasındaki sınır 0.002 mm olarak tanımlanmıştır. Zemin sıvılaşmasında zemin içindeki dane boyu dağılımı çok önemli bir etken olarak öne çıkmaktadır. Genelde silt-çakıl arasındaki tane boylarına sahip zeminler diğer sıvılaşma koşullarının sağlanmasına göre sıvılaşma özelliği taşırlar. Bu nedenle inceleme alanındaki zeminlerin dane boyu dağılımı ortaya konulmalıdır. Sıvılaşmaya yatkın tane boyu dağılımı aralığı Şekil 4.2'de görülmektedir. 1999 Kocaeli Depremi'nde Adapazarı ve diğer alanlarda sıvılaşmış zeminlerden alınmış numunelerin tane boyu dağılımlarını Şekil 4.2 göstermektedir. İnceleme alanındaki zeminlerin elek analiz sonuçları tablolarda (Bkz. Tablo 4.8, 4.10 ve 4.12) 4 nolu elek üstünde kalan ve 200 nolu elekten geçen şekilde belirtilmiştir.

Tablo 4.6. İnce taneli zeminlerin serbest basınç dayanım sınıfları (IAEG 1981).

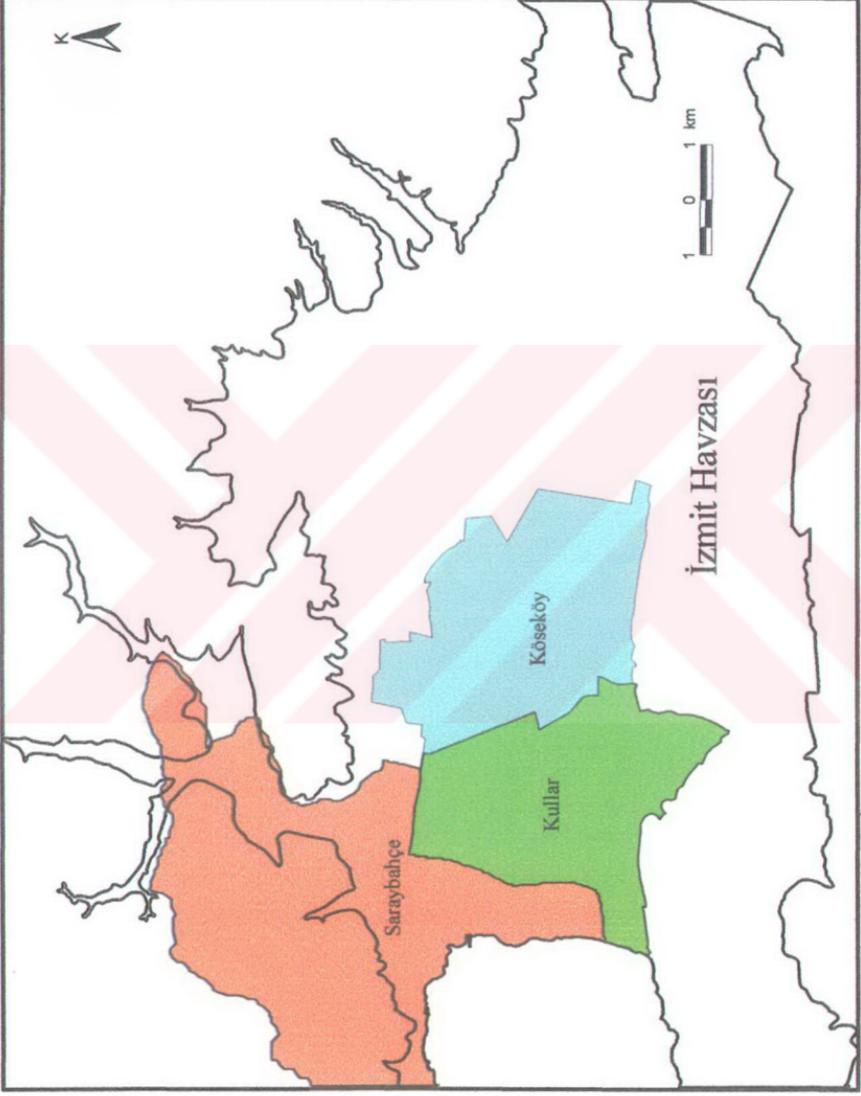
Tanım	Serbest Basınç Dayanımı (kg/cm ²)
Çok Yumuşak	< 0.20
Yumuşak	0.20–0.4
Orta Katı	0.4–0.75
Sert	0.75–1.5
Çok sert	> 1.5



Şekil 4.2. Sıvılaştıran ve sıvılaştırma potansiyeli taşıyan zeminlerin dane boyu dağılımı (Kasapoğlu ve diğ. 1999).

4.2. İnceleme Alanı Zeminleri Mühendislik Özellikleri

İnceleme alanı İzmit Havzası içinde kalan belediyeler ve beldelerin yaptırmış olduğu jeolojik ve jeoteknik zemin araştırma raporlarından elde edilen veriler kullanılarak havza içinde bulunan zeminlere ait mühendislik özellikler ortaya çıkarılmıştır. Zeminlere ait veriler derlenerek gerekli hesaplama ve sınıflandırmalarla tablolara aktarılarak literatürde geçerli mühendislik sınıflarına göre ayrılmıştır. İnceleme alanı İzmit Körfezi ve Sapanca Gölü arasında olmakla birlikte veri yoğunluğunun havzanın batı kesimi olan Saraybahçe, Kullar ve Köseköy Beldelerinde fazla olmasından dolayı bu üç yerleşim alanı verileri ile çalışmalar yapılmıştır. Şekil 4.3 inceleme alanı içinde mühendislik özellikleri belirlenen Saraybahçe, Kullar ve Köseköy yerleşim alanlarını göstermektedir.



Şekil 4.3. İnceleme alanında mühendislik özellikleri belirlenen zeminlerin yer aldığı kesimler.

4.2.1. Saraybahçe yerleşim alanı zeminleri mühendislik özellikleri

Saraybahçe Belediye'sinin özel bir sondaj şirketine 1999 Kocaeli Depremi sonrası yaptırmış olduğu Jeolojik-Jeofizik-Jeoteknik Etüd Raporu (Geos 2000) verileri Saraybahçe sınırları içinde yer alan zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde temel alınmıştır. Rapor kapsamında arazi deneylerinden SPT ve CPT yapılarak zemin ortamların litolojileri belirlenmiş ve alınan örselenmiş-örselenmemiş numuneler ile de laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar deneyleri ile zeminlerin fiziksel ve mühendislik özelliklerinden w_n , γ_n , Atterberg Limitleri belirlenmiş bunun yanında numunelere serbest basınç, üç eksenli basınç, kesme kutusu deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca iri daneli çakıl ve kumlardan oluşan zeminler için de elek analizi deneyleri yapılmıştır. Arazi, laboratuvar ve elek analizi verileri yardımıyla Saraybahçe zeminlerinin özellikleri Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de verilmektedir. Tablo 4.7 ince taneli zeminlere ait mühendislik özellikleri, Tablo 4.8 ise iri taneli zeminlere ait mühendislik özellikleri içermektedir.

Saraybahçe yerleşim alanının İzmit Havzası içine düşen 22 sondaj kuyusundan (Şekil 4.4) farklı derinliklerde alınmış 34 numunesi laboratuvar deneylerine tabi tutulmuştur. 34 numunenin 7'si için elek analizi yapılmıştır. İnce ve iri taneli zeminlerin sınıflandırılması IAEG (1981) kabul ettiği mühendislik jeolojisi haritaları için kaya ve zemin sınıflandırmaları temel alınmıştır.

Saraybahçe yerleşim alanında sondajlarda alınan numunelerin analizi ile belirlenen CL türü zeminlerin LL'e göre plastiklik dereceleri düşük-orta arasındadır. PI'ne göre orta-yüksek plastisite sunmaktadır. Kıvamlılık indeksine göre ise çok katı- orta katı sert hallerinde bulunmaktadır. SPT N_{30} değerlerine göre ise yumuşak ile sert arasında ortalama değere göre katı kıvamındadır. Serbest basınç dayanım verilerinin minimum ve maksimum değerlerine göre kıvam orta katı-çok sert arasında değişmektedir. Ortalama değere göre ise çok sert kıvamdadır.

CH türü zeminlerin LL'e göre plastiklik dereceleri yüksek-çok yüksek arasındadır. PI'ye göre yüksek-oldukça yüksek plastisite sunmaktadır. Kıvamlılık indeksine göre



Şekil 4.4.Saraybahçe Beldesi zemin araştırma sondajları.

ise çok katı-orta katı hallerinde bulunmaktadır. SPT N_{30} değerlerine göre ise yumuşak-sert arasında ortalama değer göre de katı kıvamındadır. Serbest basınç dayanım verilerinin minimum ve maksimum değerlerine göre kıvam orta katı-çok sert arasında değişmektedir. Ortalama değere göre ise sert kıvamdadır.

ML türü zeminlerin LL'e göre plastiklik dereceleri düşüktür. PI'ne göre az plastisite sunmaktadır. Kıvamlılık indeksine göre ise çok orta katı-sert hallerinde bulunmaktadır. SPT N_{30} değerlerine göre katı kıvamındadır. Bu zeminin serbest basınç dayanım deneyi ile ilgili verisi bulunmamaktadır.

Kum zeminlerden SC için yapılan arazi deneylerden SPT N_{30} ve laboratuvar deneylerden elek analizi verileri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden kum zeminin SPT N_{30} değerleri 3-46 arasında değişmekte olup, ortalama değer yaklaşık 27'dir. SPT N_{30} değerlerine göre Dr çok gevşek-sıkı arasında olup ortalama değere göre orta sıklıktadır. Elek analizinde 4 nolu elekten aşağı geçen ortalama malzeme miktarı % 98 ve 200 nolu elekten geçen ortalama malzeme ise % 36 olarak elde edilmiştir.

Kum zeminlerden SM için SPT N_{30} ve elek analizi verileri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden bu kum zeminin SPT N_{30} değerleri 2-67 arasında değişmekte olup, ortalama değer yaklaşık 20'dir. SPT N_{30} değerlerine göre Dr çok gevşek-çok sıkı arasında olup ortalama değere göre orta sıklıktadır. Elek analizinde 4 nolu elekten aşağı geçen ortalama malzeme miktarı % 86 ve 200 nolu elekten geçen ortalama malzeme ise % 36 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.7. Saraybahçe yerleşim alanındaki ince taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.

Mühendislik Özellik		Zemin Türü		
		CL	CH	ML
LL (%)	Min. Değer	29.1	51.1	22.7
	Maks. Değer	47.1	80.1	22.7
	Ortalama Değer	38.8	61.8	22.7
PL (%)	Min. Değer	19.5	24.5	19.9
	Maks. Değer	24.5	31.9	19.9
	Ortalama Değer	21.8	28.1	19.9
PI (%)	Min. Değer	8.8	26.6	2.8
	Maks. Değer	22.9	40.8	2.8
	Ortalama Değer	17	33.6	2.8
w_n (%)	Min. Değer	17.7	22.1	15.8
	Maks. Değer	58.8	68.8	15.8
	Ortalama Değer	31.6	48.6	15.8
γ_n (gr/cm ³)	Min. Değer	1.600	1.559	-
	Maks. Değer	2.060	1.973	-
	Ortalama Değer	1.870	1.725	-
SPT N ₃₀	Min. Değer	2	2	9
	Maks. Değer	73	57	9
	Ortalama Değer	12.2	12.5	9
q_u (kg/cm ²)	Min. Değer	0.42	0.50	-
	Maks. Değer	7.24	4.66	-
	Ortalama Değer	2.396	1.26	-
c (kg/cm ²)	Min. Değer	0.21	0.25	-
	Maks. Değer	3.62	2.33	-
	Ortalama Değer	1.198	0.63	-
Geçirimlilik (cm/sn)		< 10 ⁻⁹		10 ⁻⁹ -10 ⁻⁵
Geçirimlilik Derecesi		Geçirimsiz		Az

Kum zeminlerden SP için SPT N_{30} ve elek analizi verileri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden bu kum zeminin SPT N_{30} değerleri 19–94 arasında değişmekte olup, ortalama değer yaklaşık 54'dir. SPT N_{30} değerlerine göre Dr orta sıkı-çok sıkı arasında olup ortalama değere göre çok sıkıdır. Elek analizinde 4 nolu elekten aşağı geçen ortalama malzeme miktarı % 95 ve 200 nolu elekten geçen ortalama malzeme ise % 3 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.8. Saraybahçe yerleşim alanı iri taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.

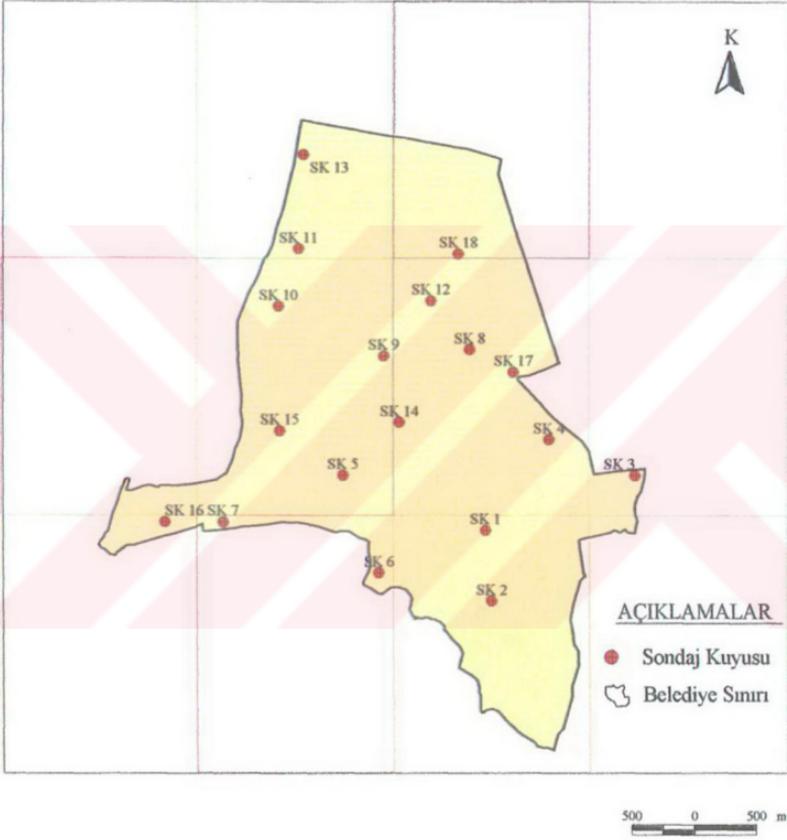
Mühendislik Özellik		Zemin Türü			
		SC	SM	SP	
w_n (%)	Min. Değer	-	-	-	
	Maks. Değer	-	-	-	
	Ortalama Değer	-	-	-	
γ_n (gr/cm ³)	Min. Değer	-	-	-	
	Maks. Değer	-	-	-	
	Ortalama Değer	-	-	-	
SPT N_{30}	Min. Değer	3	2	19	
	Maks. Değer	46	67	94	
	Ortalama Değer	26.7	20.3	54.2	
Elek Analizi	+ 4	Min. Değer	0	14	5
		Maks. Değer	4	14	5
		Ortalama Değer	2	14	5
	- 200	Min. Değer	25	36	3
		Maks. Değer	47	36	3
		Ortalama Değer	36	36	3
Geçirimsizlik Katsayısı (cm/sn)		10^{-5} – 10^{-2}			
Geçirimsizlik Derecesi		Orta			

4.2.2. Kullar yerleşim alanı zeminleri mühendislik özellikleri

Kullar yerleşim alanında yapılmış, Kullar (İzmit) belediyesi yerleşim alanının jeoloji-jeofizik-jeoteknik zemin inceleme raporundan (Megason 2000) elde edilen veriler kullanılarak bu alana ait zeminlerin mühendislik özellikleri ortaya konmuştur. Bu alanda farklı lokasyonlarda açılmış 18 adet (SK1-SK18) sondaj kuyusu (Şekil 4.5) ve bu kuyuların farklı derinliklerinden alınmış 32 numunenin laboratuvar analizlerinin sonuçları, zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlemede kullanılmıştır. 32 numunenin 13'ü elek analizine tabi tutulmuştur. Sondaj logları ve laboratuvar analiz sonuçlarının incelenmesi sonucunda ince taneli (CL, CH) ve iri taneli (SM/SW/SP, GP /GW) zeminlerine ait mühendislik özellikleri ayrı tablolarda sunulmuştur. İnce taneli zeminlere ait mühendislik özellikleri Tablo 4.9'da, iri taneli zeminlere ait mühendislik özellikleri Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.9 ince taneli (CL, CH) zeminlere ait likit limit, plastik limit, plastisite indeksi, su içeriği, birim hacim ağırlığı, SPT N_{30} , serbest basınç dayanımı ve kohezyon için minimum, maksimum ve ortalama değerleri içermektedir. Tablo 4.10 çakıl ve kum zeminlere ait doğal su içeriği, doğal birim hacim ağırlığı, SPT N_{30} ve elek analizi değerlerini içermektedir. İnce ve iri taneli zeminlerin sınıflandırılmasında IAEG (1981) kabul ettiği mühendislik jeolojisi haritaları için kaya ve zemin sınıflandırmaları temel alınmıştır.

Kullar yerleşim alanında sondajlarla belirlenen CL türü zeminlerin LL'e göre plastiklik dereceleri düşük-orta arasındadır. PI'ne göre orta-yüksek plastisite sunmaktadır. Kıvamlılık indeksine göre ise sert (min. değere göre), yumuşak (maks. değere göre) ve orta katı (ort. değere göre) hallerinde bulunmaktadır. SPT N_{30} değerlerine göre ise orta katı, katı ve çok katı kıvamlarındadır. Serbest basınç dayanım verilerinin minimum ve maksimum değerlerine göre kıvam sert ve çok sert arasında değişmektedir. Ortalama değere göre ise çok sert kıvamdadır.



Şekil 4.5. Kullar Beldesi zemin araştırma sondajları.

CH türü zeminlerin LL'e göre plastiklik dereceleri yüksek-çok yüksek arasındadır. PI'ye göre yüksek-oldukça yüksek plastisite sunmaktadır. Kıvamılık indeksine göre ise orta katı-sert hallerinde bulunmaktadır. SPT N_{30} değerlerine göre ise katı-çok katı kıvamlarındadır. Serbest basınç dayanım verilerinin ortalama ve maksimum değerleri ne göre kıvam çok serttir. Minimum değere göre ise sert kıvamdadır.

Kum zeminlerden SM/SW/SP için yapılan laboratuvar deneylerden γ_n , SPT N_{30} ve elek analizi verileri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden kum zeminlerin γ_n değerleri 1.83–1.88 gr/cm³ arasında olup, ortalama γ_n değeri 1.85 gr/cm³' tür. SPT N_{30} değerleri 9–29 arasında değişmekte olup, ortalama değer yaklaşık 18'dir. SPT N_{30} değerlerine göre Dr gevşek-orta sıkı arasındadır. Elek analizinde 4 nolu elekten aşağı geçen ortalama malzeme miktarı % 91 ve 200 nolu elekten geçen ortalama malzeme ise % 23.4 olarak belirlenmiştir.

İri taneli zeminlerden GP/GW için yapılan laboratuvar deneylerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Su muhtevası ortalama % 16'dır. Ortalama SPT N_{30} değeri 40 olup çakıllı zeminlerin relatif sıklık derecesinin sıkı olduğunu gösterir. Buradaki yüksek SPT N_{30} değerlerinin nedeni SPT numune alıcısının çakıl zeminlerde zor ilerlemesinden dolayı olabilir. Elek analizinde 4 nolu elekten aşağı geçen ortalama malzeme miktarı % 44 ve 200 nolu elekten geçen ortalama malzeme ise % 4 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4.9. Kullar yerleşim alanı ince taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.

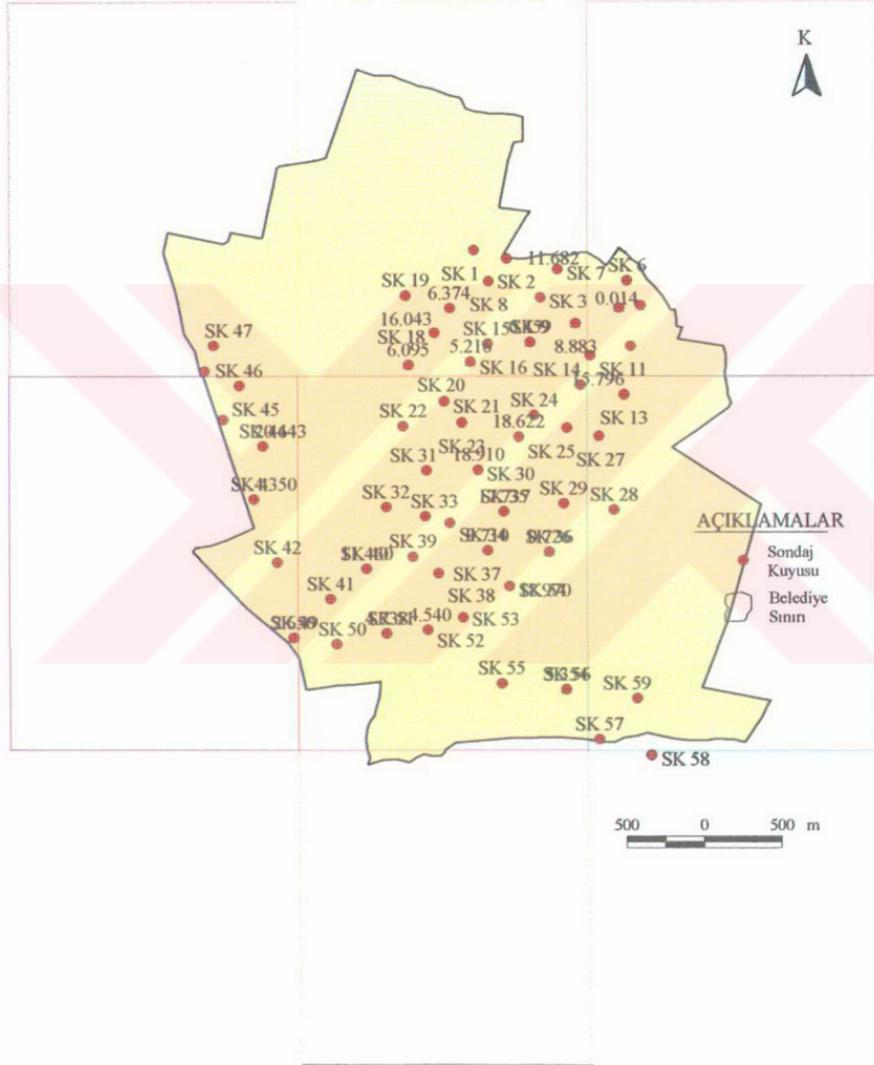
Mühendislik Özellik		Zemin Türü	
		CL	CH
LL (%)	Min. Değer	30	65
	Maks. Değer	48	80
	Ortalama Değer	41	72.75
PL (%)	Min. Değer	19	27
	Maks. Değer	24	48
	Ortalama Değer	22	39.63
PI (%)	Min. Değer	10	30
	Maks. Değer	28	41
	Ortalama Değer	19	33.13
w_n (%)	Min. Değer	21	32
	Maks. Değer	43	38
	Ortalama Değer	33.1	35.75
γ_n (gr/cm ³)	Min. Değer	1.80	1.80
	Maks. Değer	1.86	1.85
	Ortalama Değer	1.82	1.84
SPT N ₃₀	Min. Değer	5	9
	Maks. Değer	26	29
	Ortalama Değer	15,5	17
q_u (kg/cm ²)	Min. Değer	0.80	
	Maks. Değer	3.52	
	Ortalama Değer	1.69	
c (kg/cm ²)	Min. Değer	0.4	
	Maks. Değer	1.76	
	Ortalama Değer	0.85	
Geçirimsizlik Katsayısı (cm/sn)		< 10 ⁻⁹	
Geçirimsizlik Derecesi		Geçirimsiz	

Tablo 4.10. Kullar yerleşim alanı iri taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.

Mühendislik Özellik		Zemin Türü		
		SM/SW/SP	GP/GW	
w_n (%)	Min. Değer	-	15	
	Maks. Değer	-	17	
	Ortalama Değer	-	16	
γ_n (gr/cm ³)	Min. Değer	1.83	-	
	Maks. Değer	1.88	-	
	Ortalama Değer	1.85	-	
SPT N ₃₀	Min. Değer	9	33	
	Maks. Değer	29	47	
	Ortalama Değer	17.8	39.2	
Elek Analizi	-4	Min. Değer	82	40
		Maks. Değer	100	48
		Ortalama Değer	91	44
	-200	Min. Değer	5	3
		Maks. Değer	45	5
		Ortalama Değer	23.4	4
Geçirimsizlik Katsayısı (cm/sn)		10^{-5} - 10^{-2}	10^{-2} -1	
Geçirimsizlik Derecesi		Orta	Yüksek	

4.2.3. Köseköy yerleşim alanı zeminleri mühendislik özellikleri

Köseköy yerleşim alanında yapılmış Köseköy Belediyesi revize imar planına esas jeolojik-jeoteknik zemin inceleme raporundan (Seta 2000) elde edilen veriler kullanılarak bu alana ait zeminlerin mühendislik özellikleri ortaya konmuştur. Bu alanda farklı lokasyonlarda açılmış toplam 59 adet (SK1-SK59) sondaj kuyusu bulunmaktadır (Şekil 4.6). Bu kuyuların 44'ünün farklı derinliklerinden alınmış 146 numunenin laboratuvar analizi sonuçları, zeminlerin mühendislik özelliklerini belirlemede kullanılmıştır. 146 numunenin hepsi elek analizine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.6. Köseköy Beldesi zemin araştırma sondajları.

Sondaj logları ve laboratuvar analiz sonuçlarının incelenmesi sonucunda ince taneli (CL, CH, ML) ve iri taneli (SM/SW/SP, GC) zeminlerine ait mühendislik özellikleri ayrı tablolarda sunulmuştur. İnce taneli zeminlere ait mühendislik özellikleri Tablo 4.11’de, iri taneli zeminlere ait mühendislik özellikleri Tablo 4.12’de verilmiştir. Tablo 4.11 ince taneli (CL, CH, ML) zeminlere ait likit limit, plastik limit, plastisite indeksi, su içeriği, birim hacim ağırlığı, SPT N_{30} , serbest basınç dayanımı ve kohezyon için minimum, maksimum ve ortalama değerleri içermektedir. Tablo 4.12 çakıl, kum ve silt zeminlere ait doğal su içeriği, doğal birim hacim ağırlığı, SPT N_{30} ve elek analizi değerlerini içermektedir. İnce ve iri taneli zeminlerin sınıflandırması IAEG (1981) kabul ettiği mühendislik jeolojisi haritaları için kaya ve zemin sınıflandırmaları temel alınmıştır.

Köseköy yerleşim alanında sondajlarla belirlenen CL türü zeminlerin LL’e göre plastiklik dereceleri düşük-orta arasındadır. PI’ne göre orta-yüksek plastisite sunmaktadır. Kıvamlılık indeksine göre ise çok katı (min. değere göre), orta katı (maks. değere göre) ve çok katı (ort. değere göre) hallerinde bulunmaktadır. SPT N_{30} değerleri 9–50 arasında olup ortalama değer yaklaşık 27’dir bu değerlere göre, katısert, çok katı kıvamlarındadır. Serbest basınç dayanım verilerinin minimum ve maksimum değerlerine göre kıvam katı-çok sert arasında değişmektedir. Ortalama değere göre ise sert kıvamdadır.

CH türü zeminlerin LL’e göre plastiklik dereceleri orta-çok yüksek arasındadır. PI’ne göre orta-yüksek plastisite sunmaktadır. Kıvamlılık indeksine göre ise çok katı-orta katı hallerinde bulunmaktadır. SPT N_{30} değerlerine göre ise katısert, çok katı kıvamlarındadır. Serbest basınç dayanım verilerinin minimum ve maksimum değerlerine göre kıvam orta katı-çok serttir. Ortalama değere göre ise katı kıvamdadır.

ML türü zeminlerin LL’e göre plastiklik dereceleri düşüktür. PI’ne göre az plastisite sunmaktadır. Kıvamlılık indeksine göre ise çok katı-çok sert hallerinde bulunmaktadır. SPT N_{30} değerlerine göre sert kıvamındadır. Serbest basınç dayanım deneyi yapılmadığından serbest basınç dayanım verisi bulunmamaktadır.

Kum zeminlerden SM/SW/SP için arazi deneylerinden SPT N_{30} ve laboratuvar deneylerinden w_n , ve elek analizi verileri elde edilmiştir. Elde edilen verilerden kum zeminlerin w_n değerleri % 9.3–35.3 arasında olup, ortalama w_n değeri % 15.33' tür. SPT N_{30} değerleri 11.5–50 arasında değişmekte olup, ortalama değer yaklaşık 29'dur. SPT N_{30} değerlerine göre Dr orta sıkı-sıkı arasındadır. Elek analizinde 4 nolu elekten aşağı geçen ortalama malzeme miktarı % 22.3 ve 200 nolu elekten geçen ortalama malzeme ise % 30.70 olarak elde edilmiştir.

İri taneli zeminlerden GC için yapılan laboratuvar deneylerinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Su muhtevası ortalama % 12.1'dir. Ortalama SPT N_{30} değeri 41 olup çakıllı zeminlerin relatif sıklık derecesinin sıkı olduğuna işaret eder. Buradaki yüksek SPT N_{30} değerlerinin nedeni SPT deneyinin çakıl zeminlerde zor ilerlemesinden dolayı olabilir. Elek analizinde 4 nolu elekten aşağı geçen ortalama malzeme miktarı % 49 ve 200 nolu elekten geçen ortalama malzeme ise % 15 olarak elde edilmiştir.

ML zemini için de elek analizi yapılmıştır. Elek analizinde 4 nolu elekten aşağı geçen ortalama malzeme miktarı % 99 ve 200 nolu elekten geçen ortalama malzeme ise % 71 olarak elde edilmiştir. ML zeminin elek analizi verileri Tablo 4.11'de iri taneli zeminler ile birlikte verilmiştir.

Tablo 4.11. Köseköy yerleşim alanı ince taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.

Mühendislik Özellik		Zemin Türü		
		CL	CH	ML
LL (%)	Min. Değer	25	50	24.4
	Maks. Değer	50	78.7	28.5
	Ortalama Değer	38.60	50.64	26.45
PL (%)	Min. Değer	17.2	24.1	21.1
	Maks. Değer	25.9	32.9	24.2
	Ortalama Değer	21.52	27.1	22.65
PI (%)	Min. Değer	7.5	25.1	3.3
	Maks. Değer	25.6	46	4.3
	Ortalama Değer	17.56	30.2	3.8
w_n (%)	Min. Değer	8.2	21.2	17.5
	Maks. Değer	40.3	56.5	19.9
	Ortalama Değer	17.91	29.49	18.7
γ_n (gr/cm ³)	Min. Değer	1.903	1.777	-
	Maks. Değer	2.054	1.979	-
	Ortalama Değer	1.974	1.894	-
SPT N_{30}	Min. Değer	9	12.5	27
	Maks. Değer	50	48	44
	Ortalama Değer	26.99	27.45	35.5
q_u (kg/cm ²)	Min. Değer	0.5	0.58	-
	Maks. Değer	2.14	3.86	-
	Ortalama Değer	1.03	0.64	-
c (kg/cm ²)	Min. Değer	0.25	0.29	-
	Maks. Değer	1.07	1.93	-
	Ortalama Değer	0.51	1.29	-
Geçirimsizlik (cm/sn)		< 10 ⁻⁹		10 ⁻⁹ -10 ⁻⁵
Geçirimsizlik Derecesi		Geçirimsiz		Az

Tablo 4.12. Köseköy yerleşim alanı iri taneli zeminlerin mühendislik özellikleri.

Mühendislik Özellik		Zemin Türü			
		SM/SW/SP	GC	ML	
w_n (%)	Min. Değer	9.3	12.1	17.5	
	Maks. Değer	35.3	12.1	19.9	
	Ortalama Değer	15.33	12.1	18.7	
γ_n (gr/cm ³)	Min. Değer	-	-	-	
	Maks. Değer	-	-	-	
	Ortalama Değer	-	-	-	
SPT N_{30}	Min. Değer	11.5	41	27	
	Maks. Değer	50	41	44	
	Ortalama Değer	29.08	41	35.5	
Elek Analizi	+ 4	Min. Değer	1	51	-
		Maks. Değer	49	51	2
		Ortalama Değer	22.30	51	1
	- 200	Min. Değer	16	15	64
		Maks. Değer	48	15	78
		Ortalama Değer	30.70	15	71
Geçirimlilik Katsayısı (cm/sn)		10^{-5} - 10^{-2}	10^{-5} - 10^{-2}	10^{-9} - 10^{-5}	
Geçirimlilik Derecesi		Orta	Orta	Az	

BÖLÜM 5. ZEMİNİN DİNAMİK DAVRANIŞLARI

Zeminin dinamik davranışı, depremde ortaya çıkan sismik dalgaların zemin ortamında yarattığı yanal ve düşey yüklere verdiği tepki olarak nitelendirilir. Diğer bir deyişle, zeminin deprem yükü (çevrimsel yük) altında gösterdiği davranışlardır. Zeminler, depremden gelen yüklerden dolayı, zeminde durumuna bağlı olarak farklı davranışlar gösterebilir. Depremle ortaya çıkan zeminin dinamik davranışlarından en önemlileri zeminin sıvılaşması, zeminin oturması, zemin büyütmesi ve zeminin doğal yamaçlardan ve şevlerden kayması olarak sayılabilir. Bu bölümde deprem tarafından oluşturulan çevrimsel yüklerin yarattığı etkilerden olan sıvılaşma, oturma ve kayma deformasyonları üzerinde durulmuştur.

Dinamik yükler altındaki zeminlerin durumu zemin dinamiği araştırmalarının konularını oluşturmaktadır. Dinamik yükler söz konusu olunca zemin ortamın dayanım gücü önem kazanmaktadır. Zemin mekaniğinin konusu olan statik yükler karşısında ihmal edilen 10^{-6} 'lık deformasyon miktarı zemin dinamik davranışı için önemli olmaktadır. Dinamik yükler çevrimsel bir yapıda olup depremler, trafik ve deniz dalgaları tarafından oluşturulurlar. Dinamik yükler dalga, titreşim ve şok gibi farklı formlarda çok kısa veya uzun periyotlarda ortama etki ederler. Örneğin, uçaktan atılan bir bombanın yere etkisi 10^{-3} - 10^{-2} sn gibi bir sürede ani bir şok şeklinde olurken, depremde ise yükler ortama farklı amplitütlerde 10-20 kez tekrarlanarak 10^{-2} sn - 3 dakika süre kadar etki edebilmektedir (Ishihara 1996).

Zeminlerin deformasyon karakteristikleri, etkisi altında kaldıkları makaslama deformasyonlarının büyüklüğüne bağlı olmaktadır. Deformasyonların büyüklüklerine göre zeminler elastik, elasto-plastik ve göçme şeklinde davranış gösterirler. 10^{-4} 'ten küçük deformasyon büyüklüklerinde zemin tamamen elastik davranarak ilksel durumuna dönebilmektedir. 10^{-4} - 10^{-2} 'lik deformasyon karşısında zemin davranışı elasto-plastik olmaktadır. Bu durumda zemin ilksel durumuna dönemeyip çatlaklar,

farklı oturmalar gibi deformasyonlara maruz kalabilir. Büyük deformasyonlar karşısında zeminde sıvılaşma, kayma ve oturmalar gibi göçme davranışlar ortaya çıkar. Zeminin elastik davranışı diğer sıradan malzemelerden beton veya çelik gibi olmayıp daha dar bir alanda bulunmaktadır.

Zeminlerin dinamik davranışlarını ortaya koyan bazı matematiksel analizler geliştirilmiştir. Bu analizler yer tepki analizleri olarak adlandırılır. Bunlar yapı tasarımı için deprem dalgalarının tahmini, sıvılaşma tehlikesinin değerlendirilmesi için dinamik gerilme ve deformasyon tespiti ve toprak ve istinat yapılarına hasar verebilen deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılırlar. Bu analizler bir boyutlu (1D), iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) olarak doğrusal (linear) ve doğrusal olmayan (nonlinear) yaklaşımlar ile zemin ortamların depremdaki davranışlarını ortaya koymaya çalışırlar. Zeminin dinamik davranışının matematiksel analizinin tam olarak yapılabilmesi ortamda bulunan zeminlerin elastisite modülünün ve doğrusal olmayan özelliklerinin eksiksiz bir şekilde bilinmesi ile gerçekleştirilebilir. Zemin özellikleri, zemin cinsine bağlı olarak çok farklılıklar sunarlar bu nedenle araştırılması yapılan alanda zemin özelliklerinin bilinmesi çok önemli olmaktadır. Aşağıdaki kısımlarda sıvılaşma, oturma ve kayma deformasyonları başlıkları altında zemin dinamik davranışları detaylı olarak anlatılacaktır.

5.1 Sıvılaşma Deformasyonu

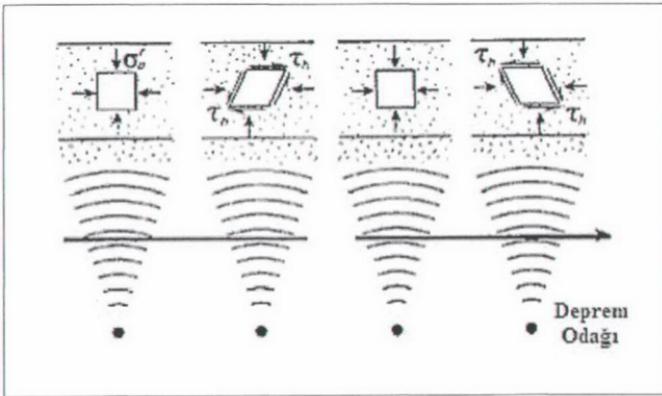
Zeminlerin dinamik davranışlarından önemli, karmaşık ve tartışmalı konularından birisi sıvılaşmadır. 1964 yılında Alaska ($M_w=9.2$) ve Niigata ($M_s=7.5$) Depremlerinin meydana gelmesiyle sıvılaşma olgusunun yıkıcı etkisi dikkat çekmiştir. Bu depremler, sıvılaşma ile oluşmuş yamaç kaymaları, köprü ve bina temel göçmeleri ve yapıların zemine gömülmesi gibi hasarlar yaratmışlardır. Sıvılaşma ile ilgili araştırmalar bu depremlerden sonra başlatılmış ve otuz beş yılı aşkın sürede pek çok araştırmacı bu konu ile ilgili araştırmalar yaparak farklı terminoloji, yaklaşım ve analiz yöntemleri geliştirmişlerdir.

Sıvılaşma, suya doymun taneli zeminlerin, özellikle temiz kum, siltli ve çakıllı kumlar gibi zeminlerin boşluk suyu basıncının deprem gibi dış etkiler yardımıyla

artması ve efektif gerilmesinin azalması sonucu katı halden akışkan bir hale geçmesi olayı olarak tanımlanır. Sıvılaşma, deprem sonucu ortaya çıkan enerji dalgalarının oluşturduğu kayma gerilmelerinin ortama uygulanması ile oluşur. Tekrarlı gerilmeler ortama uygulandıklarında zeminin genel yapısının veya iskeletinin bozulmasına ve boşluk suyu basıncının artmasına neden olurlar.

Sıvılaşmaya neden olan kayma gerilmeleri zemin içerisinde yukarı doğru yol alan çevrimsel kayma dalgaları tarafından oluşturulur. Zeminin yeryüzüne yakın seviyelerdeki deprem yükü ile yüklenmesi Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Depremde kayma gerilmeleri gelişigüzel fakat çevrimsel bir şekilde zemine etki ettiği kabul edilmektedir.

Kohezyonsuz ve gevşek bir şekilde bulunan zemin tanelerinin bulunduğu ortama kayma gerilmeleri uygulanırsa (τ), gevşek taneler sarsılmanın etkisiyle birbirlerine yaklaşarak daha sıkı bir hal alırlar. Hızlı çevrimsel kesme gerilmelerin uygulanması boşluk suyu basıncının (Denklem 5.1), statik düşey basınca (Denklem 5.2) eşit bir hale gelmesini sağlar ki bu da büyük deformasyon ve su akışına ve tanelerin askıda kalmasına yol açar. Toplam statik düşey basıncın deprem esnasında artan boşluk suyu basıncı tarafından azaltılmasıyla ortaya efektif düşey gerilme çıkar (Denklem 5.3).



Şekil 5.1. Zemin içinde deprem dalgalarının etkisi.

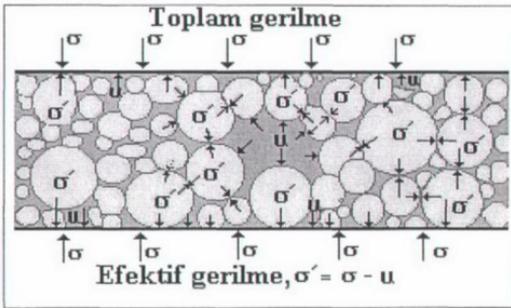
$$u = \gamma_w \times h \quad (5.1)$$

$$\sigma = \gamma_n \times h \quad (5.2)$$

$$\sigma' = \sigma - u \quad (5.3)$$

Şekil 5.2 de zemin tanelerinin birbirleriyle olan temasları ve zemine etkileyen gerilmeleri göstermektedir. Sıvılaştıran zemin etkisini zemin ortamının koşullarına göre farklı hasarlar şeklinde gösterir. NRC (1985) depremlerde zemin sıvılaşmasıyla ilişkili sekiz tür yenilme (deformasyon) tanımlar. Bunlar;

- 1- Kum kaynamaları (Çökme ve az hasar meydana getirir)
- 2- Yamaçların akma türü kayması (Çok büyük zemin kütlelerinin yamaç aşağı kayması)
- 3- Yatay (yanal) yayılma
- 4- Zemin salınımı
- 5- Taşıma gücünün kaybolması
- 6- Zemine gömülü yapılarının yüzeye çıkması
- 7- Zemin oturması
- 8- İstinat duvarlarının göçmesi



Şekil 5.2. Zemin içinde oluşan gerilmeler.

Sıvılaşma hasarının şiddeti, zayıflatılmış kayma mukavemeti ve zemin tarafından desteklenen statik kayma yüklerinin büyüklüğünün bir fonksiyonudur (Ishihara et al 1991). Kaydırıcı kesme yükleri sıvılaşmış zeminin zayıflatılmış gücünden büyük ise, dengenin kaybedilmesi çok büyük yer deformasyonlarına ve akma türü kaymalara neden olur. Fakat kaydırıcı kesme kuvvetleri kayma mukavemetinden daha az ise sadece sınırlı kayma deformasyonları oluşmaktadır. Kaydırıcı kayma mukavemeti olmayan düz alanlarda, aşırı boşluk suyu basıncı zemini zorlayarak yüzeyde kum kaynakmaları meydana getirir. Robertson et al (1992), çevrimsel yükleme altında sıvılaşma ile ilişkili zemin göçmeleri genel olarak iki grup olarak tanımlamışlardır.

1.Akma türü deformasyonlar: Gevşek, sıkışabilen zeminlerin sıvılaşması ile çok büyük deformasyonların oluşması.

2.Sınırlı deformasyonlar: Sıvılaşan bir zeminin büyük deformasyonlarda kayma mukavemeti kazanmasıyla dengeyi kaybetmeden oluşan sınırlı deformasyonlar.

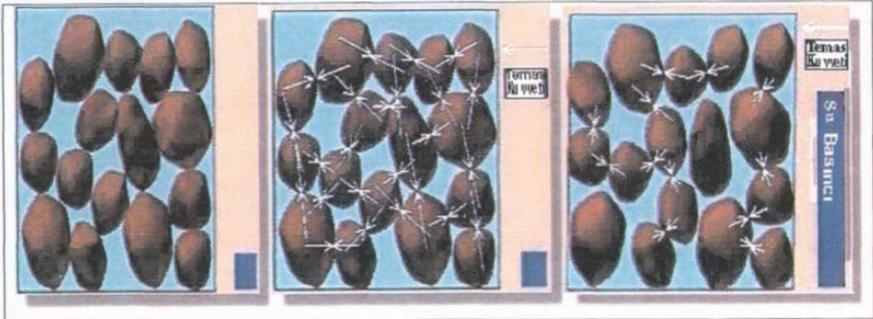
Zemin sıvılaşması ve onunla ilgili deformasyonlar genel olarak büyük depremlerle bire bir ilişkilidir. Genel anlamda sıvılaşma dinamik bir yükleme esnasında kohezyonsuz ve suya doymuş zeminlerin mukavemetini yitirmesi olarak tanımlanır. Daha güncel bir tanımlama sıvılaşmayı boşluk suyu basıncının artması ve efektif gerilmenin azalması sonucu zeminin katı durumdan akıcı bir hale dönüşmesi olarak ifade eder. Zemin sıvılaşması ile ilgili bazı sınırlı yer deformasyonlar daha doğru bir tanımlama olan çevrimsel mobilite ile tanımlanır. Çevrimsel mobilite zeminin bir sıvı gibi hareket etmesi olmayıp sınırlı deformasyonunu tanımlar.

Sıvılaşma makaslama gerilmelerine maruz kalan zeminin hacminin küçülme özelliğine bağlı olarak ortaya çıkar. Gevşek ve suya doymuş bir zemin makaslama gerilmesi ile yüklenince zemin taneleri yeniden dizilerek daha sıkı bir hal alırlar bu da boşlukların daha az yer kaplamasını ve boşluklardaki suyun dışarı atılmasını zorlayan bir durum ortaya koyar. Eğer boşluk suyunun drenajı engellenirse, boşluk suyu basıncı makaslama yükü ile orantılı olarak artar (Şekil 5.3). Bu olay gerilmenin zemin iskeletinden boşluk suyuna geçmesine yol açarak zeminin efektif gerilmesinin ve kayma mukavemetinin azalmasına neden olur. Eğer zemin kayma mukavemeti zemini etkileyen kayma gerilmesinden daha düşükse, zemin büyük deformasyonlara

Tablo 5.1. Zemin sıvılaşması sonuçlarının sınıflandırılması (Castro 1987).

Yerinde gerilme durumu	Zemin Davranışı	Tipik Arazi Gözlemi
Herhangi bir kayma gerilmesi uygulanmazken	<ul style="list-style-type: none">Hacim azalmasıBoşluk suyu basıncı artışı	<ul style="list-style-type: none">Yerde oturmaYüzey çatlaklarından kum kaynamaları ve çıkışları
Kayma gerilmesi rezidüel mukavemetten büyük ise	<ul style="list-style-type: none">Dengenin kaybedilmesiSıvılaşma	<ul style="list-style-type: none">Akma türü kaymalarBinaların gömülmesiHafif yapıların zeminde yüzmesi
Kayma gerilmesi rezidüel mukavemetten küçük ise	<ul style="list-style-type: none">Sınırlı kayma deformasyonlarıZemin kütlesi dengede kalır	<ul style="list-style-type: none">Yamaçların kaymasıBinaların oturmasıYatay yayılma

ve kayma mukavemetinin azalmasına neden olur. Eğer zemin kayma mukavemeti zemini etkileyen kayma gerilmesinden daha düşükse, zemin büyük deformasyonlara uğrayabilir ve sıvılaşmış söylenir (Martin et al 1975, Seed and Idriss 1982). Daha dar bir tanımlama ile gerçek sıvılaşma, hacimsel olarak küçülen bir zeminin drenaj olmamış ve rezidüel kayma mukavemetini aşan statik kayma gerilmeleri altında zemin akışı olarak tanımlanabilir (Castro 1987). Gevşek ve kohezyonsuz zeminlerin sıvılaşması sabit ve çevrimsel kayma yükleri altında gözlemlenebilir.



Şekil 5.3. Zemin tanelerinin sıvılaşma esnasındaki durumu.

Youd (1984) benzer alanlarda sıvılaşma meydana gelmesinin muhtemel olduğunu belirtmiştir. Bu düşünceden hareketle herhangi bir depremde sıvılaşma yaşamış bir alanın koşullarına sahip başka bir alanda aynı deprem koşulları altında sıvılaşma meydana gelebilir. Zemin sıvılaşması mühendislik yapılarının performanslarını olumsuz yönde etkilemektedir.

5.1.1. Bu incelemede sıvılaşma analizleri ve terimleri

Bu inceleme ile İzmit Havzası genç çökellerinin sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir. Sıvılaşma potansiyeli belirlenmesinde Seed and Idriss (1971) yaklaşımı, MEÇK yöntemi ve YSA yöntemi kullanılmıştır. MEÇK (Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri) yöntemi ince taneli zeminlerin sıvılaşma yatkınlığının belirlenmesi için kullanılırken, Seed and Idriss (1971) ve YSA yöntemlerinde iri taneli zeminlerin sıvılaşma riskinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Sıvılaşma ile ilgili ve bu incelemede kullanılan terimlerin açıklamaları aşağıda yapılmaktadır.

Sıvılaşma potansiyeli değerlendirmesinde iki faktör göz önüne alınır (Abdel-Rahman et al 1995);

- a) **Jeoteknik faktör:** Sıvılaşma özelliği taşıyan zemin tabakalarının özelliklerine bağlı olan sıvılaşma yatkınlığı (liquefaction susceptibility),
- b) **Sismolojik faktör:** Sıvılaşma yatkınlığı taşıyan bir zemin tabakasının sıvılaşabilirliğini kontrol eden kuvvetli yer hareketidir (liquefaction opportunity).

Zeminin sıvılaşma yatkınlığı (liquefaction susceptibility) zemin özellikleri ve zeminin bulunduğu ortam koşulları ile belirlenir. Zeminlerin sıvılaşma yatkınlıklarını değerlendiren pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birisi MEÇK yöntemidir. İnce taneli zeminlerin aşağıdaki kriterleri sağladığında genel olarak sıvılaşmaya yatkın oldukları söylenir.

- Likit limitleri (LL) ≤ 33.5
- Su içeriği (w_n) $\leq 0.87 \times LL$
- Kil Oranı ($<0.005 \text{ mm}$) $\leq \% 20$
- Plastisite İndisi (PI) ≤ 13

Bu incelemede ince taneli zeminlerin sıvılaşma yatkınlıkları MEÇK yöntemi ile araştırılmıştır.

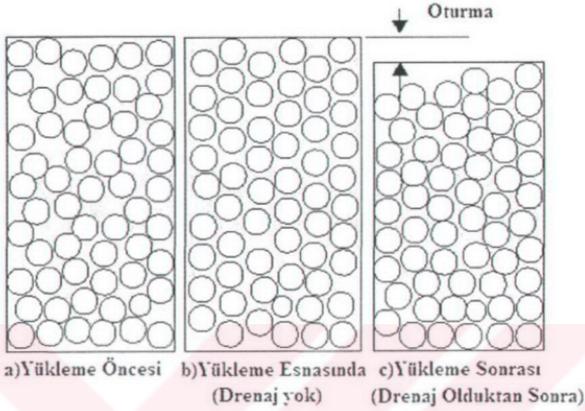
Sıvılaşmaya yatkın zeminlere etkiyen bir deprem yükü söz konusu olunca sıvılaşma riski veya tehlikesi söz konusu olmaktadır. Bu incelemede Seed and Idriss (1971) yaklaşımını temel alan LiquifyPro (CivilTech 2002) bilgisayar programı ile kum ve çakıllı kum gibi iri taneli zeminlerin sıvılaşma riski taşıyıp taşımadıkları analiz edilmiştir. Bu sıvılaşma analizlerinde zemin ortamın sıvılaşmaya karşı göstereceği mukavemet SPT N_{30} değerleri ile belirlenmiştir. Sıvılaşma riski veya tehlikesi ile tanımlanan, sıvılaşma yatkınlığı taşıyan zeminlerin deprem etkisiyle sıvılaşabilirliği (liquefaction opportunity). Sıvılaşma potansiyeli hem sıvılaşma yatkınlığını hem de sıvılaşma riskini kapsamaktadır.

Jeoteknik ve sismolojik faktör verilerini içeren eğitim seti ile eğitilen YSA, İzmit Havzası zeminleri için yine aynı faktör verileri ile hazırlanan test setini zemin sıvılaşması için test etmiştir. Bu yaklaşım ile havzadaki zeminlerin sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir.

5.2 Oturma Deformasyonu

Oturma, zeminlerin statik ve dinamik yükler altında düşey yönde sıkışarak ilksel konumlarından daha düşük seviyelere deforme olmaları olarak tanımlanabilir. Kumlarda oturma yaygın olarak görülür. Killer yapısı itibarı ile konsolide olma özelliğine sahiptirler.

Deprem esnasında iri taneli zeminlerde sarsıntıdan dolayı bir sıkışma meydana gelmektedir. Yeraltında bu sıkışma olayı yüzeyde oturma olarak kendini göstermektedir (Şekil 5.4). Depremle oluşan oturmalar sığ temeller üzerinde olan yapılar, altyapılara, kazık destekli yapılara ve su, elektrik, telefon, doğalgaz gibi yaşam hatlarına zarar vermektedir. Ortamda suyun olup olmaması zeminin deprem esnasındaki oturma karakteristiğini belirler.



Şekil 5.4. Deprem yükü ile meydana gelen oturma.

Kuru kumlar çok çabuk otururlar; kuru kumdan oluşan bir zeminin oturma işlemi deprem sonuna kadar tamamlanır. Suya doymuş kumlu bir zeminin oturması daha fazla zaman alır. Oturma ancak deprem esnasında oluşan boşluk suyu basıncının ortadan kalkmasıyla oluşur. Bu tür oturmalar için gereken süre zeminin geçirimsizliğine (permeabilite), sıkışma oranına ve suyun drene olması için aldığı yolun uzunluğuna bağlı olarak birkaç dakika ile birkaç gün olabilmektedir. Deprem ile oluşan oturmaların hesaplanmasında güçlükler çıkmaktadır. Statik oturma hesaplarında hatalar % 25–50 arasında iken, daha karmaşık bir hal alan sismik yükleme esnasında bu oran artabilmektedir. Buna rağmen oturma deformasyonu hesabı yapan bazı yöntemler ile hesaplanan oturmaların arazide gözlemlenen oturmalar ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür (Kramer 1996).

5.2.1. Kuru kumlarda meydana gelen oturmalar

Deprem yükü altındaki kuru kumların sıkışması, kumun yoğunluğuna, çevrimsel kayma deformasyonunun büyüklüğüne ve deprem esnasında kayma deformasyonunun çevrim sayısına bağlıdır (Silver and Seed 1971). Oturmalar çok

yönlü salınım düzeltmeleri içeren detaylı yer tepki analizleri (Seed and Silver 1972) veya daha basitleştirilmiş yöntemler (Tokimatsu and Seed 1987) kullanılarak hesaplanabilirler.

Basitleştirilmiş yöntemde, efektif çevrimsel makaslama yamulması (γ_{cyc}), sıvılaşma başlangıcı için ön görülen çevrimsel deformasyonların hesaplanmasına (Bkz. Denklem 7.1) benzer olarak hesaplanır (Denklem 5.4, Kramer 1996).

$$\gamma_{cyc} = 0,65(a_{max}/g) \cdot [(\sigma_v \cdot r_d)/(G(\gamma_{cyc}))] \quad (5.4)$$

Zemin sıvılaşmasının etkileri, mühendislik yapıları için çok önemli olmaktadır. Sıvılaşma esnasında ortaya çıkan aşırı boşluk suyu basıncının normal hale dönmesi ile zemin içinde bir oturma meydana gelir. Oturmanın miktarı sıvılaşmanın olduğu zeminin sıklığına (yoğunluğuna) ve deprem tarafından zemin içinde oluşturulan çevrimsel deformasyona bağlıdır. Tokimatsu and Seed (1987) sıvılaşmadan dolayı zeminlerde meydana gelen oturmaları hesaplayan bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem zemin tabakalarının yoğunluğu ve tabakalara etkiyen sarsılma şiddetini dikkate alır. Bölüm 7.2.2.2'de depremde kuru kumlarda meydana gelen oturmaların hesaplanması açıklanmaktadır.

5.2.2. Suya doymun kumlarda meydana gelen oturmalar

Deprem sonrası suya doymun kumların sıkılaşması kumun relatif sıklığı (yoğunluğu), kumda oluşan en büyük makaslama deformasyonu ve deprem tarafından oluşturulan aşırı boşluk suyu basıncı tarafından etkilenir. Laboratuvar deneyleri göstermiştir ki sıvılaşmanın başlangıcından sonra hacimsel deformasyon, rölatif sıklık ve maksimum makaslama deformasyonu ile değişmektedir. Tokimatsu and Seed (1987) $(N_1)_{60}$ ve relatif sıklık parametreleri arasında bir korelasyon kurmuşlardır. Ayrıca, Seed et al (1984) sıvılaşan zeminin makaslama deformasyon potansiyeli kestirimini $(N_1)_{60}$ ve CSR parametrelerini kullanarak bir grafik üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Bu grafik $M=7.5$ olan bir depremde sıvılaşma sonrası hacimsel deformasyonu (%), $(N_1)_{60}$ ve CSR değerlerinden doğrudan hesaplanmasını sağlar (Kramer 1996). Bölüm 7' de LiquefyPro (CivilTech 2002) tarafından hesaplanan

suya doygun zemin oturmaları anlatılmaktadır. LiquefyPro (CivilTech 2002) suya doygun zemin oturmaları iki farklı yöntem olan Tokimatsu and Seed (1987) ve Ishihara and Yosemine (1990) ile yapar. Bu iki yöntemden biri seçilerek sıvılaşmada suya doygun zeminlerdeki oturmalar hesaplanır.

5.3. Kayma Deformasyonu

Doğal yamaçlardan veya insan yapımı şevlerden kaymalar doğada sık rastlanılan bir olaydır. Doğal halde yamaçlar dengede olabildikleri gibi herhangi bir dış etki ile dengesini kaybedebilirler. Bu dış etkilerden biri olan deprem meydana geldiğinde, kayma sınırına yakın olan bir yamaç malzemesi depremde oluşan yer sarsıntısı etkisi ile kayma hareketine geçebilir. Kayan malzemenin büyüklüğüne göre meydana gelen hasarlar çok az yıkıcı veya çok yıkıcı arasında değişmektedir.

Depremlerde görülen zemin dinamik davranışlardan birisi kayma deformasyonu şeklinde olmaktadır. Tepelerin fazlaca bulunduğu bir topoğrafyada ve eğimlerin yüksek olduğu kesimlerde depremler heyelanlara neden olabilirler. Heyelanlar genellikle deprem merkezlerinden 30–50 km'lik bir zon içinde meydana gelirler ama bazı büyük depremlerde bu zonun 80 km'ye kadar çıktığı görülmüştür. Bu tür deformasyonlarla ilgili pek çok örnek vaka bulunmaktadır. Bunlardan biri, 16 Aralık 1920 Çin Halk Cumhuriyeti'nin Kansu Eyaletinde meydana gelen $M_s=8.6$ büyüklüğündeki depremde lős birimlerinin bulunduğu yamaçlarda çok büyük heyelanların oluştuğu kayıtlara geçilmiştir. Bu depremde çok büyük miktarlarda yüzey malzemesi yaklaşık 2 km boyunca hareket etmiştir. Hareket eden bazı malzeme kütleleri, yolları, ağaçları ve evleri de beraberinde taşımıştır (Stokes and Judson 1968).

Depremlerde meydana gelmiş heyelanlar çok eski tarihlere dayanmakta ve çok büyük hasarlar meydana getirmişlerdir. Bazı depremlerde, heyelanlar depremin yarattığı diğer etkilerin hasar oranlarına yakın veya daha fazla hasar yaratmışlardır. Örneğin, 1964 Alaska Depreminde, depremin oluşturduğu heyelanların yarattığı hasar toplam hasarın % 56' sını oluşturmuştur (Youd 1978). Kobayashi (1981) 1964 ve 1980 yılları arasında Japonya' da manyetüdü 6.9'dan büyük olan depremlerde

meydana gelen ölümlerin yarısından fazlasını heyelanlar meydana getirdiğini belirtmiştir. Çin Halk Cumhuriyeti Ningxia Eyaletinde 1920 Haiyuan Depremi ($M_s=8,5$) pek çok büyük heyelanlar meydana getirerek 100.000' den fazla insanın hayatını kaybetmesine yol açmıştır (Close and McCormick 1922). Bu nedenle sismik yamaç dengesinin analiz edilmesi mühendislik jeolojisi ve jeoteknik mühendisliğinin çok önemli bir konusu olmaktadır.

5.4. Sıvılaşma Potansiyeli Taşıyan Zeminlerin İyileştirilmesi

İzmit Havzası genç çökellerinin deprem esnasındaki muhtemel davranışlarından biri olan sıvılaşma yatkınlığı ve tehlikesi ortaya konulduğu için sıvılaşma potansiyeli bulunan alanlara uygulanacak iyileştirme yöntemlerinden bahsedilmektedir. Zeminlerin sıvılaşma yatkınlığını ve tehlikesini azaltmak için, bazı zemin iyileştirme teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerin ana amacı deprem esnasında zemine uygulanan çevrimsel gerilmeler ile oluşan boşluk suyu basıncının çok büyük artışlara ulaşmasını engellemektir. Bu amaca ulaşmak için zeminin sıkılaştırılması ve drenaj kapasitesinin artırılması yöntemleri uygulanmaktadır. Zemin sıvılaşma yatkınlığı ve riskine karşı zemin iyileştirilmesinde kullanılan yöntemler;

- Vibroflatasyon
- Dinamik kompaksiyon
- Taş kolonlar
- Kompaksiyon kazıkları
- Kompaksiyon çimentolama
- Drenaj teknikleri olarak sıralanabilir.

Bu yöntemler tekil olarak uygulandıkları gibi birkaç yöntemde bir arada uygulanabilir. Bu yöntemler kullanılmadan önce sıvılaşmaya yatkın zeminler belirlenmeli, laboratuvar ortamında detaylı deneyler yapılarak iyileştirme öncesi zeminin durumu ortaya konulmalıdır. Ortama zemin iyileştirilmesi yöntemleri uygulandıktan sonrada yerinde deneyler yapılarak iyileştirmenin ne denli başarılı olduğu tespit edilmelidir.

Sıvılaşma potansiyeli taşıyan zeminler üzerine inşa edilen temeller çok olumsuz sonuçlar ile karşılaşabilmektedir. Böyle zeminler üzerine inşa edilecek temellerin sağlam bir zemine oturtulması için zemin iyileştirme teknikleri geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılan iki teknikten birisi kum kompaksiyon kazıkları ve taş kolonları olmaktadır. Bu teknikler yatay ve eğimli yüzeylerde kayma dayanımını arttırmakta, boşluk suyu basıncının, ortamdaki suyun drene edilmesiyle, azalmasını sağlamakta ve düşey olarak zemini desteklemektedir.

Sıvılaşma ile ilişkili zemin davranışları zemin yüzeyinde veya zeminin belli bir derinliğinde bulunan mühendislik yapılarına hasar verirler. Bu duruma en iyi örnek 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nin Adapazarı'nda zeminin sıvılaşması ile yarattığı hasarlardır. Bu bölgede pek çok bina zeminin dayanım gücünü kaybetmesinden dolayı zemine gömülmüş, farklı oturmalarından dolayı eğilmiş, bazı binalar ise temelleri ile zeminden ayrılıp komşu binaya yaslanmış veya dönmüş bir şekilde hasar görmüştür. Adapazarı'nda meydana gelen zemin ve yapı hasarları hakkında pek çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda sıvılaşan kesimlerin suya doygun, SPT vuruş sayıları düşük, sığ derinlikte bulunan ince kum ve siltli kumdan oluşan zeminlerin olduğu belirtilmiştir.

5.5. Güncel Depremlerde Görülen Zemin Davranışları

Son yıllarda meydana gelen büyük ve yıkıcı depremler yapı tahribatı yanında zemin etkisiyle de hasarlar meydana getirmiştir. Bu depremler, zeminlerin büyük depremlerde nasıl davranacağını gösteren önemli veri kaynaklarıdır. 1999 yılında biri Türkiye'de, diğeri Tayvan'da meydana gelen iki büyük depremde zemin etkisiyle oluşan yıkımlar oldukça yüksek olmuştur. Bu depremlerde çeşitli alanlarda görülen sıvılaşma ve yamaç kaymaları çok büyük hasarlar meydana getirmiştir. Bu depremler güncel oldukları için zeminin gösterdiği davranışlar ve onun yarattığı hasarlar detaylı bir şekilde kaydedilmiş ve bu davranışları incelemek için pek çok araştırma yapılmıştır.

5.5.1. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi zemin davranışları

17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde zemin göçmeleri ve zemin deformasyonların yaygın ve etkili olduğu bir depremdir. Deprem yüzeyde yaratmış olduğu kırık yanında zemin sıvılaşması, yanal yayılma, tektonik deformasyonlar sonucu oluşan kıyı çökmeleri, Marmara Denizi ve Sapanca Gölü kıyıları boyunca ve iç kesimlerde meydana gelen heyelanlar gibi yüzeyde deformasyonlar yaratmıştır. Sıvılaşma en yaygın ve etkili Adapazarı'nda olmuştur. Burada sıvılaşma ile binalar farklı oturma, yana yatma, zemine gömülme ve devrilme gibi hasarlar görmüşlerdir. Deprem kuvvetli etkisi pek çok binanın yıkılmasına veya az, orta, ağır hasar görmesine yol açmıştır. Bunun yanında yaşam hatları ve altyapı elemanlarını da etkilemiştir. Ayrıca Marmara Denizi kıyısında bulunan limanlarda göçmeler ve yanal yayılmalar oluşturmuştur.

Gölcük'ten D'suna doğru kıyı birkaç km boyunca oturmuş bunun sonucunda deniz kıyısından ilerleyerek daha iç kesimlere ulaşarak binalara ve insanlara zarar vermiştir. İzmit Körfezi K, D ve G kıyıları boyunca ufak çaplı yanal yayılmalar yanında etkili yamaç kaymaları da meydana gelmiştir. En büyük hacimli kıyı göçmesi Değirmendere'de daha küçük hacimli kıyı göçmeleri Değirmendere'nin B'sında ve Halidere'nin B'sında birkaç km ötesinde meydana gelmiştir. Kıyı göçmelerinin yanında zemin sıvılaşması ve düşük-orta şiddetli yanal yayılmalar İzmit Körfezi'nin kıyıları boyunca farklı alanlarda oluşmuştur. Bunlardan en önemlileri donanma ve sanayi limanlarının olduğu alanlardır (EERI 2000).

Depremde meydana gelen en etkili doğa olayı sıvılaşma olmuştur. Sıvılaşma Adapazarı ve Yalova arasında 120 km'lik bir hat boyunca yer yer oluşarak binalara ve altyapıya hasar vermiştir. Bu depremde en yaygın ve etkili görüldüğü alanlar Adapazarı ve civarı olmuştur. Pek çok bina oturmuş, yan yatmış, kısmen veya tamamen devrilmiştir. Sıvılaşmadan dolayı gözlemlenen en büyük oturma 110 cm olarak belirtilmiştir (JSCE 2000). Sıvılaşma Sapanca Gölü kıyılarında da etkisini göstermiştir. Sıvılaşmanın yüzeydeki izlerinden kum öbekleri ve yanal yayılma Sakarya Nehri yamaçlarında, Adapazarı merkezi, Akyazı, Sapanca Gölü G kıyısında, İzmit Körfezinin G kıyısında farklı alanlarda ve Yalova'da görülmüştür.

Depremi takiben İ.T.Ü. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği öğretim üyelerinin yerinde yaptığı incelemelerde özellikle Adapazarı, Gölcük ve Yalova'da meydana gelen hasarların başlıca sebebinin zemin problemlerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (İ.T.Ü. 1999). Adapazarı örneğinde olduğu gibi, zemin koşulları elverişsiz ve yeraltı su seviyesi çok yüksek olduğu halde ağır yapıların bile tekil veya sürekli temellere taşındığı yerlerde ise binaların farklı oturma yaptığı, devrildiği, yana yattığı veya zemin katların bodrum kata dönüştüğü tespit edilmiştir. İlk defa bu depremde elverişsiz zemin koşulları, deprem hasarının büyük olması üzerinde bu derece etkili olmuştur. Kavaklı ve Gölcük'te, deniz kıyısı ile karayolu arasındaki düzlüklerde ortaya çıkan heyelanlar ve arazi çökmeleri, bölgenin morfolojisini tümüyle değiştirmiş ve bu bölgelerde denize yakın olan alanlar ve kıyıya yakın yapılar su altında kalmıştır (İ.T.Ü. 1999).

5.5.2. 1999 Chi-Chi Depremi zemin davranışları

Dünyanın çeşitli bölgelerinde aktif faylarla sınırlanmış veya aktif faylara yakın sedimanter havzalar sık sık büyük depremlerle sallanmakta ve sonuçta da en acı kayıplardan biri olan insan yaşamı ve yapı hasarlarına yol açmaktadır. Bu duruma en uygun örneklerden birisi 1999 yılında Tayvan'da meydana gelen Chi-Chi Depremi'dir ($M_w = 7.5$). Tayvan Avrasya levhasının kıtasal kenarı ile Filipin Denizi levhasının Luzon Yayı ile oblik olarak çarpışmasıyla oluşmuş 5 milyon yıllık genç bir dağ kuşağıdır. 1999 Chi-Chi Depremi son yüzyıl içinde Tayvan'ı etkilemiş en büyük deprem olup Chelungpu Fayının 80 km kırılması ile meydana gelmiştir. Bu depremde kırılan faya yakın iki havzada geniş çapta oluşan sıvılaşmalar can ve mal kaybına yol açmıştır. Sıvılaşmanın meydana gelmesi böyle büyük bir deprem ve etkilenen alanın jeolojisi göz önüne alındığında pek sürpriz olmamıştır. Bu deprem sırasında kaydedilen pek çok veri sismik yük altında bulunan sedimanter havzalarda boşluk suyu mekanizmasının ve sıvılaşmanın araştırılmasında çok yararlı olmuştur.

60 adet kuvvetli yer hareketi aleti ile kurulmuş ağ ile Chi-Chi Depremi esnasında oldukça fazla yakın alan yer hareketi verisi kaydedilmiştir. Havza içinde düzgün bir şekilde yerleştirilmiş 70 hidrolojik istasyonda 188 adet gözlem kuyusu açılmış ve bu kuyularda su seviyeleri her saat başı 0.1 cm hata mertebesinde sayısal olarak kaydedilmiştir. Bu kayıtlar Chi-Chi Depremi'nde bir havzada sismik etkilerle yeraltı

suyunun seviyesinin değişimini geniş bir alana yayılı şekilde ortaya koymuştur (Wang et al 2003).

Büyük bir deprem odağına yakınlığı, hidrolojik ve kuvvetli yer hareketi kayıtlarının yoğun dağılımlı, aynı havza içinde yüksek kalitede sismik, boşluk suyu basıncı ve sondaj logu verilerinin bulunması sismik yüklemenin boşluk suyu basıncını nasıl etkileyerek sıvılaşmaya neden olduğunu anlamak için çok nadir ve değerli bir olanak sağlamıştır. Eldeki tüm verilerin sentezi araziye dayalı havza bazında gelişen sismik-zemin ilişkilerini ortaya koymuştur.

Kum akması, çamur volkanı, farklı oturmalar şekilde sıvılaşma Chi-Chi Depremi sırasında ve hemen sonrasında iki Holosen sedimater havzada (Choshui ve Taichung) çok yaygın olarak görölmüştür. Havzaların yoğun bir nüfusa sahip olması, sıvılaşan yerlerin gösterilmesinde halkın yardımı ile sıvılaşan alanlar sağlıklı bir şekilde belirlenmiştir. Sıvılaşan alanlar oldukça düzensiz bir dağılıma sahiptir. Choshui Havzası'nın K'inde Chelungpu Fayının kırıldığı yerden yaklaşık 30 km mesafede 75 sıvılaşmış alan meydana gelmiştir. Daha uzak mesafede sıvılaşan 3 alan kıyı boyunca dolgu yapılmış alanlardır (Wang et al 2003).

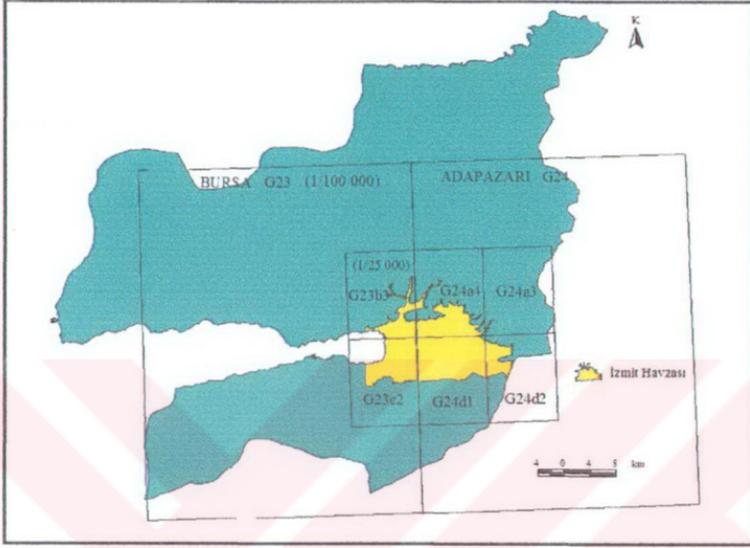
BÖLÜM 6. VERİ KAYNAKLARI

Veri sayısal değerler yanında sayısal olmayan bilgiler topluluğu olarak tanımlanabilir. Araştırmalar sonucunda elde edilen bilgiler ve sayısal değerler belli bir formata konularak yapılacak analizlerde kullanılırlar. Sayısal olmayan veriler bir konu, olay, ortam ve durum için tanımlama bilgisi sunarken sayısal veriler ise herhangi bir hesap, analiz veya işlem için sayısal değerler sağlamaktadır. İnceleme alanı veri kaynakları bu çalışmada gerekli olan sayısal veya sayısal olmayan verileri sağlamışlardır. Bu veri kaynakları jeolojik veriler, jeomorfolojik veriler, mühendislik jeolojisi verileri, hidrojeolojik veriler ve sismolojik veriler olmak üzere beş kısım altında toplanmıştır.

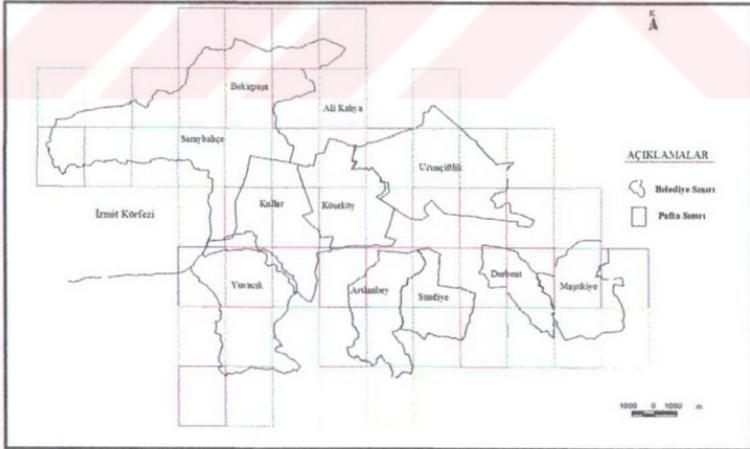
6.1. Jeolojik Veriler

Jeolojik olarak havza ortamında bulunan malzemelerin yaşları, kökenleri ve birbirleriyle olan ilişkileri önemlidir. Sıvılaşma potansiyeli taşıyan zeminler jeolojik olarak bazı sınırlı ortamlarda oluşurlar. Çökelme ortamı, hidrojeolojik konum ve çökelme yaşı sıvılaşma potansiyeline katkıda bulunan unsurlardır (Youd and Hoose 1977). Jeolojik veriler daha önce yapılmış jeolojik haritalardan, raporlardan, makalelerden ve arazi çalışmalarından elde edilmiştir. Jeolojik haritalar kâğıt harita formatında buldukları gibi sayısal ortamda bulunmakta veya sayısal ortam formatına çevrilebilme olanağına sahiptirler. Bu çalışmada jeolojik haritalar 1/100.000, 1/25.000 ve 1/5.000 ölçek bazında bölgesel ve alansal veriler sunmaktadır. 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli jeolojik haritalar başlıca M.T.A ve çeşitli araştırmacılar tarafından üretilmiştir. 1/5.000 ölçekli jeolojik haritalar ise belediyelerin yerleşime uygunluk çalışmaları kapsamında arazi çalışmalarıyla üretilmiştir.

- 1/100.000 ve 1/25.000 jeolojik harita paftaları (Şekil 6.1)
- 1/5.000 jeolojik harita paftaları (Şekil 6.2)



Şekil 6.1. İnceleme alanını kapsayan 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli paftalar.



Şekil 6.2. İzmit Havzası ve civarı 1/5.000 ölçekli paftalar.

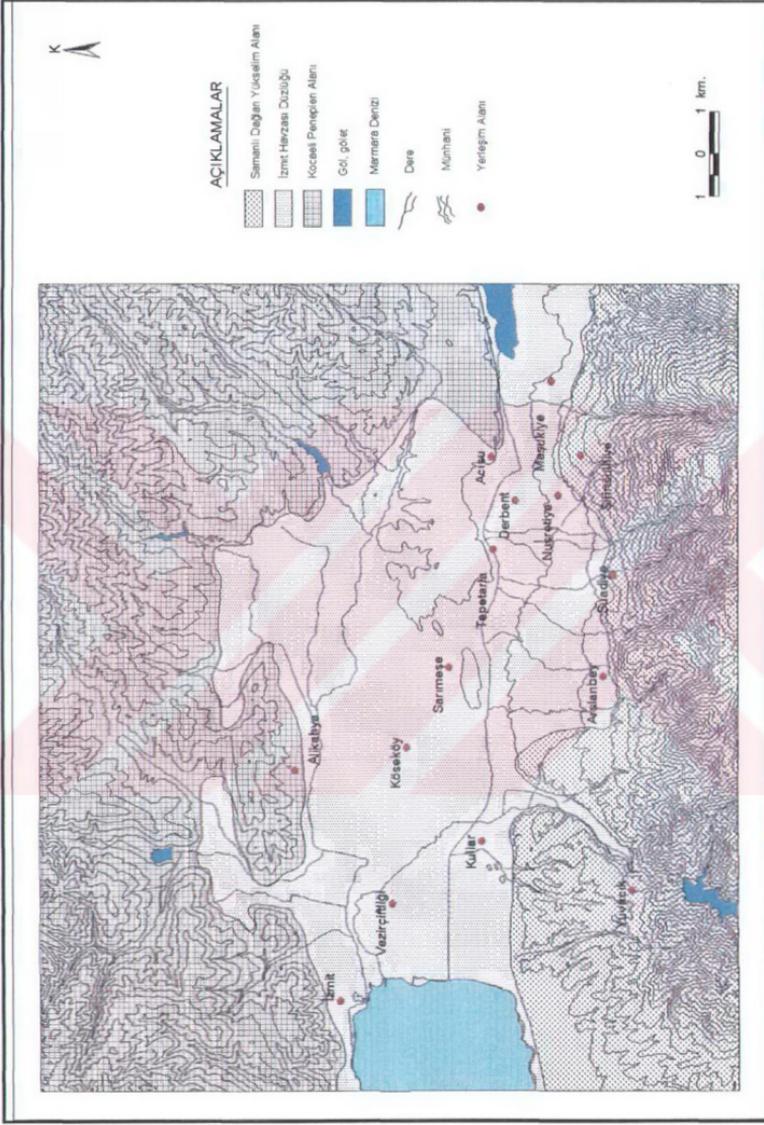
6.2. Jeomorfolojik Veriler

Havza ve civarının jeomorfolojik özellikleri bu kısımda havza gelişimi ve havza içi çökeltiler hakkında bilgiler Bölüm 2'de açıklanmaktadır.

İnceleme alanında birbirinden farklı topoğrafik özellikler gösteren üç morfolojik yapı bulunmaktadır (Şekil 6.3). Bunlar K'den G'ye doğru Kocaeli Pennepleni, İzmit Havzası Düzlüğü, Samanlı Dağları Yükselimi olarak tanımlanır. Kuzey yükselimi milyonlarca yıllık aşınma sürecinde penneplenleşerek yayvan bir topografya'ya sahip olmuştur. Bu alana Kocaeli Pennepleni adı verilmektedir. İzmit Havzası iki kenarda bulunan yükseltiler arasında jeomorfolojik olarak düz bir alan konumundadır. Havzanın çevresinde jeomorfolojik yapılardan K'de Kocaeli Yarımadası G'de ise Armutlu Yarımadası yükselimleri bulunmaktadır. Kuzeyde Kocaeli Yarımadası yükseklikleri 35–457 m arasında olup G kısmındaki Armutlu Yarımadası'ndan daha alçak bir topografyaya sahiptir. Armutlu Yarımadası yükseklikleri ise 50–1310 m arasında değişmektedir.

İzmit Havzası, B'da Marmara Denizi D'da Sapanca Gölü, K'de Kocaeli Yarımadası ve G'de Armutlu Yarımadası ile sınırlı bir alanı temsil eder. Havza orta kısımda bir çöküntü ve iki kenarında yükselimler ile jeomorfolojik olarak horst-graben bir görünüm sunar. Havzanın genişliği K-G yönünde yaklaşık olarak 10 km, D-B yönünde ise uzunluğu 20 km'dir. Doğuya Sapanca Gölü'ne doğru daralan havza bu kesimde ortalama 6 km genişliğe sahiptir. Eğim değerleri havza içi ovalık kesimde % 0–5 arasında havza kenarlarında yükselimlerin başladığı kısımlarda % 5–20 arasında değişmektedir. Yükselimlerin olduğu kesimlerde eğimler % 20'den başlayıp % 40' tan büyük değerlere ulaşmaktadır.

Hoşgören (1995) İzmit Körfezi Havzası'nın jeomorfolojisini Kuzey, Güney ve Doğu Çevreveler ile açıklamaktadır. Ayrıca, havzanın morfolojik gelişimi anlatmaktadır.



Şekil 6.3. İnceleme alanı ve civarı jeomorfoloji haritası.

İzmit Havzası ve civarı K'inde en yüksek kısımlar KB'da 457 m ve KD'da 390 m olarak göze çarpar bu kesimde ortalama yükseklikler 100–300 m'ler arasında değişmektedir. Havzada yükseklikler D-B yönünde deniz kıyısından sıfır kotu ile başlayıp Sapanca Gölü civarında 35 m kotuna ulaşır. Yükselimlerin olduğu K ve G kesimlerde 35–50 m kotları başlamaktadır. Güneyde yükselimler 50–1310 arasında değişmektedir. Bu kesimde ortalama yükselimler 200–800 m arasında değişmektedir. En yüksek kısım GD'da 1310 m olup yükseklik değerleri GD' dan GB'ya azalmaktadır. GB kısmında en yüksek tepe 675 m kotuna sahiptir. Şekil 6.4 inceleme alanı ve civarı 3D (DEM) görüntüsünü sunmaktadır. İzmit Havzası ve civarı 1/25.000' lik sayısal topografik haritaların bir araya getirilerek bu alan için DEM oluşturulmuştur. DEM sayısal haritaların CBS ortamında ArcView 3.1 programının 3D Analyst uzantısı kullanılarak üretilmiştir.

Jeomorfolojik olarak G kesim K'e göre yüksek ve sarp bir rölyefe, K kesim ise daha yavaş bir rölyefe sahiptir. Güney ve K yükselimleri içinde dendritik drenaj ağları gelişmiştir (Bkz. Şekil 6.5). Her iki kesimde yükselimleri aşındıran dereler yanında sezonluk dereler mevcuttur.

İnceleme alanı içerisinde sulama ve içme suyu amaçlı göletlerde bulunmaktadır. Kuzeyde Çayırköy ve DSİ ve Ketenci göletleri G'de ise Yuvacık barajı bulunmaktadır. Doğal göl olan Sapanca Gölü Batı kısmı inceleme alanının D sınırını oluşturmaktadır. İnceleme alanın B sınırını Marmara Denizi sahili olan İzmit Körfezi oluşturmaktadır.

6.3. Mühendislik Jeolojisi Verileri

Mühendislik jeolojisi amaçlı kullanılmak üzere pek çok veri bulunmaktadır. Arazi deneylerinden SPT ile elde edilen N_{30} değerleri zemin ortamları tanımak için açılan araştırma sondajlarından elde edilen önemli verilerdendir. Bu çalışmada SPT verileri kullanılarak standart sıvılaştırma analizleri gerçekleştirilmiştir. SPT numune alıcı ile zemini tanımlayıcı numune alınması ve numune alıcısına zeminin gösterdiği direncinin ölçülmesi için yapılan bir test yöntemidir (ASTM 1999). Bu test yöntemi zemini tanımlama amacı ve uygun laboratuvar testlerinin uygulanması için gerekli zemin numunelerinin elde edilmesini sağlar. Alınan numune büyük kayma deformasyonları (shear strain) içeren örselenmiş numunedir. Bu yöntem mühendislik jeolojisi araştırma projelerinde yaygın bir şekilde kullanılır.

İnceleme alanı içinde araştırma sondajlarında yapılan SPT deneylerinden elde edilen örselenmiş-örselenmemiş numuneler laboratuvar deneylerine tabi tutulmuştur. Bu deneyler sonucunda mühendislik parametrelerinden w_n , e_n , γ_n , γ_d , Gs, S, LL, PL, PI, elek analizi sonuçları (+4, -200), konsolidasyon deney sonuçları, serbest basınç deneyi, üç eksenli basınç ve kesme kutusu deney sonuçları elde edilmiştir. Üç eksenli ve kesme kutusu deneylerinden zeminlerin c ve ϕ parametreleri belirlenir. Sondaj kuyularına ait tanımlama bilgileri, litolojik veriler, arazi ve laboratuvar deney sonuçları, açıklamalar bir veritabanına girilmiştir.

Tablo 6.1 İzmit Havzası içinde kalan belediyelerin yaptırdığı jeolojik-jeofizik-jeoteknik amaçlı zemin araştırmaları raporlarından elde edilen sığ derinlikli araştırma sondajlarının sayısını ve derinliklerini belirtmektedir. Tablo 6.2 ise D.S.İ.'nin Kocaeli İl sınırları içinde muhtelif alanlarda açmış olduğu derin su sondajı kuyularının alansal yerlerini, sayılarını ve derinliklerini belirtmektedir.

Tablo 6.1. Zemin araştırma amaçlı sığ kuyular.

Sondaj Alanı	Toplam Sondaj Adedi	Sondaj Derinliği (m.)		
		Min.	Maks.	Ort.
Alikahya	34	5	17.64	12.2
Bekirpaşa	77	9	31.45	16.9
Derbent	42	6.01	22.95	12.58
Saraybahçe	92	5.55	40.95	16.35
Sarımeşe	80	10	15	14.37
Köseköy	59	15	30	17.29
Kullar	18	9	18	14.92
Uzunçiftlik	14	12	15	12.8

Tablo 6.2. Derin D.S.İ. su kuyuları.

Sondaj Alanı	Toplam Sondaj Adedi	Sondaj Derinliği (m.)		
		Min.	Maks.	Ort.
Derince	4	52	80	72.25
Gölcük	6	50.20	100	75.56
İzmit	16	48	150	83.6
Köseköy	20	52	252	79.91
Kullar	5	25	140	74.27
Maşukiye	10	20	88	67.37

6.4. Hidrojeolojik Veriler

Hidrojeolojik veriler havzada yeraltı suyunun yatay ve düşey değişimlerini ortaya koymaktadır. Ortamda yeraltı suyunun bulunması zemin türünede bağlı olarak dinamik yükler karşısındaki davranışını doğrudan etkiler. Suya doymun kum, siltli kum seviyeleri literatür de tanımlandığı gibi deprem esnasında, depremin oluşturduğu çevrimsel yük nedeniyle sıvılaşma tehlikesi taşırlar. Bu nedenle havza içinde yer alan su seviyesinin değişimi, konumu, beslenmesi verilerinin detaylı olarak araştırılması gereklidir.

Yüzeydeki yağış suları yerçekimi ile yeriçine doğru hareket ederler. Belli bir derinlikte zemin veya kaya ortam su ile doymun hale gelir. Bu doymun yüzeyin en üst seviyesi su tablası olarak ve bu seviyenin altıda yeraltı suyu olarak ifade edilir.

Yeraltı suyu zemin veya kaya ortam içinden, doygun olan kısımdan doygun olmayan kısma doğru akışa geçerek yeryüzünde kaynak veya bir akarsu, göl veya denize sızma şeklinde boşalım gösterebilir.

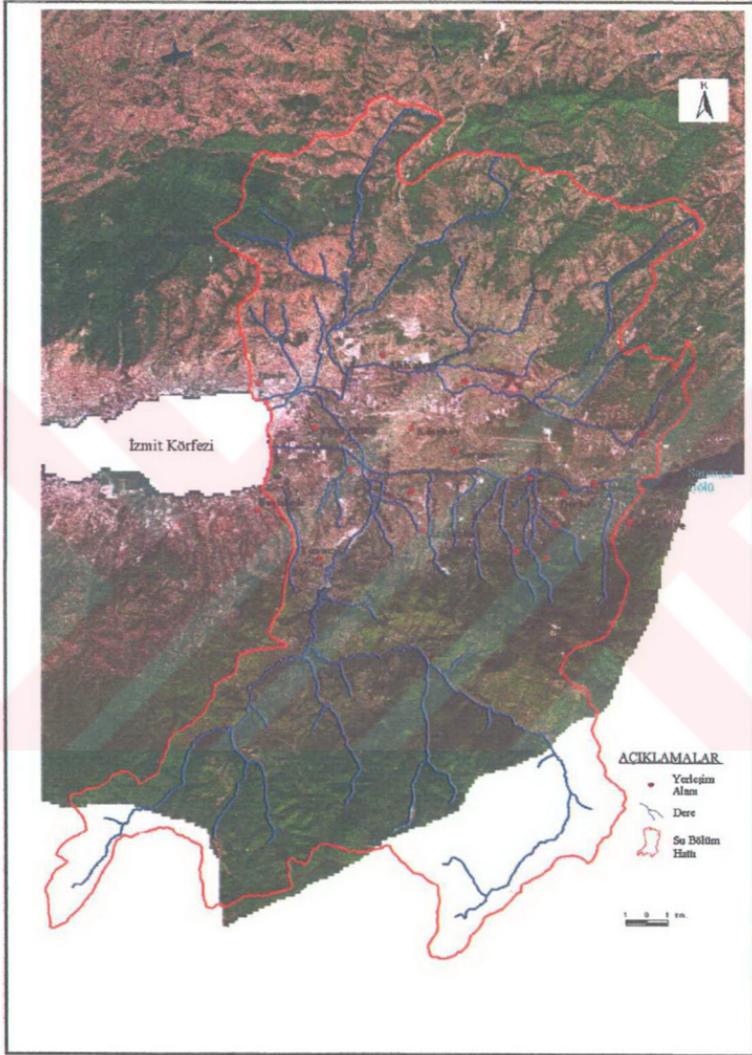
İnceleme alanı için akarsu ağı ve su bölüm hattı sayısal ortamda oluşturulmuştur. Bu işlem CBS ortamında UTM koordinatlı IRS Multispektral uydu görüntüsü, 1/25.000'lik sayısal ve kâğıt baskı topografik haritalar yardımıyla çizilmiştir. Elde edilen akarsu ağı ve su bölüm hattı ile havzanın beslenme durumu ve alanı ortaya konulmuştur. Şekil 6.5 İzmit Havzası ve civarı için oluşturulan akarsu ağı ve su bölüm hattını göstermektedir. İzmit Havzasının toplam yüzeysuyu beslenme alanı 673.80 km²'dir. Kuzey ve güney yükselimlerden orta kesimde bulunan İzmit Havzasına yüzey suları ve akarsular ile bir yüzeysel akış gerçekleşmektedir. Su bölüm hattının kuzey kesiminin İzmit Havzasını beslediği alan 185.45 km²'dir. Buna karşılık güney kesim 312.82 km² bir alan ile havzayı beslemektedir. İzmit Havzası düzlük alanı ise 175.54 km²'lik bir alan teşkil etmektedir. Kuzey ve güney yükselimler arasında düz bir alan olarak bulunan ve alüvyal malzemeden oluşan İzmit Havzası, kuzey ve güney yükselimlerden gelen suların toplandığı bir su deposu gibidir.

Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji ABD İzmit Havzası yeraltı su seviyesinin tespitine yönelik bir araştırma yürütmektedir. Bu çalışmada, arazi çalışmalarıyla İzmit Havzasındaki var olan su kuyuları tespit edilmiş ve bu kuyulardan her ay veya iki ayda bir boyunca su seviyesi ölçümleri yapılmıştır. Bu çalışmalarda Mart 2002-Mayıs 2005 tarihleri arasında ölçümler alınmıştır. Ölçümler sayısal olarak bir tabloya girilmiştir. Bu ölçümler havzada yeraltı su seviyesinin alansal değişimi hakkında bir fikir sunmaktadır. Sıvılaşma analizlerinde araştırma sondajlarında belirtilen su seviyeleri kullanılmıştır. Araştırma sondajlarında YAS seviyesi ile ilgili bir veri olmadığında havza içi su seviyesi ölçümlerinden oluşturulan YAS değerleri kullanılmıştır.

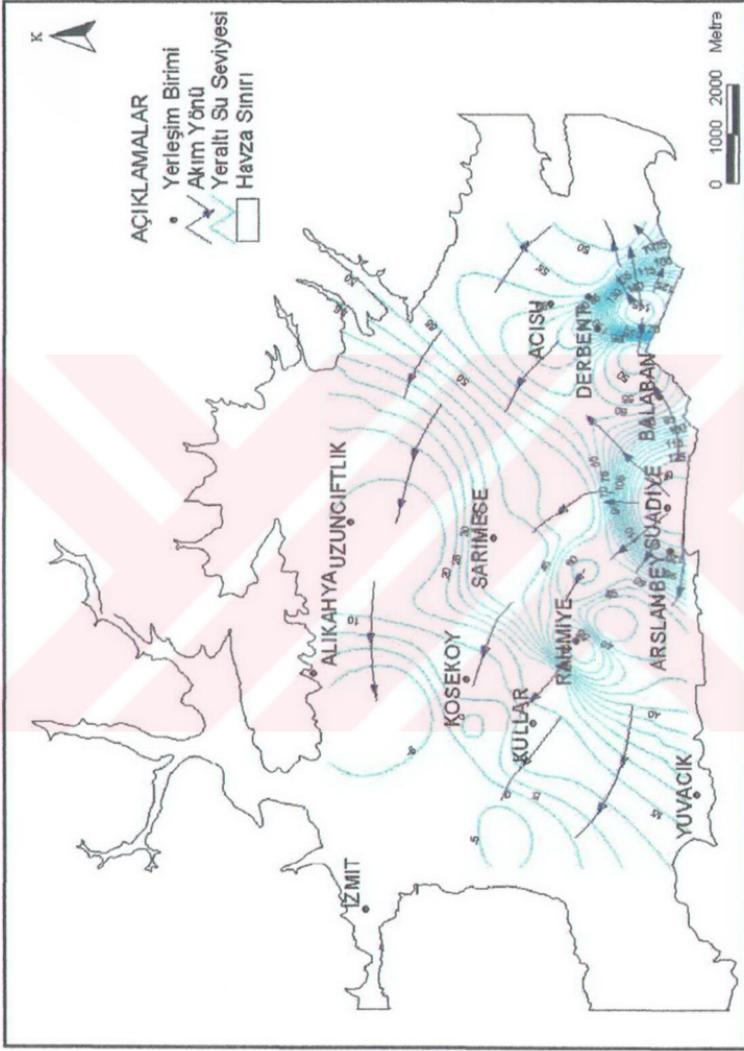
İzmit Havzası YAS seviyesi genel durumu ve akış yönü Şekil 6.6'da görülmektedir. Şekildeki kontur değerleri YAS seviyesinin topografik yüzeyden olan derinliklerini belirtmektedir. İki yıllık ölçümler sonunda hesaplanan Mart ayı ortalamaları için eş

derinlik eğrileri çizdirilmiştir. Bunun nedeni YAS seviyesinin yıl içinde bu ayda en yüksek seviyede olmasıdır. Yüksek YAS seviyesi herhangi bir depremin Mart ayı içinde meydana gelmesi halinde sivilaşma riskinin daha yüksek olmasını sağlayabilir. Havza içinde farklı alanlarda bulunan kuyulardan 26'si aylık YAS ölçümleri için belirlendikten sonra bu kuyulardan ölçümler alınmıştır. Şekil 6.6'da görüldüğü gibi havzanın batı kesiminde YAS seviyesi yüzeye yakın diğer kesimlerde topografyaya bağlı olarak derinlere inmektedir. YAS akım yönü GD-KB / D-B doğrultularında Marmara Denizi'ne ve GB-KD / KB-GD doğrultularında da Sapanca Gölü'ne doğru gerçekleşmektedir.





Şekil 6.5. İzmit Havzası akarsu ağı ve su bölüm hattı.



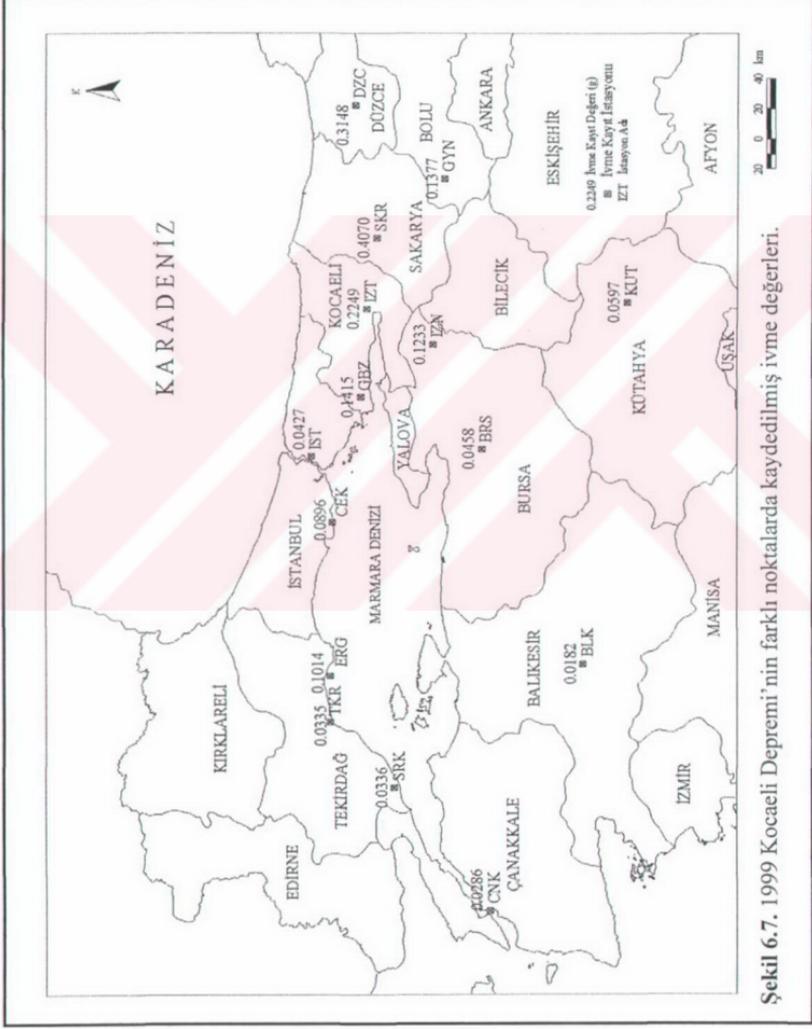
Şekil 6.6. İzmit Havzası YAS genel durumu ve akış yönü.

6.5. Sismolojik Veriler

Deprem tarafından üretilen yer sarsıntısı oldukça karmaşık olması yanında karakterize edilmesi güç bir doğal olaydır. Deprem hareketleri maksimum hız (peak velocity), maksimum ivme (peak acceleration), frekans ve salınım süresi ile tanımlanır. Maksimum hız yerin deprem esnasında ne kadar hızlı hareket ettiğini belirtir. Maksimum ivme ise yerin hızının ne kadar çabuk değiştiğini ifade eder. Frekans depremde açığa çıkan enerji dalgalarının farklı salınımları olarak tanımlanır. Süre ise depremin ne kadar sürdüğünün saniye cinsinden ifadesidir.

Bu incelemede sismolojik veriler olarak depremin oluşturduğu maksimum ivme ve buna bağlı olarak depremin büyüklüğü veya şiddeti, sınıvlaşma analizlerinde kullanılmıştır. İvme kuvvetli yer hareketi parametrelerinden birisidir. Kuvvetli yer hareketi denilmesinin nedeni bu tür hareketlerde deprem yeteri kadar güç üreterek insanı ve yaşadığı ortamı etkileyecek kadar kuvvetli bir yer hareketi oluşturmasıdır. Zeminin dinamik davranışında bu tür kuvvetli hareketler etkili olmakta bu nedenle bu hareketin özellikleri ve parametreleri önem kazanmaktadır.

Türkiye’de meydana gelen depremler hakkında sismolojik veriler KRDAE, Afet İşleri Genel Müdürlüğü DAD ve yurtdışında faaliyet gösteren büyük deprem araştırma merkezlerinden elde edilebilir. Son yıllarda veriler internette sayısal olarak bulunmaktadır. 1999 Kocaeli Depremi’nde çeşitli istasyonlar tarafından kaydedilen ivme değerleri KRDAE’den elde edilmiştir. Bu veriler internette farklı kaynaklar tarafından da sunulmaktadır. Kocaeli Depremi’nde kaydedilen ivme değerleri Şekil 6.7’de görülmektedir. İzmit Havzası ve civarı yakın istasyonlarda kaydedilen ivme değerleri 0.22–0.4 g arasında değiştiği görülmektedir. 1999 Kocaeli Depremi sismik değerleri ($M_w = 7.4$ ve $a_{max} = 0.404$ g) Adapazarı ve civar alanlarda sınıvlaşma meydana getirmiştir. $M_w = 7.4$ ve $a_{max} = 0.404$ g değerleri, sınıvlaşma için gerekli sismik parametreleri sağladığından havzada deprem büyüklüğü ve ivme bakımından sınıvlaşma riski bulunmaktadır. Standard ve YSA ile sınıvlaşma analizlerinde 1999 Kocaeli Depremi sismik değerleri kullanılmıştır.



Şekil 6.7. 1999 Kocaeli Depremi'nin farklı noktalarda kaydedilmiş ivme değerleri.

BÖLÜM 7. UYGULANAN YÖNTEMLER

Bu bölümde inceleme kapsamında kullanılan yöntemler açıklanmaktadır. İzmit Havzası'ndaki sivilaşma potansiyelinin ortaya konulmasında kullanılan standart sivilaşma analizi, Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri, YSA ile sivilaşma analizi ve CBS yöntemleri anlatılmaktadır. Bir araya getirilen veriler ile ilk önce standart sivilaşma ve Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri Yöntemi ile analizler yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. İkinci aşamada ise farklı bir yaklaşım olan YSA ile sivilaşma analizleri yapılmıştır. Sivilaşma analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlar CBS ortamına aktarılarak İzmit Havzası'nda sivilaşma potansiyeli taşıyan alanların coğrafik dağılımı ortaya konmuştur. İlk olarak standart sivilaşma yönteminin gelişimi ve analiz özellikleri sonrasında Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri, YSA ve CBS yöntemleri açıklanmıştır.

7.1. Standart Sivilaşma Yönteminin Gelişimi

Zeminlerin sismik sivilaşma direncini değerlendirmede ilk olarak öne sürülen "Basitleştirilmiş Hesaplama Yöntemi" 25 yılı aşan süre içinde gelişerek A.B.D., Kanada ve Dünya'nın diğer ülkelerinde standard uygulama yöntemi olarak kabul edilmiştir. Sivilaşma olasılığının hesaplandığı bu yöntemin gelişimi bir dizi olayları takip etmiştir. 1964 yılında meydana gelen yıkıcı Alaska ($M_w=9.2$) ve Japonya'daki Niigata ($M_s=7.5$) Depremlerinden sonra Seed and Idriss (1971) bu yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntem daha sonraları Seed (1976), Seed and Idriss (1982) ve Seed et al. (1985) tarafından revize edilerek daha da geliştirilmiştir. 1985 yılında Amerika Deprem Mühendisliği Komitesi, Ulusal Araştırma Konseyi (NRC) bu yöntemi değerlendirmek ve güncellemek amacıyla bu konuda uzman araştırmacıların katıldığı bir çalıştay düzenlemiştir. Çalıştay sonunda hazırlanan rapor (NRC 1985) Dünya çapında kullanılan bir referans olmuştur. Çalıştay 1971'ten 1985 yılına kadar

bu konu üzerinde yapılan çalışmalar ve güncellemeleri değerlendirmek amacıyla düzenlenmiştir.

Deprem Mühendisliği Araştırmaları Ulusal Merkezi (NCEER) tarafından desteklenen 1996 çalıştayını sivilaşma konusunda uzman 21 araştırmacıyı bir araya getirerek güncel gelişmeleri göz önüne almak ve bahsi geçen yöntem için yapılan yeni gelişmeler ve hesaplamalar için bir fikir birliğine varmak amacıyla organize edilmiştir. Çalıştayın amacı daha önceki 1985 NRC çalıştayını ile 1996 NCEER çalıştayını arasında geçen 11 yıllık süre zarfında yapılan çalışmalar ve yayınlar üzerine yoğunlaşmaktı. Bu nedenle çalıştayın içeriği yalnızca basitleştirilmiş yöntem ile sivilaşma analizini uygulayan incelemeler ile sınırlı kalmış ve yalnızca sivilaşmanın tetiklenmesinin değerlendirilmesi ile ilgilenmiştir. Ayrıca, çalıştaydaki konular bu yöntemin uygulanmasının öngörüldüğü arazi koşullarını kapsayan konular ile sınırlandırılmıştır.

Bu yöntem temel olarak düz veya hafif eğimli arazi yüzeylerinin altında bulunan sığ alüvyal zeminlerin sivilaşma direncinin değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu nedenle yöntemin geçerli olacağı yüzey ve zemin koşullarını içeren yerlere uygulandığında yöntem amacına uygun olarak kullanılmış olacaktır. Fakat bu uygulama bazı mühendisler tarafından hafif eğimli yüksek yamaçlar, mühendislik yapılar veya derin zemin tabakaları için sivilaşma tehlikesinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Yöntemin bu şekilde kullanılması bu konular üzerinde tecrübeli uzmanlar vasıtasıyla yapılması yöntemin kullanımını daha da etkin kılacaktır.

Bu gelişmeler ışığı altında, bu yöntem ve 1996 NCEER çalıştayındaki son gelişmeler temel alınarak CivilTech Corporation tarafından LiquefyPro sivilaşma ve oturma analizini gerçekleştiren bir bilgisayar programı hazırlanmış ve sivilaşma analizinin daha uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmıştır (CivilTech 2002). Bu incelemede standard sivilaşma analizleri LiquefyPro programı ile yapılmıştır. Aşağıdaki kısımda programın çalışma prensibi ve sivilaşma analizi için gerekli veriler ve hesaplama yöntemleri anlatılmaktadır.

7.2. Standard Sıvılaşma Analizi

Standard sıvılaşma analizleri Seed and Idriss (1971) yaklaşımının temel alan LiquefyPro Sıvılaşma ve Oturma Analiz bilgisayar programı (CivilTech 2002) yardımıyla yapılmıştır. Bu program incelenen alan için gerekli verilerin derlenip belli bir standara getirilerek programa girdi olarak sunulmasıyla sıvılaşma analizleri gerçekleştirmiştir. LiquefyPro sıvılaşma potansiyelini değerlendiren ve sismik yüklerden dolayı oluşan oturmaları hesaplayan bir bilgisayar programıdır. Program bu konuda en güncel yayınlardan olan NCEER (1997) çalışmayı ve DMG SP117 (1999)'ya dayanarak hazırlanmıştır. Program sıvılaşma analizinde SPT ve BPT için bir yöntem ve CPT için dört yöntem sunmaktadır. Her yöntem kullanıcı tarafından değiştirilebilen farklı seçeneklere sahiptir. Bu seçenekler ince tane düzeltmesi, SPT için çekiç tipi, CPT için ortalama tane boyu büyüklüğü (D_{50}) olarak sıralanabilir. Oturma analizleri kuru ve suya doymuş kısımlar için sıvılaşmada oluşan oturmaları toplam ve ayrı ayrı hesaplamaktadır. Analiz sonucunda elde edilen grafik, özet ve detay verileri içeren örnek dosyalar Ek-B'de verilmektedir.

7.2.1. Hesaplama teorisi

Sıvılaşma, depreme maruz kalan bölgelerde gevşek ve suya doymuş taneli zeminlerde yaygınca görülen bir problemdir. Sıvılaşma analizi yapan LiquefyPro programı detaylı hesaplamalar yaparak topoğrafik olarak düz bir yüzey alanına sahip zeminlerin sıvılaşma potansiyelini hesaplar. Hesaplama safhası;

1. Çevrimsel Gerilme Oranı (CSR, deprem yükü) zeminde deprem tarafından oluşturulan yükün hesaplanması,
2. SPT ve CPT gibi yerinde (in-situ) testlerinden elde edilen verilere dayanarak zeminin çevrimsel gerilmeye karşı mukavemeti (CRR) nin hesaplanması,
3. Sıvılaşma potansiyelinin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının CRR'ın CSR'ye bölünmesiyle hesaplanarak değerlendirilmesi,
4. Sıvılaşma ile oluşabilecek oturmaların hesaplanması, olarak dört kısma ayrılır.

7.2.1.1. Çevrimsel gerilme oranı (CSR)

Deprem yükü, ilk kez Seed and Idriss (1971) tarafından yapılan araştırmada Seed yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu yöntem Seed ve beraber çalıştığı araştırmacılar tarafından sürekli olarak geliştirilmiştir. NCEER' in 1996' da düzenlediği sivilaşmanın değerlendirilmesi çalışmasına katılan araştırmacılar Seed' in yönteminde kullanılan formülü gözden geçirerek Denklem 7.1 şeklinde düzenlemişlerdir.

$$CSR = \tau_{av} / \sigma'_v = 0.65 \cdot (\sigma_o / \sigma'_o) \cdot a_{max} \cdot r_d \quad (7.1)$$

CSR = Çevrimsel gerilme oranı (Cyclic Stress Ratio)

σ_o = Toplam düşey yük gerilmesi (KPa)

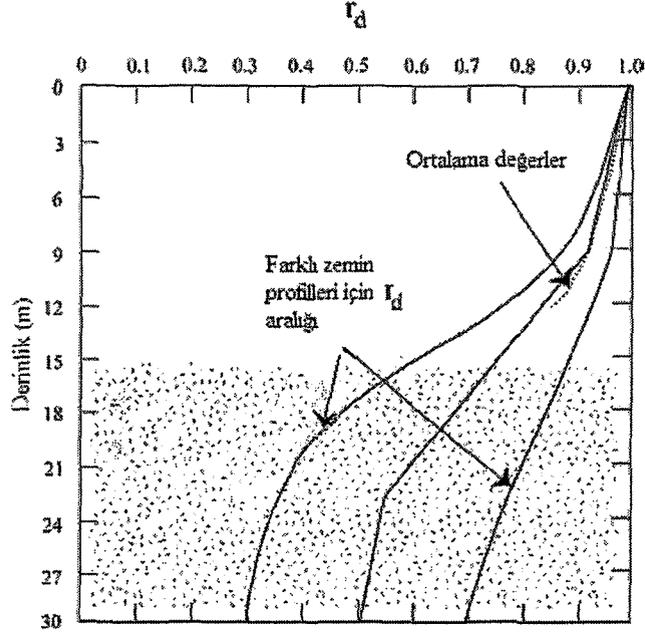
σ'_o = Efektif düşey yük gerilmesi (KPa)

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

r_d = Aşağıdaki formüller ile belirlenen gerilme azaltım katsayıları

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

Şekil 7.1 r_d 'nin derinlikle değişimini göstermektedir. CSR ile hesaplanan deprem yükü, sivilaşma potansiyeli analizinde güvenlik katsayısı hesaplamasında ortamdaki kaydırıcı kuvvet olarak yerini alır. Denklem 7.1'deki ağırlık katsayısı 0.65 olarak, Seed tarafından düzensiz bir yer hareketinde boşluk suyu basıncı artışı üreten çevrimsel gerilmelerin çevrim sayısını hesaplamak için ortaya atılmıştır.



Şekil 7.1. Derinlikle gerilim azaltım faktörü değişimi (Seed and Idriss 1971)

7.2.1.2. Çevrimsel gerilme mukavemeti (CRR)

CRR, zeminin deprem yüküne karşı mukavemeti olarak tanımlanabilir. Bu terim NCEER' in 1996' da düzenlediği sınıflaşmanın değerlendirilmesi çalışması ile kullanılmaya başlanmıştır. CRR sınıflaşma eğrileri 7.5 büyüklüğündeki bir deprem için geliştirilmiş bu yüzden CRR_{7.5} olarak adlandırılmıştır. Farklı büyüklükteki depremler göz önüne alındığında, sınıflaşmaya karşı bulunan güvenlik katsayısı manyetüd ölçeklendirme faktörü (Magnitude Scale Factor, MSF) ile çarpılır. SPT değerlerinden CRR_{7.5} hesaplaması aşağıda ifade edilmektedir. Program BPT ve CPT değerleri içinde CRR_{7.5} hesaplanmaktadır. Ancak bu incelemede SPT verileri kullanıldığından SPT ile hesaplanan CRR açıklanmaktadır. CRR hesaplaması üç aşamada yapılmaktadır. I. aşamada SPT vuruş sayılarında düzeltme, II. aşamada ince tane düzeltmesi ve III. aşamada CRR_{7.5} değerinin hesaplanması yapılmaktadır.

7.2.1.2.1. SPT vuruş değerlerindeki düzeltmeler

Arazide SPT testinin uygulanmasına gösterilen hassasiyetin düşük olduğu durumlarda SPT-N değerleri, sınıflaşma tehlikesinin değerlendirilmesinde yanlış

sonuçlar verme potansiyeline sahiptir. SPT-N değerleri kullanılarak sıvılaşma potansiyel değerlendirilmesinde ASTM D 1586 (ASTM 1999) standardında açıklanan SPT deneyinin yapılışı ve numune alımının detayları dikkate alınmalıdır. SPT-N değerlerine yapılacak düzeltmelerin Denklem 7.2'ye göre yapılması önerilmiştir. Elde edilen ham SPT-N değerleri için bazı düzeltme faktörleri geliştirilmiştir (Tablo 7.1).

$$(N_1)_{60} = N_m \cdot C_n \cdot C_e \cdot C_b \cdot C_r \cdot C_s \quad (7.2)$$

N_m = SPT ham verisi (N_{30})

C_n = Derinlik düzeltme faktörü

C_e = Çekiç enerji oranı (ER) düzeltme faktörü

C_b = Sondaj kuyusu çapı düzeltme faktörü

C_r = Sondaj tiji (borusu) uzunluğu düzeltme faktörü

C_s = Numune alıcı düzeltme faktörü

Tablo 7.1. SPT N_{30} değerlerine uygulanan düzeltmeler (Youd and Idriss 1997).

Faktör	Terim	Ekipman Değişkeni	Düzeltilmeler
Örtü Yükü Basıncı	C_n	σ'_0 = Efektif düşey yük basıncı (ton / ft ²) (100 KPa = 1,044 ton / ft ²)	$C_n = \sqrt{1/\sigma'_0}$ $0.4 \leq C_n \leq 1.7$
Enerji Oranı	C_e	Safety Çekiç Donut Çekiç Otomatik Trip	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 4 m – 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

7.2.1.2.2. SPT değerleri için ince tane düzeltmesi

LiquefyPro CRR eğrileri, temiz kumlar baz alınarak yapılmıştır. CRR eğrilerinin kil ve silt türü ince taneli malzeme içeren zeminlerde kullanabilmek için, SPT vuruş sayıları ince tane içeriğine göre bir düzeltme yapılmalıdır. İnce taneli malzeme içeren zeminler, ince tane içermeyen zeminlere nazaran sıvılaşmaya karşı daha dirençli olmaktadır. Ayrıca iri taneli bir zemin içinde ince tane oranı arttıkça SPT vuruş değerleri azalmaktadır. Bu nedenle ince tane içeren zeminlerin SPT vuruş sayıları ince tane oranına bağlı olarak düzeltilerek sıvılaşmaya karşı dirençleri artırılmış olmaktadır. Programda düzeltmeler için 4 seçenek bulunmaktadır. SPT değerleri için uygulanan Idriss and Seed (1997) yaklaşımı, Denklem 7.3'te farklı ince tane oranları için düzeltmeleri hesaplamaktadır.

$$(N1)_{60f} = \alpha + \beta (N1)_{60} \quad (7.3)$$

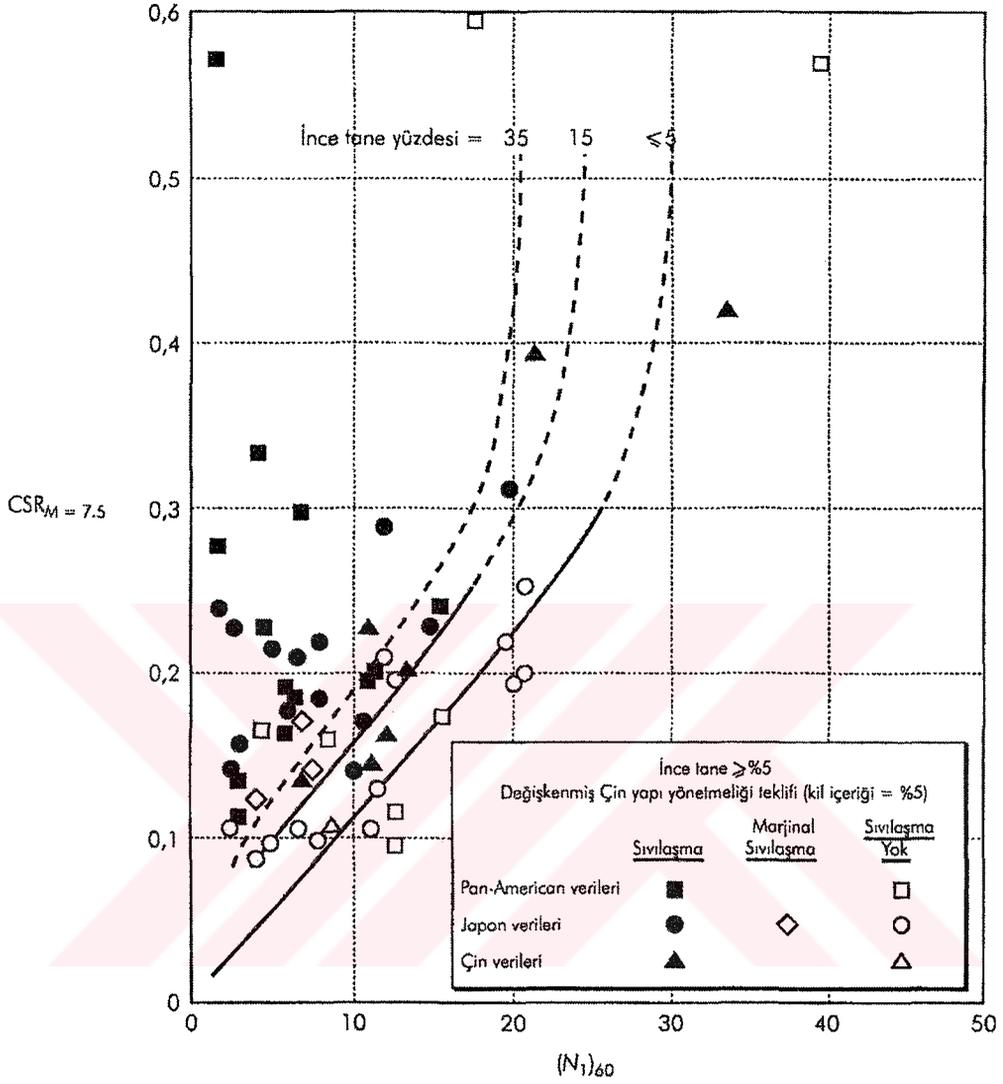
$$\alpha = 0; \beta = 1.0 \quad FC \leq \%5$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190/FC)^2]; \beta = 0.99 + FC^{1.5} / 1000 \quad \% 5 < FC < \% 35$$

$$\alpha = 5.0; \beta = 1.2 \quad FC \geq \% 35$$

$(N1)_{60f}$ = düzeltilmiş SPT vuruş değerleri

FC = ince tane oranı (%)



Şekil 7.2. SPT değerlerinden ve sıvılaşma verilerinden elde edilen CRR temel eğrileri (NCEER 1997).

7.2.1.2.3. CRR_{7.5} değerinin hesaplanması

CRR_{7.5} (M=7.5) Blake (1997) tarafından geliştirilmiş Denklem 7.4'te değerlerin yerine konulmasıyla hesaplanır.

$$CRR_{7.5} = \frac{a + c \cdot x + e \cdot x^2 + g \cdot x^3}{1 + b \cdot x + d \cdot x^2 + f \cdot x^3 + h \cdot x^4} \quad (7.4)$$

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

$$a=0.048$$

$$b=-0.1248$$

$$c=-0.004721$$

$$d=0.009578$$

$$e=0.0006136$$

$$f=-0.0003285$$

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

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

7.2.1.3. Güvenlik katsayısı

Yapıların ve temellerin oturduğu zeminlerin güvenliği bir güvenlik katsayısı ile değerlendirilir. Mühendislik uygulamalarında bu oranın güvenlik ve ekonomik yönden 1 veya 1'den büyük olması istenir. Güvenlik katsayısı (F.S) tüm mühendislik girişimlerinde göz önünde bulundurulmuş bir katsayıdır. Pratikte bu oran ≥ 1 ise mühendislik girişimi uygulanır, eğer < 1 ise çeşitli önlemler alınarak ortamın güvenlik katsayısı yükseltilir. Sıvılaşma yatkınlığı analizi yapan bu programda sıvılaşma potansiyelinin olup olmadığı güvenlik katsayısı ile belirlenmektedir. CRR / CSR oranı sıvılaşma potansiyeli için güvenlik katsayısı olarak nitelendirilir (Denklem 7.5).

$$F.S = CRR_m / CSR_{fs} \quad (7.5)$$

Güvenlik katsayısı, sıvılaşma analizinde elde edilen son değeridir. Güvenlik katsayısı 1' den büyük veya 1' e eşit ise sıvılaşma potansiyeli yoktur. Güvenlik katsayısı 1' den küçük ise sıvılaşma potansiyeli vardır.

7.2.2. Oturma hesapları

LiquefyPro zemini ince tabakalara bölerek her tabaka için oturmaları hesaplar. Hesaplamalar kuru zeminlerde ve suya doygun zeminlerde olmak üzere iki kısımda gerçekleştirilir. Yeraltısu seviyesinin üzerinde olan zemine kuru zemin ve

yeraltısuyu seviyesi altında bulunan zemin de suya doygun zemin olarak tanımlanır. Belli bir derinlikteki toplam oturma kuru ve suya doygun kısımdaki oturmaların toplamı olmaktadır.

7.2.2.1. Suya doygun zeminlerde oturmalar

Suya doygun zemin oturmaları iki farklı yöntem olan Tokimatsu and Seed (1987) veya Ishihara and Yosemine (1992) ile yapılır. Bu iki yöntemden biri seçilerek sıvılaşmada suya doygun zeminlerdeki oturmalar hesaplanır.

7.2.2.1.1. Tokimatsu and Seed (1987) yöntemi

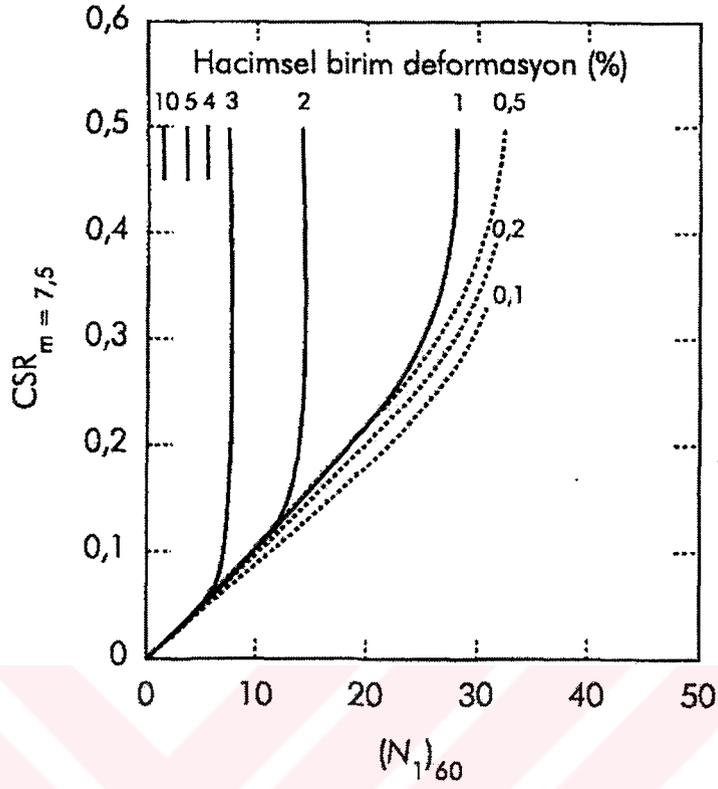
Bu yöntemde ilk olarak hacimsel deformasyon (ϵ_c) değerlendirmesi yapılır. Her tabakadaki hacimsel deformasyon Şekil 7.3' teki grafik yardımı ile belirlenir. LiquefyPro, CSR ve $(N_1)_{60}$ değerlerini kullanarak hacimsel deformasyonu (ϵ_c) hesaplar. Eğer CPT verisi kullanılacaksa q_{cl} değerleri $(N_1)_{60}$ değerlerine dönüştürülür. İkinci kısımda her tabakanın oturması hacimsel deformasyon ile tabaka kalınlığı çarpılarak hesaplanır (Denklem 7.6).

$$S_{doygun} = (\epsilon_c / 100) \cdot dz \quad (7.6)$$

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

ϵ_c = hacimsel deformasyon (%)

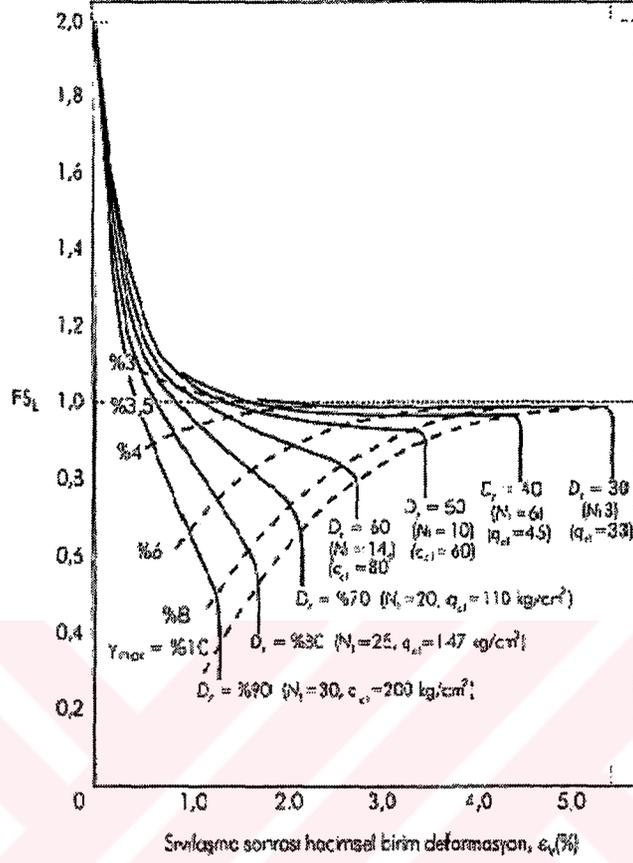
dz = zemin tabakasının kalınlığı (cm)



Şekil 7.3. CSR ve düzeltilmiş SPT değerlerine göre hacimsel deformasyonlar.

7.2.2.1.2. Ishihara and Yosemine (1990) yöntemi

Bu yöntem sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı ve düzeltilmiş SPT vuruş sayıları veya CPT uç direnci ile her katmanın hacimsel deformasyonunu değerlendirir. Hacimsel deformasyon (ϵ_v) Şekil 7.4' teki grafikten güvenlik katsayısı (F.S) ve zeminin relatif yoğunluğuna (D_r) bağlı olarak değerlendirilir. SPT verilerinin ($(N_1)_{60}$) değerleri D_r değerlerine dönüştürülür (Tablo 7.2). Eğer CPT verileri var ise, q_{cl} önce ($(N_1)_{60}$ ' a dönüştürülür sonra D_r değerlerine dönüştürülür. Hacimsel deformasyon, D_r ve güvenlik katsayısına bağlı olarak hesaplanır. Şekil 7.4' teki grafikte ve Tablo 7.2' de, ($(N_1)_{60}$ - D_r , q_{cl} arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 7.4. Sıvılaşmaya karşı FS ve D_r ile ilişkili hacimsel deformasyonlar (Ishihara 1993). Kesiksiz çizgili eğriler LiquefyPro'da kullanılmaktadır.

İkinci adımda deprem tarafından oluşturulan oturma (S_{doygun}) hesaplanır (Denklem 7.7).

$$S_{doygun} = (\epsilon_v / 100) \cdot dz \quad (7.7)$$

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

ϵ_v = hacimsel deformasyon (%)

dz = zemin tabakasının kalınlığı (cm)

Tablo 7.2. $(N_1)_{60}$, D_r (%) ve q_{cl} arasındaki ilişki.

$(N_1)_{60}$	D_r (%)	q_{cl} kgf/cm^2
3	30	33
6	40	45
10	50	60
14	60	80
20	70	110
25	80	147
30	90	200

7.2.2.2. Kuru zemin oturmaları

Kuru zemin oturma hesaplamaları her zemin tabakası için ayrı ayrı yapılır. Bu hesaplamalar 6 ayrı adımdan oluşmaktadır.

1. Adım: Kayma Modülünün (G_{max}) SPT verisinden hesaplanması

SPT verileri için G_{max} ;

$$G_{max} = 10 \cdot \sqrt[3]{(N_1)_{60}} \cdot \sqrt{2000 \cdot \sigma'_m} \quad (7.8)$$

$$\sigma'_m = (1 + 2K_0) / 3 \cdot \sigma'_{o'} = 0.65 \cdot \sigma'_{o'} \quad (7.9)$$

G_{max} = Kayma Modülü (tsf)

K_0 = Yatay yer basıncı katsayısı (sabit değer 0.47 alınmış)

$\sigma'_{o'}$ ve σ'_m = Efektif düşey yük basıncı (tsf)

2. Adım: Kayma deformasyonu-kayma modülü oranının değerlendirilmesi

$$\gamma_{eff}(G_{eff} / G_{max}) \cdot f_s = 0,65 \cdot (\sigma'_{o'} / G_{max}) \cdot a_{max} \cdot r_d \cdot f_s = CSR_{fs} \cdot (\sigma'_{o'} / G_{max}) \quad (7.10)$$

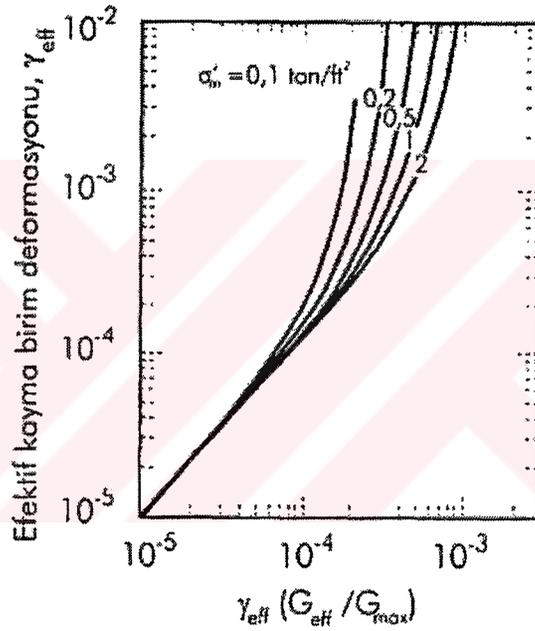
G_{max} = Kayma modülü

f_s = Kullanıcı tarafından belirlenen güvenlik katsayısı

CSR_{fs} = Çevrimsel gerilme oranı

3. Adım: Efektif kesme deformasyonunun değerlendirilmesi

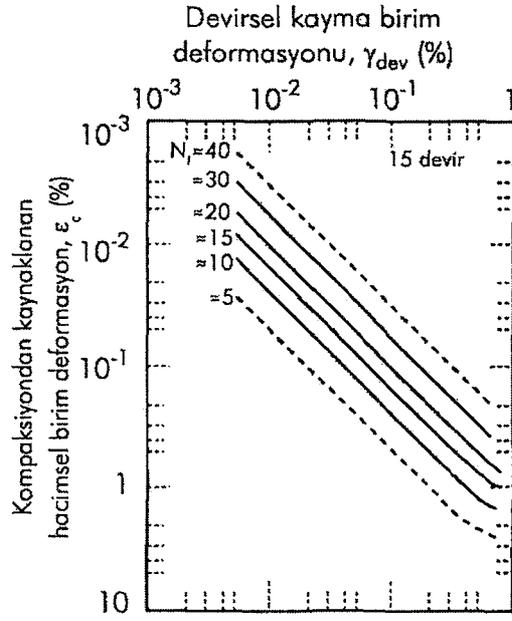
Şekil 7.5'ten 2. Adım da hesaplanan Kesme deformasyonu-kesme modülü oranı kullanarak efektif kesme deformasyonunun (γ_{eff}) değerlendirilmesi.



Şekil 7.5. Kesme deformasyonu grafiği (Tokimatsu and Seed 1987).

4. Adım: Hacimsel deformasyonun değerlendirilmesi

Şekil 7.6' teki grafikten 3. Adım' da hesaplanan γ_{eff} değerini kullanarak ϵ_c 7,5 değerleri hesaplanır. Grafikte $(N_1)_{60}$ değerleri kullanılır.



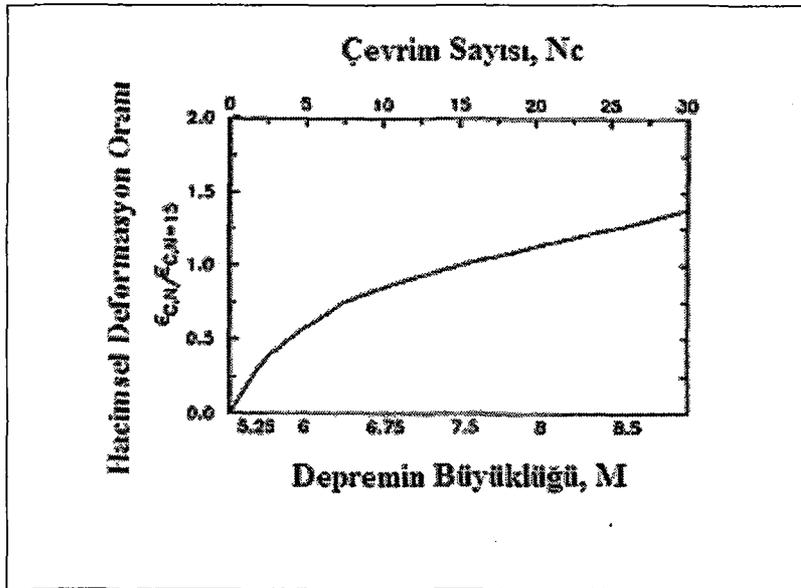
Şekil 7.6. Hacimsel deformasyon grafiği (Tokimatsu and Seed 1987).

5. Adım: Hacimsel deformasyonun manyetüd düzeltmesi

4. Adım' da hesaplanan ϵ_c 7,5 değerleri Şekil 7.7' daki grafikten manyetüd deformasyon oranı ile çarpılarak ϵ_c değerleri hesaplanır (Denklem 7.11).

$$\epsilon_c = C_{\epsilon_c} \cdot \epsilon_{c7,5} \quad (7.11)$$

C_{ϵ_c} = Düzeltme faktörü



Şekil 7.7. Manyetüd düzeltme faktörü (CivilTech 2002)

6. Adım: Kuru zeminde deprem tarafından oluşturulan oturmanın hesaplanması (S_{kuru})

$$S_{kuru} = (2 \cdot \varepsilon_c / 100) \cdot dz \quad (7.12)$$

ε_c = hacimsel deformasyon (%)

dz = zemin tabakasının kalınlığı (cm)

Denklem 7.12'deki 2 sayısı depremin yarattığı salınımın çok yönlü olmasından dolayı kullanılmıştır.

7.2.2.3. Toplam oturma

Belli bir derinlikteki (d) toplam oturma, kuru ve suya doymuş kesimlerde bulunan tüm tabakalarda d kalınlığının en altından en üstüne kadar olan oturmaların toplamına eşittir. Yeraltı su seviyesinin altında belirli bir derinlikte oturma sadece suya doymuş kesimdeki oturmaya eşittir (Denklem 7.13).

$$S_{toplam} = \sum_{enalt}^d S_{doymuş} \quad (7.13)$$

Yeraltı su seviyesinin üstündeki bir derinlikte oturma hem kuru hem de suya doymuş zemin oturmalarının toplamına eşittir (Denklem 7.14).

$$S_{toplam} = \sum_{enalt}^{YAS} S_{doymuş} + \sum_{YAS}^d S_{kuru} \quad (7.14)$$

7.3. Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri Yöntemi

Çin Kriterleri deprem esnasında ince taneli zeminlerin dayanımlarını yitirme ve sıvılaşma yatkınlığını değerlendirmek amacıyla ortaya konulmuş ilk çalışmadır. Wang (1979) bu kriterleri 1975 Haicheng ve 1976 Tangshan depremlerinde siltli kumlar ve az kumlu siltlerin sıvılaşması verilerine dayanarak ortaya çıkarmıştır. Bu

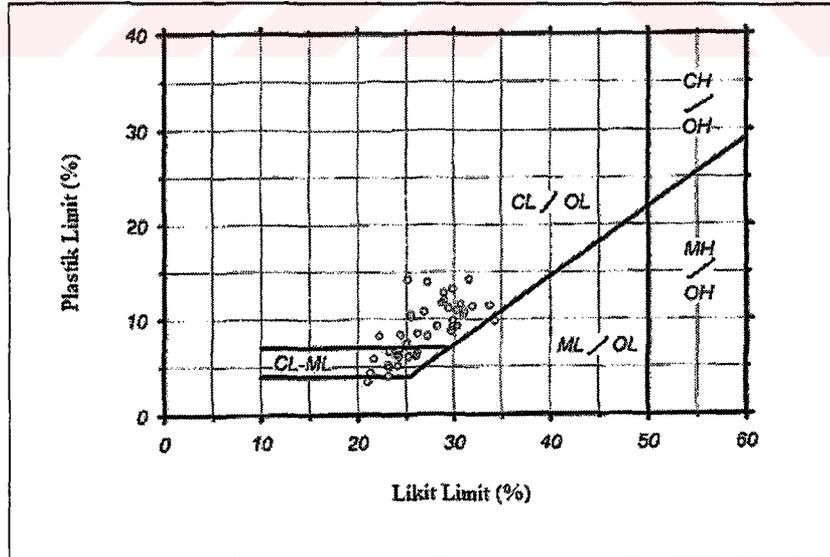
iki depremde sıvılaştan zeminlerin plastisite grafiğinde yerleri Şekil 7.8' de görülmektedir. Depremlerden elde edilen verilere dayanarak, ince taneli zeminlerin dayanımlarını kaybetmeleri aşağıdaki üç kriterin de bir arada olması ile gerçekleşmektedir.

- Kil oranı $< \% 15$
- Likit limit $< \% 35$
- Su içeriği $> 0.9 \times$ Likit Limit

İnce taneli zeminlerin sıvılaşma yatkınlığı ortaya koyan bu üç ölçüt literatüre Çin Kriterleri olarak geçmiştir. İnce taneli zeminlerin sıvılaşma değerlendirilmesinde önemli parametreler kil tanesi yüzdesi, likit limit ve su içeriği olmaktadır.

Perlea et al (1999) Çin Kriterleri'ni, ASTM göre modifiye etmişlerdir. Modifiye edilmiş yöntemle göre sıvılaşma yatkınlığı taşıyan zeminlerin kriterleri;

- Likit limitleri (LL) ≤ 33.5
- Su içeriği (w_n) $\leq 0.87 \times$ LL
- Kil Oranı (<0.005 mm) $\leq \% 20$
- Plastisite Indisi (PI) ≤ 13 olarak belirlenmiştir.

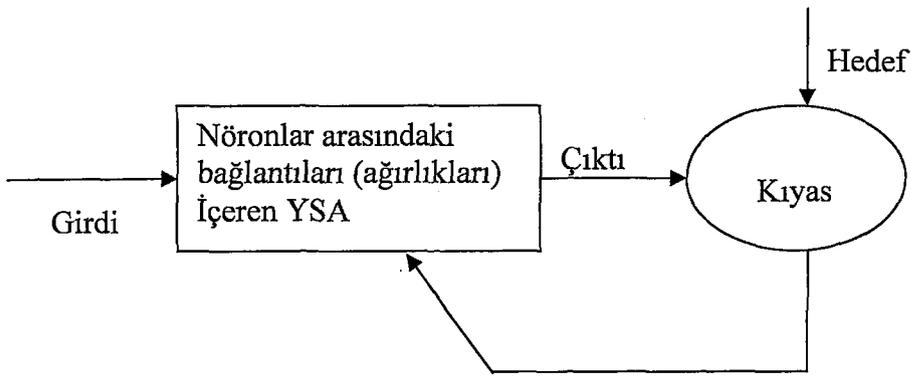


Şekil 7.8. Şiddetleri VIII-IX olan Çin Depremleri'nde sıvılaştan zeminlerin plastisite kartı üzerinde dağılımları.

Amerikan ve Çin Standartları'na göre farklılık gösteren zemin indeks parametreleri ve uygulamalardan dolayı Perlea et al (1999) böyle bir uyarlama yapmışlardır. Bu yöntem inceleme alanındaki ince taneli zeminlerin sınıflama yetkinliğini değerlendirmede kullanılmıştır.

7.4. Yapay Sinir Ağları Yöntemi

YSA insan beyninin biyolojik sinir sisteminden ilham alınarak tasarlanan bir bilgi işleme sistemi olarak geliştirilmiştir. Bu sistemin ana elemanı bilgiyi analiz etme yapısıdır. YSA birbirleriyle bağlantılı çok sayıda işlem elemanları (nöronlar)' dan oluşmaktadır. YSA insanlarda olduğu gibi örneklerle öğrenirler. YSA'ları doku tanıma (pattern recognition) ve veri sınıflama (data classification) gibi amaca yönelik bir uygulama için uygun bir öğrenme yöntemi kullanılarak tasarlanırlar. Biyolojik sistemlerdeki öğrenme nöronlar arasındaki snaptik bağlantıların kendilerini ayarlamaları ile olmaktadır. Bu yaklaşım YSA için de geçerli olmaktadır. YSA yapısı paralel çalışan basit elemanlardan oluşmaktadır. Ağın fonksiyonelliği büyük ölçüde elemanlar arasındaki bağlantılar ile belirlenir. YSA eğitilerek elemanlar arasındaki bağlantı (ağırlık) değerleri ayarlanarak, belirli bir fonksiyonu yerine getirmesi sağlanır. YSA eğitilerek işleme dâhil olan girdilerin belirlenen hedef çıktıya ulaşması sağlanır (Şekil 7.9). Sisteme verilen girdi işlenerek bir çıktı üretilir, bu üretilen çıktı hedef ile mukayese edilir bu mukayese sistemdeki çıktı ile hedef arasındaki fark sıfır veya minimum oluncaya kadar YSA eğitilir. Girdi/Hedef çiftinin kullanıldığı bu tür YSA eğitimine denetimli öğrenme denir (Demuth and Beale 2002).



Şekil 7.9. Genel hatlarıyla YSA çalışma sistemi (Demuth and Beale 2002).

YSA geçmişten günümüze doku tanıma, kimlik saptanması, veri sınıflama, konuşma, görme ve kontrol sistemlerini içeren alanlarda ki karmaşık işlemleri yerine getirebilmek için eğitilmişlerdir. Günümüzde sıradan bilgisayar ve insanoğlu için zor olan problemlerin çözümü için YSA yöntemi kullanılmaktadır. Yaygın olarak denetimli eğitim yöntemleri kullanılmaktadır. Fakat bazı YSA'ı denetimsiz eğitim yöntemleri ile çalışmaktadır. Günümüzde YSA kullanım alanları oldukça geniş bir yelpaze sunmaktadır. YSA'nın başlıca kullanım alanları;

- Mühendislik
- Ticari işlemler
- Havacılık
- Otomotiv
- Banka işlemleri, Finans, Kredi kartı işlemleri takibi
- Savunma sanayi
- Elektronik
- Endüstri
- Sigorta
- Üretim
- Tıp
- Petrol ve doğal gaz araştırmaları
- Robot Uygulamaları, Konuşma tanıma
- İletişim, Ulaşım ve Güvenlik

7.4.1. Yapay sinir ağlarının tarihsel gelişimi

İnsan beyni üzerine yapılan çalışmalar binlerce yıllık bir geçmişe sahiptir. İnsan beyni yanı sıra tanıma işlemi gerçekleştiren diğer bir vasıta YSA olmuştur. YSA için ilk çalışma 1943 yılında Warren McCulloch (nörofizyolog) ve Walter Pitts (matematikçi) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada işlem elemanlarının (nöronların) nasıl çalıştıklarını açıklayıp, elektrik devreleri kullanarak basit bir YSA modellemişlerdir.

Nöronlar fikri ve işleyişi hakkında 1949 yılında Donald Hebb tarafından 'Davranış Organizasyonu' adlı kitap yazılmıştır. Kitapta sinir ağlarının her kullanışta daha da güçlendikleri anlatılmıştır. 1950' li yıllarda bilgisayarın ortaya çıkmasıyla yapay sinir ağları teorileri modellenmeye başlanmıştır. IBM araştırma grubundan Nathaniel Rochester YSA'nı bilgisayarda ilk uygulamalarını gerçekleştirmiştir. İlk denemeler başarısız olsa da ondan sonrakilerde başarılı olmuştur.

Dartmouth Summer Research Yapay Zekâ Projesi 1956' da Yapay Zeka ve YSA için büyük bir ilerleme sağlamıştır. Bu projenin ardından John Von Neumann nöron fonksiyonlarının taklit edilmesini önermiştir. Cornell Üniversitesi'nden nörobiyolog olan Frank Rosenblatt algılayıcı (Perceptron) üzerine çalışmaya başlamıştır. Rosenblatt (1958) tarafından geliştirilen algılayıcı model yapay sinir ağları tarihinde önemli bir gelişmeye öncülük etmiştir. Bu model daha sonra geliştirilecek olan çok katmanlı algılayıcıların temelini oluşturmuştur.

Standford Üniversitesi'nden Bernard Widrow ve Marcian Hoff 1959' da ADALINE ve MADALINE adlı modelleri geliştirmişlerdir. MADALINE gerçek hayattaki bir problem için kullanılmış ilk YSA olmuştur. Telefon hatlarındaki yankıyı yok eden adaptif bir filtre olan bu model günümüzde de ticari olarak halen kullanılmaktadır.

1959' dan 1981 yılına kadar yetersiz ekonomik destek, ilgisizlik ve YSA kullanımının yanlış yorumlanması YSA konusunda çalışmalarını azaltmıştır. Finansal desteğin ve ilginin çok az olmasına rağmen bazı araştırmacılar doku tanınması (pattern recognition) gibi problemlerin çözümünde kullanılan neuroformik tabanlı hesaplama yöntemleri geliştirilmesi araştırmalarına devam etmişlerdir. Bu dönem esnasında günümüzde de üzerinde çalışılan pek çok modeller üretilmiştir. 1960' lı yılların sonlarına doğru Grossberg yapay sinir ağlarının psikolojik mantıksallığı ve mühendislik uygulamalarındaki kolaylığı ortaya koymuş; Carpenter ile Adaptif Rezonans Teorisini (ART) geliştirmiştir. Bu denetimsiz eğitim konusunda zamanının geliştirilmiş en karmaşık yapay sinir ağı olmuştur.

1969 yılında Minsky ve Papert bir kitapta tek katmanlı algılayıcıların (Perceptron) çok katmanlı sistemler ile ilgili problemleri çözemediklerini anlatmışlardır. Bu kitabın etkileri YSA gelişimini bir süre durdurmuştur. Fakat Amari, Anderson, Cooper, Fukushima, Grossberg, Kohonen ve Hopfield gibi bazı bilim adamları çalışmalarına devam etmişlerdir. 1970 yıllarının sonlarına doğru Fukushima görsel şekil ve görüntü tanıma amaçlı NEOCognitron modelini geliştirmiştir. Bu model önceleri denetimsiz öğrenme yapan bir model olmasına karşın daha sonra denetimli öğrenme yapacak hale gelmiştir. 1972 yılında bir elektrik mühendisi olan Kohonen ve nöropsikolog Anderson birbirlerinden bağımsız olarak çağrışimli bellek (Associative Memory) tekniğini geliştirmiştir. Bu çalışmalar daha sonra geliştirilecek olan denetimsiz eğitim kurallarının temelini oluşturmuştur.

1982 ve 1984 yıllarında Hopfield tarafından yayımlanan çalışmalar ile yapay sinir ağlarının genelleştirebileceği ve özellikle geleneksel bilgisayar programlama ile çözülemeyen problemlere çözüm üretebileceğini göstermiştir. Aynı zamanda, Rummelhart ve arkadaşları paralel programlama konularındaki çalışmalarını iki ciltlik bir kitapta ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada çok katmanlı algılayıcı modelin (multi layer feed forward) temelini atıp, bu modeli geliştirmişlerdir. Çok katmanlı algılayıcıların geliştirilmesi yapay sinir ağlarının gelişimi için çok önemli bir dönüm noktası olmuştur (Öztemel 2003).

1982 yılında bazı olaylar yeniden bu konuya olan ilgiyi arttırmıştır. Caltech Üniversitesi'nden John Hopfield, Amerikan Ulusal Bilimler Akademisi'ne sunduğu bir makalede insan beynini ve bazı kullanışlı aletlerin modellemesini anlatmıştır. Matematiksel analizler ile bu modellerin nasıl çalıştığını ve neler yapabileceğini göstermiştir. Kohonen 1982 yılında 'kendi kendine öğrenme nitelik haritaları (Self Organizing Maps-SOM) konusunda çalışmasını yayınlamıştır.

Aynı tarihte, Japonya'nın Kyoto şehrinde YSA üzerine bir konferans düzenlenmiştir. Beraber veya rakip olarak çalışabilen YSA konulu bu konferans A.B.D.-Japonya ortak işbirliği ile gerçekleştirilmiş bir konferanstır. Japonlar bu konferansta yaptıkları V. kuşak gelişmeleri tanıtmışlardır. Bunun üzerine A.B.D. bu konularda tekrar iddialı bir konuma gelebilmek için YSA araştırmalarına kaynak aktarımı yapmıştır.

1985 yılında A.B.D. Fizik Enstitüsü, “Hesaplama YSA” adlı yıllık toplantılarını başlatmıştır. 1987’ de A.B.D Elektronik ve Elektrik Mühendisliği Enstitüsü (IEEE) ilk uluslararası konferansını YSA üzerine düzenlemiştir. 1988’ de Broomhead ve Lowe, Radyal Tabanlı Fonksiyonlar (Radial Basis Functions, RBF) modelini geliştirmişlerdir. Bu ağ çok katmanlı algılayıcılara alternatif olarak geliştirilmiştir. Daha sonra Specht bu ağların daha gelişmiş şekli olan Probabilistik Ağları (PNN) ve Genel Regresyon Ağları (GRNN)’nı geliştirmiştir. 1990 yılında A.B.D. Savunma Bakanlığı’ na bağlı bir projede YSA kullanımı sağlanmıştır.

Günümüzde çok büyük ilerlemeler kaydeden YSA konusu gelecek araştırmalar için çok büyük ilgi ve finansal destek bulmaktadır. YSA günümüzde teorik ve laboratuvar uygulaması olmaktan çıkıp, çok çeşitli alanlarda pratik olarak kullanılarak fayda sağlamışlardır.

7.4.2. Yapay sinir ağlarının ana bileşenleri

Bu kısımda yapay sinir ağlarını teşkil eden yedi önemli bileşenden bahsedilmektedir. Bu bileşenler yapay sinir ağlarında kullanılan işlem elemanın (nöronun) girdi (input), çıktı (output) veya gizli katmanda (hidden layer) kullanılması sırasında geçerli olmaktadır.

7.4.2.1. Ağırlık faktörleri

Herhangi bir işlem elemanı genellikle eş zamanlı pek çok girdi sinyali alabilir. Her girdinin kendine ve diğer girdilere göre bir ağırlığı olup işlem elemanın toplam fonksiyonuna farklı etkiler iletmektedir. Bu ağırlıklar, biyolojik sistemdeki nöronların değişen snaptik bağlantı kuvvetleri ile benzer bir şekilde işlev gösterirler. Her iki durumda da, bazı girdiler diğerlerine göre daha önemli olmakta, işleme elemanı üzerinde daha fazla etki yapmakta bu da işlem elemanının vereceği tepkiyi etkilemektedir.

Ağ dahilinde ağırlıklar ayarlanabilen katsayılar olup, bu ağırlıklar yapay bir nöron tarafından kaydedilen girdi sinyalinin şiddetini belirlerler. Ağırlıklar bir girdinin

işlem elemanları ile olan bağlantı kuvvetinin göstergeleridir. Bu bağlantı ilişkilerinin yoğunluğu çeşitli eğitim setleri ve ağıın özel topolojisine veya öğrenme kurallarına göre düzenlenebilirler. Ağırlıklar eğitim safhasında güncellenerek uygulamanın amacına göre en uygun hali alırlar. Eğitim sonrası elde edilen optimum ağırlıklar test safhasında kullanılırlar. Ağırlıklar gelişigüzel veya sabit olarak atanabilirler.

7.4.2.2. Toplama fonksiyonu

Yapay nöronun (işlem elemanı) yaptığı ilk işlem tüm girdilerin ağırlıklı toplamalarını hesap etmektir. Matematiksel olarak girdiler ($i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$) ve ağırlıkları ($w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$) vektörel olarak temsil edilirler. Toplam girdi sinyali bu iki vektörün çarpımına eşittir. En basit toplama fonksiyonu her girdiye karşılık gelen ağırlıkların önce çarpımını sonra da bu çarpımların toplamını gerçekleştirir. Bu işlem aşağıdaki gibi gerçekleşir.

$$\text{Girdi 1} = i_1 \cdot w_1$$

$$\text{Girdi 2} = i_2 \cdot w_2$$

$$\text{Girdi n} = i_n \cdot w_n$$

$\Sigma = \text{Girdi 1} + \text{Girdi 2} + \dots + \text{Girdi n}$ olarak toplanır. Çıkan sonuç birden fazla elemanlı bir vektör olmayıp tek bir sayıdır.

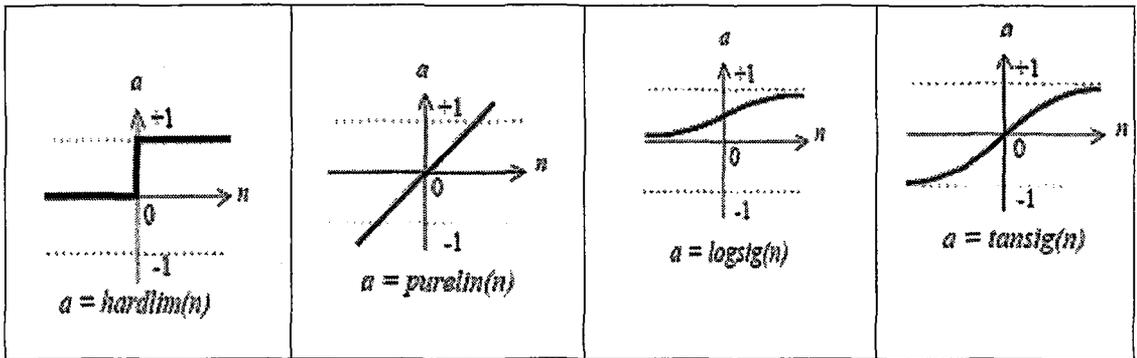
Geometrik olarak eğer iki vektörün yönü aynı doğrultuda ise bu iki vektörün çarpımı maksimum; eğer doğrultuları ters yöne ise çarpımları minimum olmaktadır. Toplama fonksiyonu girdi ve ağırlıkların toplamından daha karmaşık olabilmektedir. Girdi ve ağırlık katsayıları transfer fonksiyonuna geçmeden önce pek çok farklı şekilde bir araya gelebilmektedir. Basit çarpma ve toplama işlemine ek olarak, toplama fonksiyonu minimum, maksimum, çoğunluk, çarpım veya pekçok logaritmik fonksiyon olabilir. Girdi sinyallerinin toplama işlemi seçilen ağıın yapısına ve istenilen sonuca göre değişmektedir.

7.4.2.3. Transfer fonksiyonu (TF)

Toplama fonksiyonunun sonucu, transfer fonksiyonu olarak bilinen algoritmik bir işlemde geçerek bir çıktıya dönüştürülür. Transfer fonksiyonunda çıktıyı belirlemek için toplama fonksiyonunun toplam değeri bir eşik (treshold) değeri ile karşılaştırılır. Eğer toplam değeri eşik değerden büyük ise sistem bir sinyal üretir, eğer tersi durum söz konusu ise sistem sinyal üretmez. Her iki türlü tepki de önemli olmaktadır.

Transfer fonksiyonu kullanım amacına göre doğrusal veya doğrusal olmayabilir. Girdi değeri birebir çıktı olarak veren doğrusal transfer fonksiyonlarının kullanımı sınırlı olmaktadır. Doğrusal olmayan TF'ları çıkış değerlerini 0-1 veya -1,+1 aralığında vermektedir. Transfer fonksiyonu toplama fonksiyonu sonucunun pozitif veya negatif olmasına bağlı olarak çok basit olabilmektedir. YSA, çıktı olarak (0, 1), (+1, -1) veya farklı sayısal kombinasyonları, transfer fonksiyonu yapısına bağlı olarak üretebilir.

Transfer fonksiyonu hardlim (katı-limit), purelin (doğrusal), logsig (logaritmik), tansig (tanjant) gibi matematiksel fonksiyonlar içeren türlerde olabilmektedir. YSA'nda çok yaygınca kullanılan dört tip transfer fonksiyonu Şekil 7.10'da görülmektedir.



Şekil 7.10. YSA uygulamalarında sıkça kullanılan transfer fonksiyonları.

7.4.2.4. Ölçeklendirme ve sınırlama (Scaling ve limiting)

İşleme elemanının transfer fonksiyonundan çıkan sonuç, ölçeklendirme ve sınırlandırma gibi ilave bir fonksiyondan daha geçebilir. Ölçeklendirme, bir ölçek faktörünü transfer değeri ile çarpıp sonra bir öteleme (off-set) katar. Sınırlama ise ölçeklendirme sonucu ortaya çıkan değerlerin alt veya üst sınırı aşmaması için bir kontrol mekanizmasıdır.

7.4.2.5. Çıktı fonksiyonu

Her işleme elemanı diğer işleme elemanlarına girdi olacak şekilde bir çıktı sinyali üretir. Bu olay biyolojik sinir sistemindeki birçok girdinin bir çıktı üretmesine benzemektedir. Normal olarak, çıktı transfer fonksiyonunun sonucuna eşittir. Fakat bazı ağ yapılarında farklı işleme elemanları ile rekabeti sağlamak için transfer fonksiyonunun sonucu değiştirilir. Yapay sinir ağlarındaki nöronlar birbirleriyle rekabet edebilme yeteneklerine sahiptirler. Rekabet bir veya iki seviyede meydana gelir. İlk olarak, rekabet sonucu hangi yapay nöronun aktif olacağı belli olur ve sonra bir çıktı üretir. İkinci olarak, rekabet eden girdiler yardımıyla öğrenme işlemi hangi işleme elemanının gireceği belirlenir.

7.4.2.6. Hata fonksiyonu ve geri yayılım değeri

Pek çok yapay sinir ağlarında güncel çıktı (output) ile istenen çıktı (hedef) arasındaki fark hesaplanır. Bu ham hata belirli bir ağ yapısına uymak için hata fonksiyonu tarafından dönüştürülür. Bazı ağ yapıları bu hatayı olduğu gibi kullanmakta, bazıları da hatanın karesini veya kübünü veya kendi özel amaçlarına uyacak şekilde ayarlayıp kullanmaktadırlar. Yapay sinir nöronun hata payı, diğer işleme elemanının öğrenme fonksiyonuna doğru hareket eder. Bu hata payı bazen güncel hata olarak adlandırılır.

Güncel hata tipik olarak bir önceki katmana geri yönde yayılır. Fakat bu geri yayılan değer güncel hata, ölçeklendirilmiş güncel hata veya ağ tiplerine bağlı olarak istenen şekilde bir hata değeri olabilir. Normal olarak, bu geri yayılım değeri her dönüşten önce ağırlık değerlerinin ayarlanması için ağırlık değerleri ile çarpılır.

7.4.2.7. Öğrenme fonksiyonu

Bu fonksiyonun amacı, bazı yapay nöron tabanlı algoritmalara bağlı olarak her işleme elemanın girdisine bağlı bulunan ağırlıkları ayarlamaktır. Bu işleme aynı zamanda adaptasyon fonksiyonu veya öğrenme modu da denir. Denetimli ve denetimsiz olmak üzere iki türlü öğrenme modu bulunmaktadır. Denetimli öğrenme bir öğretmen gerektirir. Bu öğretmen bir eğitim seti veya ağ sonuçlarını değerlendiren bir gözlemci olabilir. Her iki durumda da bir öğretmene sahip olarak zorunlu bir öğrenme gerçekleştirilir. Harici bir öğretmen olmaması durumunda sistem ağının içinde tasarlanmış bazı dâhili kıstaslar ile kendi kendini organize eder. Buna kendi kendine öğrenme veya denetimsiz öğrenme adı verilir. Eğitim setleri gerekli tüm bilgileri içeren büyüklükte olmalıdır. Ağ, önemli olan bir yapıyı ve ilişkiyi eğitim setlerini eğitimden geçirerek öğrenir ve hafızasında tutar. YSA'ya sunulan test verilerini hafızasında eğitilmiş yapı ile karşılaştırarak istenen sonuçlara ulaşır.

7.4.3. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi

YSA ile çözülmesi istenen problem için ağ öncelikle bir eğitim veya öğrenme aşamasına tabii tutulur. Öğrenme esnasında ilk olarak gelişigüzel atanan tüm ağırlıklar ve eşik değerler çözüm için optimum hale getirilir. Eğitim esnasında elde edilen optimum ağırlıklar test aşamasında ağa sunulan yeni verileri test etmede kullanılırlar. Bu nedenle ağın eğitim seti ile doğru bir şekilde eğitilmesi ve test aşaması için hazır hale gelmesi gerekir. Eğitim aşaması ne kadar başarılı olursa test aşamasında o kadar başarılı olur.

7.4.3.1. Denetimli öğrenme

Yapay sinir ağlarının büyük çoğunluğu denetimli olarak eğitilir. Bu modda, YSA'nın ürettiği çıktı ile istenen çıktı mukayese edilir. İlk aşamada gelişigüzel atanan ağırlıklar her döngüde YSA tarafından ayarlanarak hedeflenen çıktıya ulaşmaya çalışır. Denetimli öğrenme yöntemi tüm işlemci elemanların hata paylarını en aza indirir. Genel hata oranı azaltımı girdi ağırlıklarının sürekli ayarlanmaları ile sağlanır.

Denetimli öğrenme ile yapay sinir ağlarının kullanışlı bir hale gelmesi için mutlaka eğitilmeleri gerekmektedir. Eğitmek, girdi ve çıktı verilerinin ağa tanıtılmasından oluşur. Bu veriler eğitim seti ve hedef olarak adlandırılır. Sisteme her girdi seti için karşılık gelen hedef çıktılar da sağlanır. Uygulamalarda gerçek veriler kullanılmalıdır. Eğitim safhası çok zaman alabilir. YSA istenen performans seviyesine ulaşıncaya eğitim tamamlanmış olmaktadır. Bu seviye istatistiksel olarak istenen seviyeye ulaşmanın göstergesidir. Daha ileri eğitim gerekmediği için, ağırlıklar tipik olarak dondurulurlar. Eğitim setleri önemli ilişkileri karakterize etmek için tüm gereken bilgiyi içerecek kadar geniş olmalıdır. Eğitim setleri geniş bir veri çeşitliliği içermelidir.

7.4.3.2. Denetimsiz eğitim

Bu tür öğrenme modunda kendi kendine öğrenme gerçekleşmektedir. Kendi kendine organize ağlar (SOM) bu türe bir örnektir. Bu tür ağlarda girdi ağırlıklarını etkileyen herhangi bir dış etki yoktur. Ağlar kendi performanslarını kendileri takip ederler. Bu tür ağlarda ağın fonksiyonu girdi sinyalinin düzenliliğine veya eğilimine bakarak çeşitli uyarlamalar yapar. Ağa neyin doğru yada yanlış olduğu tanıtılmadan, ağ kendi kendini nasıl organize edeceği hakkında bir bilgiye sahip olmalıdır. Bu bilgi ağın topolojisi ve öğrenme kuralları içinde bulunmaktadır. Bu modda öğrenme işlem elemanları arasında bir işbirliği (cooperation) ya da rekabet (competition) yoluyla gerçekleşebilir.

7.4.4. Geri yayılım ağı mimarisi ve algoritması

Karmaşık verilerin sınıflandırılmasında kullanılan etkin YSA modellerinden birisi, ilk olarak Werbos tarafından düzenlenen daha sonra Parker, Rummelhart ve McClelland tarafından geliştirilen geri yayılım ağıdır (Back Propagation Network). İlk uygulamaları yazılı metinden söz sentezi, robot kollarının kontrolü olmuştur. Bu model günümüzde en yaygın kullanılan öğrenimi kolay ve doğru sonuçlar veren bir YSA'dır. Yayınma (Propagate) ve uyum gösterme (Adapt) olmak üzere iki aşamada işlemleri gerçekleştiren bu GYA , katmanlar arasında tam bir bağlantının bulunduğu çok katmanlı (multilayer), ileri beslemeli (feed forward) ve denetimli (Supervised)

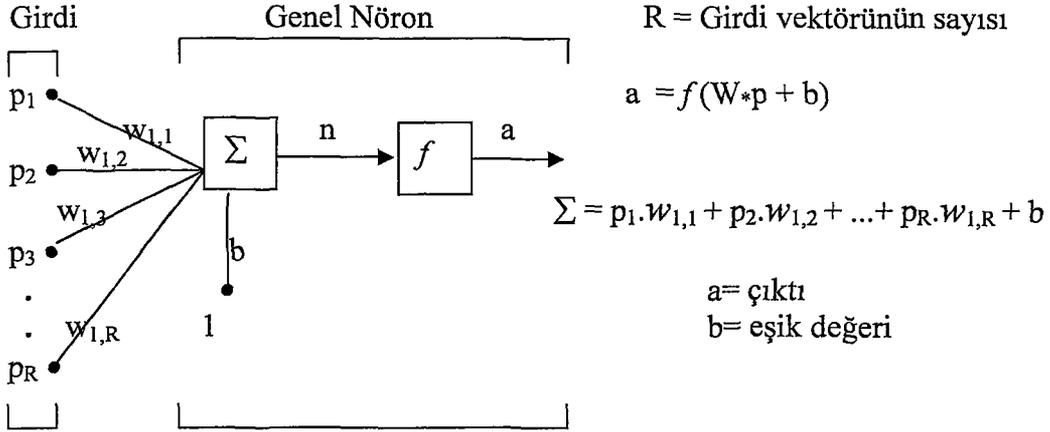
olarak eğitilen bir YSA modelidir. Geri yayılım algoritması bir çok uygulamalarda yaygınca kullanılmış anlaşılması kolay ve tercih edilen bir öğrenme algoritmasıdır. Geri yayılım adını, hataları çıkıştan girişe geriye doğru azaltmaya çalışmasından dolayı almıştır. Geri yayımlı öğrenme kuralı ağ çıkışındaki mevcut hata düzeyine göre herbir tabakadaki ağırlıkları yeniden hesaplayarak onları güncelleştirir. Bir geri yayımlı ağ modelinde giriş, gizli ve çıkış olmak üzere 3 katmandan oluşmakla birlikte, problemin özelliklerine göre gizli katman sayısını artırabilmek mümkündür.

Matlab V 6.5 programı geriyayılım algoritması Widrow-Hoff denetimli öğrenme kuralını genelleştirerek doğrusal olmayan transfer fonksiyonlu çok katmanlı ağlara uygulanması ile ortaya çıkarılmıştır. Girdi vektörler ile aranan hedef vektörler kullanılarak ağ eğitilir. Geriyayılım ağı eşik girdisi (bias), sigmoid katmanı ve doğrusal çıktı katmanı yapısıyla sonsuz sayıda problemi çözebilme kapasitesine sahiptir. Standard geriyayılım ağı eğim azalım (gradyant) algoritmasına sahiptir. Bu algoritma Widrow-Hoff öğrenme kuralında olduğu gibi ağ ağırlıkları, performans fonksiyonun gradyanının tersi yönünde hareket eder (Demuth and Beale 2002). Bu incelemede sıvılaşma analizi için Matlab editöründe eğitim düşümü tipi geri yayılım öğrenme algoritması yazılmış, veriler ile eğitilip, test için gerekli parametreler elde edilmiştir. Bu algoritma dereceli azalma algoritması olup çok katmanlı ağ yapılarını eğitmede kullanılmaktadır. Temelde istenilen çıkış ile ağ çıkışı arasındaki hatanın ağırlıklara bağlı olarak düşünülmesi prensibine dayanır (Sağiroğlu ve diğ. 2003).

7.4.4.1. Yapay nöron modeli

Geri Yayılım Algoritması (GYA), çok katmanlı ileri doğru beslemeli ağlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kısımda bu ağların mimarisi tanıtılmaktadır. Çok katmanlı ağ yapısı tanıtılmadan önce YSA'nın temel elemanlarından biri olan yapay nöron modeli tanıtılmaktadır. Yapay sinir ağlarının en temel elemanı işlem elemanı olarak nitelendirilen yapay nöronlardır. Yapay nöronlar bir araya gelerek YSA' larını oluştururlar. R sayıda girdiye sahip temel yapay nöron Şekil 7.11'de görülmektedir. Her girdi elemanına uygun bir w ile ağırlık değeri verilir. Ağırlıklı girdilerin toplamı ve eşik değeri (bias, $b=1$), transfer fonksiyonuna (f) girdiyi oluştururlar (n). Nöronlar

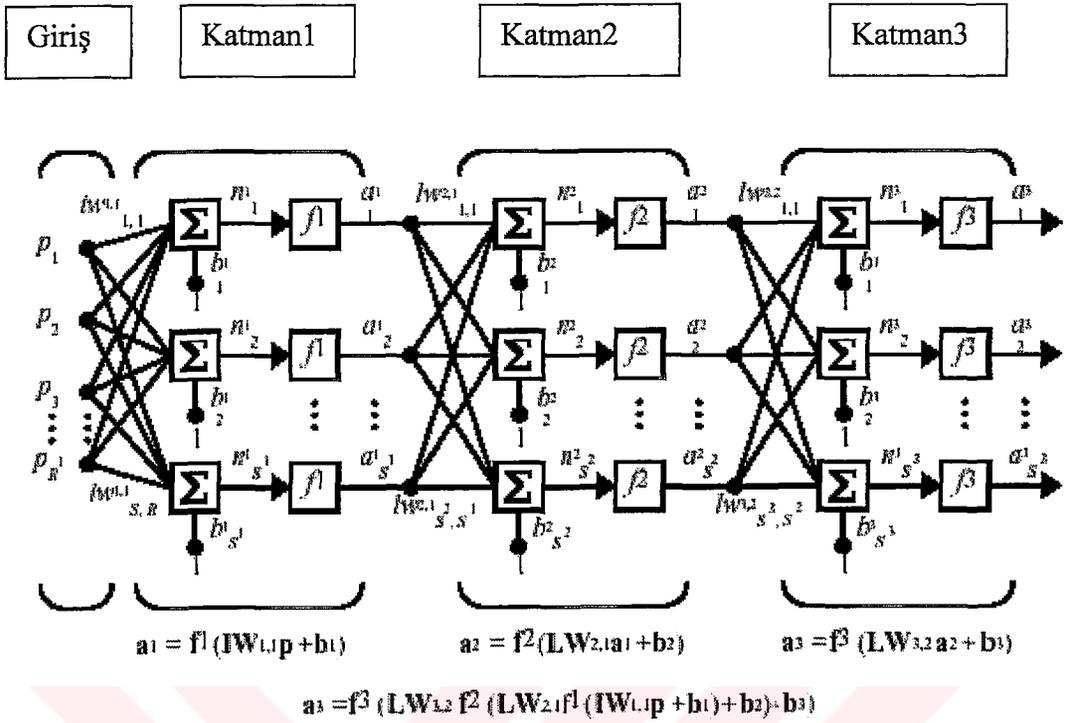
türevi alınabilen herhangi bir transfer fonksiyonu (f) kullanarak sistem için çıktı üretirler.



Şekil 7.11. Yapay nöron modeli.

7.4.4.2. Çok katmanlı ileri beslemeli ağ yapısı

Mühendislik problemlerinin çözümlerinde ve uygulamalarında en çok kullanılan yapay sinir ağı modelidir. Bu yapıdaki bir ağda bir giriş, bir veya daha fazla (gizli) ve bir de çıkış katmanı yer almaktadır (Şekil 7.12). Her katmanda bir veya daha fazla yapay nöron (işlem elemanı) bulunabilir. Genellikle log-sigmoid (logsig) ve tanjant-sigmoid (tansig) transfer fonksiyonları kullanılır. Log-sigmoid fonksiyonu, kendisine ulaşan $+\infty$ ve $-\infty$ aralığında olan net girdiyi (n) 0 ve 1 aralığında çıktılara dönüştürür. Bu fonksiyona alternatif olarak tanjant-sigmoid (tansig) transfer fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyon $+1$ ile -1 arasında çıktılar üretir. Bazı durumlarda doğrusal (purelin) transfer fonksiyonu kullanılmaktadır. Eğer çok katmanlı bir ağda son katman sigmoid nöronu ise ağın çıktıları küçük bir aralıkta oluşur (0-1). Son katmanda, doğrusal nöronlar kullanılırsa ağın çıktısı her değeri alabilir. Yukarıda bahsedilen üç transfer fonksiyonu GYA en yaygın kullanılan transfer fonksiyonlarıdır. Fakat uygulanan modelin yapısına ve istenen sonuca göre daha farklı transfer fonksiyonları kullanılabilir. Bu incelemede çok katmanlı ileri beslemeli bir ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 7.12. Çok katmanlı bir YSA'nın genel yapısı (Demuth and Beale, 2002).

7.4.5. YSA ile yapılan sıvılaşma çalışmaları

Yapay sinir ağları, geçmişten günümüze pek çok alanda kullanılmıştır. Mühendislik uygulamaları bu alanlardan biri olmuştur. İnşaat ve jeoloji mühendisliğinde sıvılaşma olgusunun belirlenmesinde 1990'lı yılların başından itibaren günümüze kadar giderek artan bir şekilde kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağları ile yapılan ilk çalışmalardan birisi Tung et al (1993) tarafından gerçekleştirilmiştir. Tangshan depreminde ($M_w=7.5$) iki bölgenin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde yapay sinir ağları yöntemini kullanmışlardır. Bu çalışmada 1976 Tangshan depreminde Tangshan ve Xing Xiang şehirlerinde ve civarlarındaki alanlardan elde edilen jeoteknik veriler kullanılmıştır. Her iki şehrin veri seti;

- 1) Yerel şiddet
- 2) Yeraltı su seviyesi
- 3) Sıvılaşma riski taşıyan zemin tabaka derinliği
- 4) SPT N_{30} değerleri
- 5) Sıvılaşmanın meydana gelip gelmediğini içermektedir.

Tangshan veri tabanındaki 81 sondaj kuyusu sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Bu kuyulardan gelişigüzel şekilde seçilmiş olan 41'i YSA modelini eğitmede, 40'ı da test edilmesinde kullanılmıştır. Bu amaç için YSA modeli yapısı;

- Geri yayımlı ağ
- 1 girdi katmanı (4 girişli)
- 1 gizli katman (6 yapay nöronlu)
- 1 çıktı katmanı
- Hiperbolik tanjant transfer fonksiyonu (tansig)
- Normalize edilmiş kümülatif delta kuralı (hata hesabı için) ile oluşturulmuştur.

Xing Xiang veri tabanı 69 sondaj kuyusu ile yapay sinir ağı modeli tarafından test edilmiştir. Yapay sinir ağları ile yapılan testler sonucunda Tangshan şehri deprem verileri % 98, Xing Xiang ise % 85,5 oranında başarılı olmuştur. Başarı ile kastedilen, arazide sıvılaşma olan veya olmayan kısımların koşullarına göre YSA'nın da aynı sonucu belirtmesidir. YSA modelini gerçekleştiren program C programlama dilinde yazılmıştır. Ayrıca, YSA ile elde edilen sıvılaşma sonuçları Çin Halk Cumhuriyeti'nde kullanılan Çin Sismik Kodu sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Goh (1994) yapay sinir ağları ile sismik sıvılaşma riskini değerlendirmiştir. Sismik ve zemin parametreleri arasındaki karmaşık ilişkiyi modellemede YSA kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmada Goh, basit bir geri yayılım ağı algoritması kullanmıştır. Model gerçek arazi verileri kullanılarak eğitilmiştir. YSA modelinin performansı girdi değişkenlerinin sayısı arttırıldıkça daha iyi olmuştur. Sekiz girdi değişkeninden oluşan model en başarılı sonuçları vermiştir. Bu sekiz girdi; SPT değeri, ince tane oranı, ortalama tane boyu (D_{50}), eşdeğer dinamik kayma gerilesi (τ_{av} / σ'_o), toplam düşey yük (σ_o), efektif gerilme (σ'_o), depremin büyüklüğü (M) ve en büyük yatay ivme değişkenlerinden meydana gelmektedir. Bu değişkenler arasında en önemli girdiler SPT ve ince tane içeriği olarak belirlenmiştir. YSA ile elde edilen sonuçların standart sıvılaşma analiz yöntemi ile elde edilen sonuçlardan daha güvenilir olduğu belirtilmiştir.

CPT sismik sınılaşma verilerinin YSA modellemesi çalışması Goh (1996) tarafından gerçekleştirilmiştir. CPT ile elde edilmiş arazi verilerinden sınılaşma potansiyeli, YSA kullanılarak ortaya konmuştur. Geri yayılım ağı algoritması ile gerçek sınılaşma verileri modellenmiştir. Bu çalışma YSA' nın birbirleriyle karmaşık ilişkileri bulunan sismik parametreler, zemin parametreleri ve sınılaşma potansiyelini başarılı bir şekilde modelleyebildiğini ortaya koymuştur. YSA modeli standart sınılaşma yöntemlerinden daha pratik ve güvenilir olduğu ve daha fazla veri elde edildiğinde YSA eğitim ve test etme verileri güncellenerek sınılaşma potansiyelinin daha detaylı bir şekilde ortaya konulabileceği belirtilmiştir.

Diğer bir YSA ile sınılaşma değerlendirilmesi Ural and Saka (1998) tarafından gerçekleştirilmiştir. Zeminlerin sınılaşma potansiyeli üzerinde zemin ve sismik değişkenlerin etkisi hesaplama ve bilgi tabanlı yapay sinir ağları (YSA) ile araştırılmıştır. Geri yayılım ağı öğrenme algoritması kullanılmıştır. Bu yöntem deneysel ve arazi verilerini değerlendirmede gelişen bir hesaplama tekniğidir. YSA gerçek arazi verileri kullanılarak eğitilmiştir. Ağ modellerinin performansı zemin ve sismik parametrelerin değiştirilmesi ile araştırılmıştır. Sınılaşma potansiyelini en etkili ve global olarak değerlendiren model ve sınılaşmayı etkileyen en önemli girdi parametreleri sunulmuştur. İleriye dönük sınılaşma tahmin çalışması İzmir için yapılmıştır. YSA yaklaşımı ile standart sınılaşma sonuçları birbirleriyle mukayese edilmiştir.

Siyahi ve Anagün (1998), sismik sınılaşma potansiyelinin YSA ile belirlenmesini incelemişlerdir. Araştırmada yapay sinir ağlarının zeminlerin sismik sınılaşma potansiyelini belirlenmesinde getirdiği yenilikler ortaya konulmuştur. Sınılaşma potansiyelinin belirlenmesinde geri yayılım ağı modeli kullanılmıştır. Model için 1891–1992 yılları arasında 18 değişik deprem veri seti kullanılmıştır. Deprem ve zemin özelliklerini temsil eden Goh (1994) modeli kullanılmıştır. Türkiye'de 1.derece deprem kuşağında yeralan Gümüşova-Gerede otoyolu boyunca yapılan 28 sondaj verileri de değerlendirmeye alınmıştır. YSA modeli sonuçları Seed & De Alba ve Tokimatsu & Yoshima'nin önerdiği sınılaşma analizi yöntemleri ile de mukayese edilmiştir. 18 deprem verisi ile YSA modeli eğitilmiş ve 28 Gümüşova-

Gerede sondaj verisi test edilerek sivilaşma potansiyeli sivilaşma yok, düşük (sınırlı) sivilaşma, orta sivilaşma ve yüksek sivilaşma olarak ortaya konmuştur.

Kocaeli Depreminin jeoteknik özellikleri incelemesinde yapay sinir ağları yaklaşımı Ural (2000) tarafından kullanılmıştır. 17 Ağustos 1999' da meydana gelen Kocaeli Depremi, yoğun yerleşim alanları ve endüstriyel alanları etkilemiş ve 120 km' lik bir kırılma meydana getirmiştir. $M_w=7.4$ ' lük bu depremin jeoteknik etkileri arasında çökme, heyelanlar, yatay yayılma, sivilaşma ve farklı oturma deformasyonları bulunmaktadır. Bu depremde, Adapazarı yerleşim alanında sivilaşmaya bağlı yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Ural (2000) çalışmasında Adapazarı sivilaşma oluşumlarını değerlendirmek için bilgiye dayanan yapay sinir ağları yaklaşımını depremden önceki araştırmalardan elde edilen zemin parametreleri, analizleri gerçekleştirmede kullanılmıştır ve depremden sonra kaydedilen zemin parametreleri ile de karşılaştırılmıştır.

Chi-Chi ($M_w=7.6$, 1999) Depreminde Yuan-Lin Bölgesinde sivilaşmanın tahmini için Chern et al (2002) Fuzz-Art YSA kullanmıştır. Bu çalışmada adaptif rezonans teorisine (ART) dayanan ve bulanık set teorisi ile birleştirilmiş bulanık (Fuzzy) Adaptif ağ (Fuzz-ART) geliştirilerek Yuan-Lin bölgesinde Chi-Chi Depreminde meydana gelmiş sivilaşma değerlendirilmiştir. Önerilen sistem geri yayılım ağı algoritması için yapısal öğrenmeyi birlikte kullanmaktadır. Eldeki veriler kullanılarak elde edilen sivilaşma tahmini için iyi sonuçlar elde edilmiştir. Daha fazla veri ile sivilaşma potansiyelinin daha iyi belirlenebileceği belirtilmiştir.

Mekanik öğrenme (ML) nin bir alt kolu olan yapay sinir ağları ile yapılan daha önceki sivilaşma potansiyeli çalışmalarını inceleyen Barai (2003), sivilaşma potansiyelini değerlendiren sistematik bir ML sınıflayıcı modeli önermiştir. Bu çalışmada Tung et al (1993) tarafından kullanılan 1976 Tangshan ($M_w=7.5$) deprem verileri geri yayımlı bir yapay sinir ağ modeli ile sivilaşma analizi için eğitilmiş ve test edilmiştir. Modelin performansı, bu incelemede elde edilen sonuçlar ile Tung et al (1993) sonuçlarının karşılaştırılması ile ölçülmüştür.

7.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS), bilgisayar ortamında yeryüzü referanslı verileri toplayan, depolayan, kontrol eden, işleyen, analiz eden ve görüntüleyen bir sistemdir. CBS, coğrafya ile ilgili grafik ve grafik olmayan verilerin kullanıcı ihtiyaçlarını karşılayacak biçimde çeşitli kaynaklardan toplanması, depolanması, işlenmesi, analiz edilmesi, yönetilmesi ve sunulması görevlerini yerine getiren donanım ve yazılım bileşenlerinden oluşan bir organizasyondur.

CBS ve mekânsal veri tabanlarının kullanımı büyük ölçüde yaygınlaşarak, gerçek hayattaki karmaşık problemlerin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri birçok disiplinle ilişkilidir. Bu disiplinler arasında bilgisayar, veri yönetimi, kartografya, jeodezi, fotogrametri, uzaktan algılama, veri iletişimi ve mekanla ilişkili verileri işleyen diğer tüm disiplinler sayılabilir.

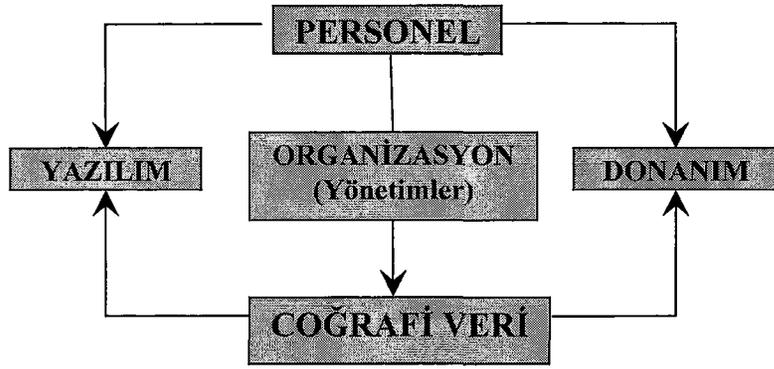
Değişik verilerin bir tek haritada toplanması ve haritanın yorumlanması, tüm verilerin birden çok haritaların bileşkesi olarak ortaya çıkması zor olmaktadır. Verilerin çokluğu, analiz ve modelleme işlemlerinde kullanılan formüllerin karışıklığı bu tür çalışmalarda CBS yönteminin kullanılmasını gerektirmektedir.

7.5.1. Coğrafi bilgi sistemlerinin bileşenleri

Coğrafi Bilgi Sistemlerine fonksiyonel, teknolojik ve yönetim açılarından bakıldığında farklı bileşenlerden oluştuğu görülür. Fonksiyonel açıdan bakıldığında bir CBS' de veri aktarma, veri toplama, veri işleme, coğrafi analiz ve veri sunma bileşenlerinden oluşmaktadır. Teknolojinin rolü ise bu fonksiyonların gerçekleştirilmesini sağlayan donanım ve yazılım araçlarını sağlamaktır. Yönetim ise fonksiyonel ve teknolojik bileşenlerle insan ve mali kaynakların yönetimini birleştirip bir bütün oluşturmayı ve amaca ulaşmayı hedefler.

Genel olarak bir CBS' nin kurulabilmesi için gerekli elemanlar (Şekil 7.13);

- Coğrafi Veriler,
- Coğrafi Bilgi Sistemi Donanımı,
- Coğrafi Bilgi Sistemi Yazılım Bileşenleri,
- Coğrafi Bilgi Sistemi Personeli,
- Organizasyondan (Yönetimlerden) oluşmaktadır.



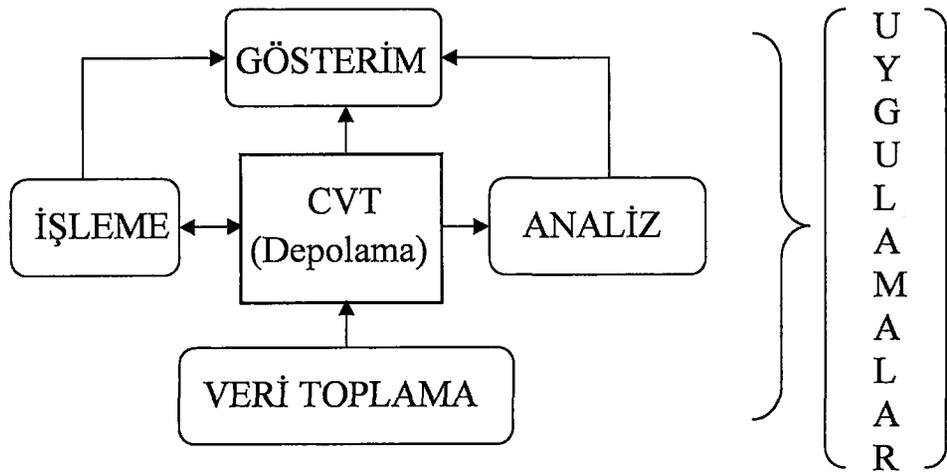
Şekil:7.13. CBS kurulabilmesi için gerekli temel elemanlar.

7.5.2. Coğrafi Bilgi Sisteminde Temel Fonksiyonlar

Bir Coğrafi Bilgi Sisteminin temel fonksiyonları;

- Veri Depolama (Coğrafi Veri Tabanı, CVT),
- Veri İşleme,
- Veri Toplama,
- Veri Analizi,
- Veri Sunuşu (Gösterimi) olarak tanımlanabilir.

CBS'nin temel fonksiyonlarına dayalı CBS'nin temel yapısı Şekil 7.14'te görülmektedir.



Şekil 7.14. CBS' nin temel yapısı.

CBS' nin temel fonksiyonlarından coğrafi veri toplama, depolama ve işleme fonksiyonları, coğrafi veri tabanının oluşturulmasına yöneliktir. Bu fonksiyonlar kullanılarak, grafik ve grafik olmayan veriler bilgisayar ortamına aktarılır, gerekli düzeltmeler yapılır, gerekli koordinat/projeksiyon/datum dönüşümleri ile yapılandırılır, aralarındaki mantıksal ve topolojik ilişkiler kurulurak sonuçta coğrafi veri tabanı kullanıma hazır duruma gelir. Oluşturan coğrafi veri tabanı amaca ve uygulama alanına göre kullanılarak CBS' de analiz edilir. Analiz sonrası elde edilen sonuçlar ile coğrafi veriler, bilgisayar ortamında görüntü veya kâğıt çıktı olarak elde edilir.

7.5.2.1. Veri toplama

Pek çok alanda giderek yaygınlaşan CBS uygulamaları için coğrafi veriye ihtiyaç vardır. Bu verilerin toplanması, veri kaynaklarına bağlı olarak değişik teknolojiler kullanılarak, değişik yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Kullanılan yöntemlerde veri toplama işlemi zaman ve maliyet açısından CBS projelerini oldukça etkiler. CBS için veri toplama, bir coğrafi bilgi sistemi için gerekli grafik ve grafik olmayan bilgilerin ilişkili, tutarlı ve anlamlı bir küme olarak derlenmesi ve sayısallaştırılması olarak tanımlanabilir.

7.5.2.2. Coğrafi veri

Yeryüzü üzerinde veya yakınında belli bir anlama sahip somut ya da soyut herşey coğrafi varlıktır. Coğrafi veri, bir coğrafi varlığa ilişkin bilgidir. Coğrafi varlık belli bir konumu ve biçimi olan somut ya da soyut, doğal ya da insan yapısı olan eserlerdir. Jeolojik bir formasyon, bina, bir yol, ağaçlık alan, belediye sınırı, nüfus yoğunluğu hep birer varlıktır.

Toplanacak coğrafi veriler üç grupta ele alınabilir;

- Konum verileri
- Öznitelik verileri
- Topolojik veriler

Konum verileri coğrafi varlığın (detayın) belli bir referans sisteminde yerini ve biçimin belirten koordinat veya piksel değerlerdir. Konum ve biçim bilgisi iki boyutlu olabileceği gibi üç boyutlu da olabilir. Geometrik veri olarak da adlandırılmaktadır. Bilgisayar belleğinde ve depolama birimlerinde vektör (çizgisel) veya raster (grid, piksel) formatında temsil edilirler.

Öznitelik veriler ise konuma bağlı olmayan, doğrudan detaya bağlı ve detayı tanıttıcı, örneğin jeolojik formasyonun yaşı, ormandaki ağaç cinsi, akarsuyun debisi, parselin sahibi gibi verilerdir. Öznitelik bilgileri sayısal veya sözel karakterde olabilir. Öznitelik bilgilerinin bilgisayar depolama birimlerinde temsil edilmesinde klasik bilgisayar kodlama yöntemleri kullanılır. Topolojik veriler ise detaylar arasında ölçülebilir olmayan (non-metrik) uzaysal ilişkileri belirler. Komşuluk, çakışıklık, içermeye, bağıntı gibi ilişkileri ifade eder. Topolojik verilerin CBS ortamına aktarılmış olan konum verilerinin analizi ile türetilmesi daha uygundur.

7.5.2.3. Veri kaynakları

Coğrafi veriler, bilgi sistemine aktarılmadan önce buldukları ortama ve kaynaklarına göre sınıflandırılabilir. Coğrafi veri toplama yöntemi ve teknolojisini belirleyen en önemli etken verinin kaynağıdır. Başlıca coğrafi veri kaynakları beş ana grupta toplanmaktadır (Tablo 7.3).

Tablo 7.3. Coğrafi veri kaynakları.

KAYNAK GRUBU	KAYNAK CİNSİ
Mevcut Harita ve Dökümanlar	1.Çizgisel Haritalar 2.Tematik Haritalar 3.Grafik Çizimler (Bilgisayar Destekli Tasarım ve Çizim Ürünleri) 4.Ortofoto haritalar 5.Dökümanlar
Fotoğraf ve Görüntüler	6.Hava Fotoğrafları 7.Yersel fotoğraflar 8.Uzaktan Algılama Görüntüleri
Algılayıcı verileri	9.Uydudan Algılanan Veriler 10.Airbone Algılama Verileri
Arazi Verileri	11.Klasik Ölçme Aygıtları 12.Manyetik Ortamda Arazi Ölçümleri 13.GPS Ölçümleri
Hazır Sayısal Coğrafi Bilgiler	14.Standart Formatta Sayısal Coğrafi Bilgi Kütükleri (off-line) 15.On-line Bağlantılı Diğer Coğrafi Bilgi sistemleri

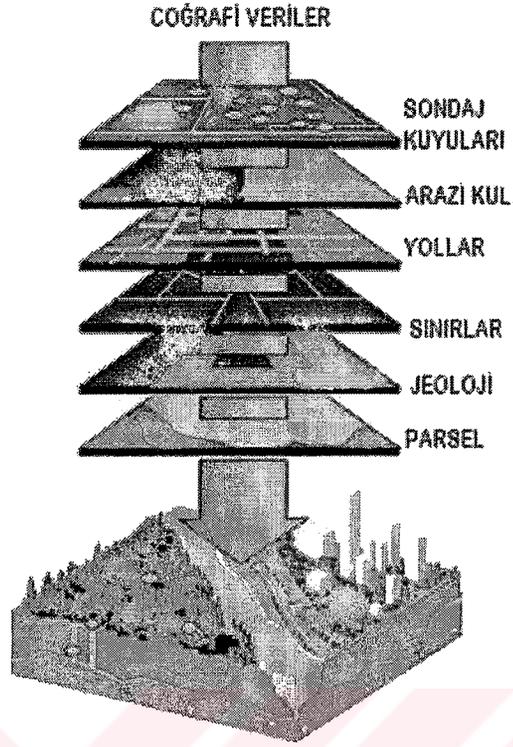
7.5.2.4. Coğrafi veri toplama yöntemleri

Coğrafi veri toplama yöntemleri, kaynak materyal cinsine, kaynak materyali bilgisayarca okunabilir ortama dönüştürme teknolojisine ve sonuçta ürettiklerinin yapısına göre gruplandırılır. Bu yöntemleri birbirinden ayıran en önemli belirleyici unsur bilgisayarca okunabilir ortama dönüştürülürken kullanılan tekniktir. Bu teknik veri kaynağının cinsine göre değişir. Buna göre coğrafi veri toplama yöntemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

- Sayısallaştırma (elle sayısallaştırma ve otomatik çizgi izleyerek)
- Tarama
- Video kayıt
- Uzaktan algılama
- Fotometrik kıymetlendirme
- Coğrafi verilerin doğrudan arazide toplanması (Arazi ölçümleri ile)
- Alfasayısal bilgi girişi
- Sayısal coğrafi bilgi kütüğü ithali.

7.5.2.5. Veri depolama

Gerek grafik gerekse grafik olmayan veri girişleri “katmanlar” halinde gerçekleştirilir. Katman (layer), aynı geometrik özelliğe (nokta, çizgi, alan) ve ortak tanımsal özelliklere sahip detayların tümüdür. Belli bir bölgeye ait grafik ve grafik olmayan bilgiler katmanlar halinde bilgisayar ortamına girilir (Şekil 7.15). İlişkisel veri modeline de uygun olan bu katmanlama yaklaşımı hem görüntüleme işlerinde hem de katmanların üst üste çakıştırılması (overlay) ile analiz işlemlerinde büyük kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 7.15. CBS'inde katman yapısı.

Coğrafi veri giriş yazılımları ile girilen ve daha sonra veri düzeltme yazılımları ile hatalardan arındırılan coğrafi veriler, belli bir veri tabanı modeline uygun şekilde coğrafi veri depolama tekniklerinden biri kullanılarak bilgisayar ortamında (veri tabanında) depolanır.

7.5.2.6. Coğrafi veri tabanı

Coğrafi veri tabanı farklı uygulamalarda kullanılmak üzere depolanmış, birbirleri ile ilişkili, yapısal olarak düzenlenmiş verilerden oluşan bir yığındır. Veri tabanı, veri kütüklerinden oluşur. Veriler, verileri kullanan programlardan bağımsız olacak şekilde depolanmıştır. Yeni veri eklenmesinde ve veri tabanında mevcut verilerin elde edilmesi ve değiştirilmesinde ortak, kontrollü bir yaklaşım uygulanmaktadır.

Veri tabanı belli bir veri modeline uygun olarak kurulur. Veri modeli, gerçek dünyadaki varlıklar, olaylar ve bunlar arasındaki ilişkiler hakkında verilerin temsil edilmiş şeklidir. Varlıklar ve olayların kendi içinde ve karşılıklı olmak üzere üç çeşit

ilişki bulunmaktadır. Bire-bir ilişki (1:1), bire-çok ilişki (1:M), çoka-çok ilişki (M:N).

Coğrafi veri tabanı ise belli bir coğrafi veri yapısına göre, topolojik kenar-düğüm veri yapısına göre yapılandırılmış, grafik ve grafik olmayan verilerin bir “ Veri Tabanı Yönetim Sistemi” kontrolünde depolanabildiği, sorgulanabildiği, değiştirebildiği ve silinebildiği tutarlı ve anlamlı bir coğrafi veri kümesidir. Coğrafi veri tabanları, CBS’ nin çekirdeğini oluşturur. Bir coğrafi veri tabanından hangi coğrafi ürün veya ürünler elde edilecekse, grafik ve grafik olmayan bilgiler buna göre saptanır. Coğrafi veri tabanının klasik bir veri tabanından en önemli farkı, varlıkların diğer bilgilerine ek olarak konuma bağlı (spatial) bilgilerinin de veri tabanında tutulmasıdır. Bu nedenle bir coğrafi veri tabanında bilgiler konuma bağlı olan (grafik) ve olmayan (non-grafik) şeklinde gruplandırılmaktadır.

7.5.2.7. Veri sunuşu

Veri sunuşu, CBS’ den bilgiyi kullanıcıya veya bilgisayara uygun bir şekilde sunulması işlemidir. Veri sorgulama ve analizi safhalarında elde edilen sonuçların, kullanıcı tarafından anlaşılabilir bir formatta veya başka bir bilgisayar sistemine veri transferine imkân tanıyacak şekilde sunma işlemidir. Kullanıcılar için uygun çıktılar; harita, grafik ve tablolar şeklindedir. Bilgisayarın anlayabileceği çıktılar ise başka bir sistemde okunabilir şekilde olan sayısal (elektronik veri) formatlarıdır içerebilir. Sunulan veriler üç şekilde olabilir;

- **Kalıcı (hardcopy):** Sürekli gösterim anlamındandır. Bilgiler; kâğıt,mylar, fotoğrafik film veya benzeri materyaller üzerine basılır.
- **Geçici (softcopy):** Bilgisayar ekranında görülen çıktıdır. Kullanıcıya etkileşimli olarak kullanım sağlama ve sonuç çıktıdan önce verileri gözden geçirme olanağı sağlaması bakımından kullanılır.
- **Elektronik:** Bilgisayarın anlayabileceği kütüklerden oluşur. Bu tür çıktılar veriyi başka bir yerde kalıcı çıktı elde etmek için aktarmada kullanılır.

7.5.3. Bu incelemede CBS

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); veri toplama, depolama, güncelleme, görüntüleme ve harita üretimi amaçlı kullanılmıştır. Bu kapsamda 1/5000 ve 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları, yeraltı su seviyesi değişim haritası, jeomorfolojik harita, sondaj noktalarının coğrafik dağılımı, su bölüm hattı ve akarsu ağı, tarihsel ve aletsel depremlerin noktasal gösterimi, sayısal yükseklik modeli ve zemin sıvılaşmasından dolayı oluşabilecek oturmaların dağılımı CBS dahilinde oluşturulmuştur. CBS' yi uygulamak amacıyla ESRI, ArcView 3.1 ve ArcGIS 8.1 programları kullanılmıştır.

Tarihsel ve aletsel depremler çeşitli kaynaklardan derlenerek tablolar şeklinde CBS' ye aktarılmıştır. Aktarılan depremler Marmara Bölgesinde tarihsel ve aletsel depremlerin noktasal dağılımını göstermiştir.

Jeolojik ve jeoteknik amaçlı zemin araştırma raporlarından elde edilen sondaj kuyularının konum ve öznitelik verileri bir veritabanında toplanmıştır. Bu veritabanı CBS ortamına aktarılarak sondaj kuyularının İzmit Havzası içinde coğrafik dağılımı ortaya konmuştur.

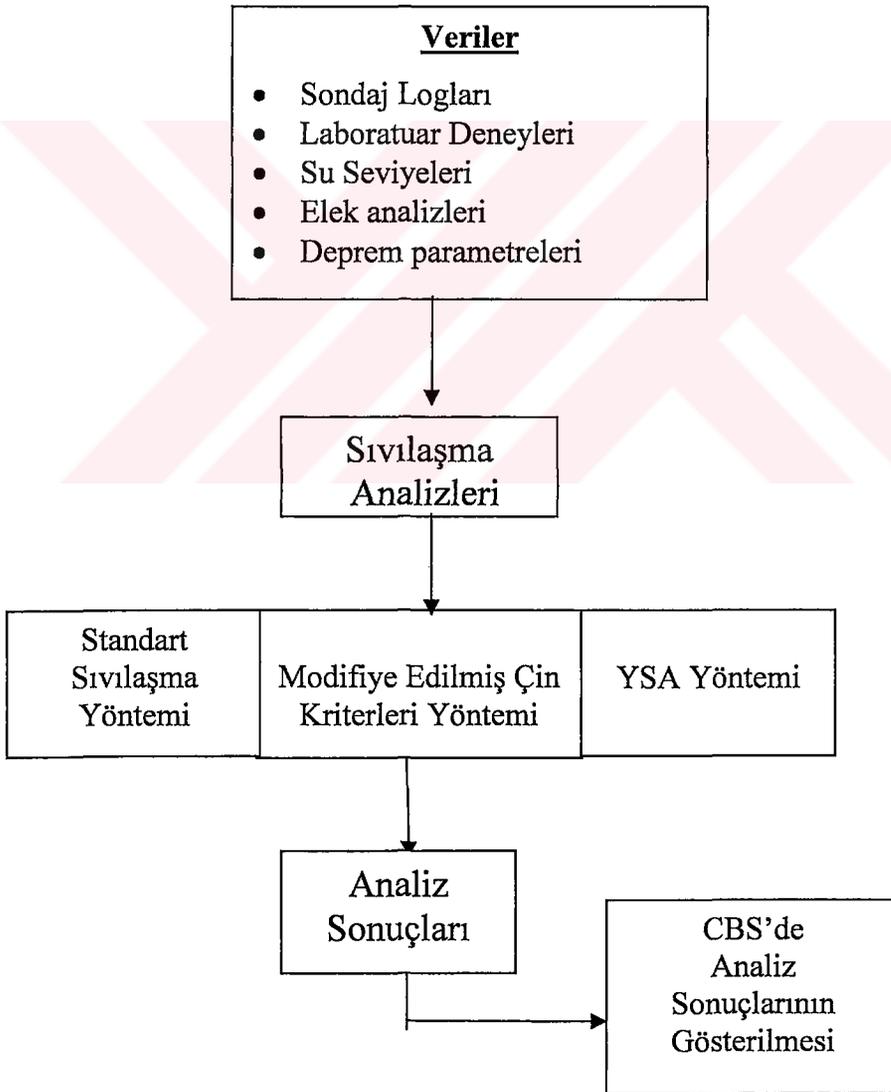
Havza dahilinde belediye sınırları içinde kalan alanda 1/5.000'lik jeoloji haritaları pafta bazında oluşturulmuştur. Arazi çalışmalarında havza içinde kaydedilen GPS noktaları CBS ortamına aktarılarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi Fay haritası oluşturulmuştur. 1/25.000'lik sayısal topoğrafik haritalar yardımıyla İzmit Havzası ve civarının 3D (üç boyutlu) sayısal yükseklik ve morfolojik modeli çıkartılmıştır. İzmit Havzası'nda tespit edilen su kuyuları GPS el alıcısı ile kaydedilip CBS ortamına aktarılarak nokta bazında bir katman oluşturulmuştur. Su kuyularının ölçülen aylık değerleri öznitelik tablosuna kaydedilmiştir. Bu veriler kullanılarak İzmit Havzası YAS genel durumu ve akış yönü çizilmiştir. İzmit Havzası akarsu ağı, beslenme havzası ve su bölüm hattı oluşturulmuştur. Bunun için UTM koordinatlarına oturtulmuş Kocaeli İli uydu görüntüsü ve 1/25.000 ölçekli sayısal haritalar kullanılmıştır. 1/25.000 ölçekli kağıt çıktı haritalar derelerin bilgisayar ortamında çizilmesinde referans olarak kullanılmıştır. CBS ortamında MTA'nın hazırlamış olduğu 1/25.000 ölçekli sayısal jeoloji haritalarından İzmit Havzası kısmı

kesilip alınmış ve düzenlenerek bu araştırmada temel jeoloji haritası olarak kullanılmıştır. Kocaeli ve Düzce Depremlerinin kırıkları CBS programları kullanılarak çizilmiş, Marmara Bölgesi aletsel dönem depremleri ve 1999 Kocaeli ve Düzce Depremleri artçı şokları haritalarında gösterilmiştir. 1999 Kocaeli ve Düzce Depremleri artçı şoklarının Marmara Denizi-Bolu/Düzce arasındaki dağılımlarının noktasal görüntüsü CBS ile oluşturulmuştur.



BÖLÜM 8. SIVILAŞMA ANALİZ UYGULAMALARI

Bu bölümde inceleme kapsamında kullanılan yöntemlerin uygulama safhaları açıklanmaktadır. Şekil 8.1 uygulanan yöntemlerin akış diyagramını göstermektedir. Aşağıda sırası ile standart sivilaşma, modifiye edilmiş Çin Kriterleri ve YSA ile sivilaşma analizlerinin uygulamaları anlatılmaktadır.



Şekil 8.1. Uygulanan yöntemlerin akış şeması.

8.1. Standard Sıvılaşma Analiz Uygulaması

Standard sıvılaşma analizleri LiquefyPro (CivilTech 2002) bilgisayar programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Program sıvılaşma analizini Seed and Idriss (1971)'de ortaya koydukları CSR ve SPT N_{30} değerlerinden hesaplanan CRR yaklaşımını temel almaktadır. Program ayrıca CPT ve BPT ile CRR hesaplayarak sıvılaşma analizi gerçekleştirmektedir. İzmit Havzası iri taneli zeminlerinin CRR katsayıları SPT N_{30} değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. İncelemenin bu kısmında SPT N_{30} değerleri ile sıvılaşma analizleri yapılmıştır.

8.1.1. Uygulamada kullanılan veriler

Bu yaklaşımda sıvılaşma analizi için gerekli veriler;

- SPT N_{30} değerleri,
- YAS seviyesi,
- Depremin büyüklüğü ve ivmesi,
- Zemin tabakalarının γ_n ve ince tane oranı (FC),
- Zeminlerin USCS' deki sınıfları,
- Zemin derinlikleri olmaktadır.

8.1.2. Yöntemin uygulanması

Bu yaklaşımda suya doygun kumlu ve çakıllı zeminlerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilir. Program sıvılaşma analizini her sondaj logu için ayrı ayrı yapmaktadır. Bunun için kumlu zeminleri içeren sondaj logları belirlenerek bu kuyulardaki zeminlerin sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşmadan kaynaklanan oturmalar hesaplanır. Tamamıyla killi zeminlerden oluşan sondaj logları sıvılaşma potansiyeli taşımadığı için bu kuyulara sıvılaşma analizi uygulanmamıştır. Program, verilerin girildiği iki kısımdan meydana gelmiştir. Birinci kısım için gerekli girdiler; 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) olmaktadır. Programın ikinci kısmı zemin profili kısmı olup sondaj logundaki

zemin profili bilgileri programa tanıtılır. Bu bilgiler her zemin için başlangıç derinliği, birleştirilmiş zemin sınıflamasındaki zeminin sınıfı ve zemin hakkında logdaki tanımlamalardır. Bu yaklaşımda program depremin büyüklüğüne, ivme değerine, toplam ve efektif gerilmelere ve r_d katsayılarına göre CSR'yi hesaplar (Bkz. Denklem 7.1). LiquefyPro SPT ham vuruş değerlerine ve ince tane oranı yüzdesine göre düzeltmeler yaptıktan sonra CRR hesaplar (Bkz. Denklem 7.4). Sıvılaşma ölçütü olarak güvenlik katsayısı CRR'nin CSR'ye oranıyla elde edilir.

İnceleme alanı için derlenen sondaj kuyularında kum ve çakıllı kum seviyeleri sıvılaşma potansiyeli için değerlendirilmiştir. Gerekli veriler her kuyu için tek tek girilerek o noktadaki sıvılaşma yatkınlığı ve toplam oturma hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar CBS ortamına aktarılarak nokta bazında sıvılaşma riski ve oturma haritaları üretilmiştir.

8.2. Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri Uygulaması

İnce taneli ve kohezyonlu zeminlerin depremlerde gösterdikleri davranışları inceleyen Wang (1979) bazı silt, killi silt türü zeminlerin büyük depremlerde dayanımlarını kayb ettikleri ve sıvılaş tığını belirtmiştir. Bu zeminlerin davranışını etkileyen önemli parametrelerin LL (%), w_n (%) ve kil oranı (%) olduğunu belirtmiştir. Sıvılaşan zeminlerin bu parametrelerine dayanarak Çin Kriterlerini geliştirmiştir. Daha sonra bu kriterler, bazı araştırmacılar tarafından kendi ülke standard ve koşullarına uyması için modifiye edilmiştir. Bu araştırmacıardan Perlea et al (1999) Çin Kriterleri'ni, ASTM göre modifiye etmişlerdir. İzmit Havzası zemin araştırma raporlarının laboratuvar analiz sonuçlarından elde edilen zemin bilgileri temel alınarak Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri ile ince taneli zeminlerin sıvılaşma yatkınlıkları incelenmiştir.

8.1.1. Uygulamada kullanılan veriler

Bu yaklaşım için gerekli veriler İzmit Havzası zemin araştırma raporlarından elde edilmiştir. Yaklaşımda kullanılan veriler aşağıda belirtilmiştir. Kil oranında kil tane boyu orijinal Çin Kriterlerinde olduğu gibi alınmış sadece kil oranı % 5 arttırılmıştır.

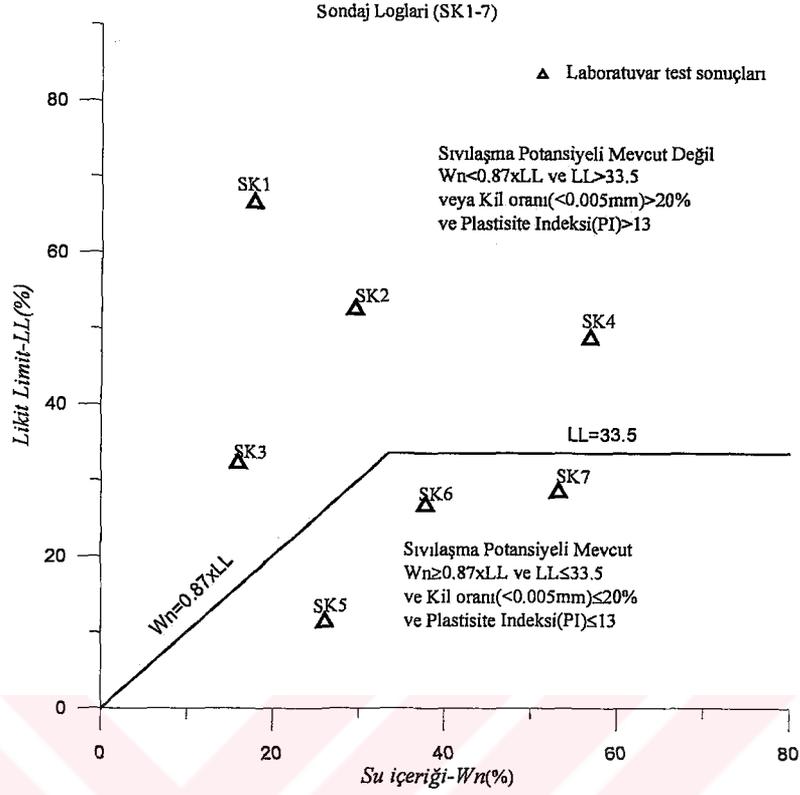
- Likit Limit (LL)
- Su içeriği (w_n)
- Kil Oranı (< 0.005 mm)
- Plastisite İndeksi (PI)

8.1.2. Yöntemin uygulanması

Perlea at al (1999) Çin Kriterleri'ni, ASTM göre modifiye etmişlerdir. Modifiye edilmiş yöntemle göre sınıvlaşma potansiyeli taşıyan zeminlerin kriterleri;

- Likit limitleri (LL) ≤ 33.5 (%),
- Su içeriği (w_n) $\leq 0.87 \times LL$ (%),
- Kil Oranı (< 0.005 mm) $\leq \% 20$,
- Plastisite İndisi (PI) ≤ 13 olarak belirlenmiştir.

Yöntemin uygulama safhasında bu yaklaşım ile İzmit Havzası beldeleri için ayrı ayrı değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen verilerden yukarıda bahsedilen analiz için gerekli olan veriler (LL ve w_n) Grapher V 4 programının Data kısmına girildikten sonra Plot kısmında 2D grafiklerden Line/Scatter seçeneği ile grafik üzerine işaretlenmiştir. Verilerin grafikteki dağılımlarına göre ya da grafikte belirlenen sınırlı alanlar içinde olmalarına göre sınıvlaşma yatkınlığı taşıyıp taşımadıkları belirlenmiştir. Şekil 8.2 örnek olarak her iki bölgeye düşen zeminleri ve sınıvlaşma yatkınlığını belirleyen alanları göstermektedir.



Şekil 8.2. Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri'ne göre sıvılaşma yatkınlığı grafiği.

8.3. YSA Sıvılaşma Analizi Uygulaması

İzmit Havzası genç çökellerinin sıvılaşma riskini ortaya koymada yeni ve farklı bir yaklaşım olan YSA yöntemi de kullanılmıştır. YSA ile sıvılaşma analizinin amacı İzmit Havzasındaki çökellerin sıvılaşma davranışını ortaya koymaktır. Bunu gerçekleştirmek için önce Türkiye'nin belli depremlerinde sıvılaşma olmuş ve olmamış kesimlerdeki zeminlerin koşullarını anlatan bir eğitim seti oluşturulmuş daha sonra eğitim sonunda elde edilen parametreler ile İzmit Havzası zeminlerinin özellikleri ile oluşturulmuş test setini sıvılaşma riski için denenmiştir. YSA yöntemi Matlab V 6.5 programı kullanılarak uygulanmıştır. YSA ile sıvılaşma analizini gerçekleştirmek için gerekli algoritmalar Matlab editöründe yazılmış ve bu program altında çalıştırılarak sonuçlar elde edilmiştir.

8.3.1. Verilerin temini

Veri setlerini oluşturmada çeşitli kaynaklardan yararlanılmıştır. Bu kaynaklar makaleler, tezler, proje raporları, zemin araştırma raporları ve yerli ve yabancı araştırmacılar ve kurumların yaptığı deprem raporlarıdır. Bu kaynakların bir kısmı internet ortamında bir kısmı da hazır kopya olarak elde edilmiştir. Kocaeli-Gölcük (08.1999), Erzincan-Ekşisu (1992), ay-Eber (2002), Bingöl (2003), Adana-Ceyhan (1998) Depremleri eğitim seti oluşturmada yararlanılan depremlerdir. Bu depremlerde meydana gelmiş zemin davranışları, zemin logları, laboratuvar deneyleri, elek analizleri, YAS su seviyesi, depremin büyüklüğü ve ivmesi hakkında ki veriler yukarıda bahsedilen kaynaklardan derlenerek, bu inceleme için eğitim ve test setleri oluşturmada kullanılmıştır.

8.3.2. Eğitim ve test veri setleri

YSA ile sıvılaşma analizinin yapılabilmesi için öncelikle ağın daha önceki vakalardan örneklerle eğitilmesi gereklidir. Eğitimin gerçekleşmesi için YSA, örneklerin tanımlandığı bir eğitim seti ile eğitilir. Eğitimden sonra eğitilmiş ağ ile aynı olay için farklı veriler test edilir. Test safhası denilen bu süreç için veriler ile bir test seti oluşturulur. Analizin gerçekleştirilmesinde çok önemli olan bu veri setlerinin olabildiğince durumu en iyi şekilde tarif etmesi istenir. Aşağıda bu inceleme amacı kapsamında oluşturulan eğitim ve test veri setlerinin açıklanmaktadır.

8.3.2.1. Eğitim veri seti

Yapay Sinir Ağları yöntemi ile sıvılaşma analizi yapmak için iki farklı veri seti geliştirilmiştir. Bu veri setlerinin ilki eğitim veri seti, diğeri de test veri setidir. İncelemede ilk olarak eğitim veri seti oluşturulmuş ve onunla YSA eğitilip test evresine hazır hale getirilmiştir. Bu inceleme için eğitim seti Türkiye 'de aletsel dönemde zemin sıvılaşması görülen bazı depremlerin verileri ile oluşturulmuştur. Bu depremler esnasında sıvılaşma görülen ve görülmeyen alanlara ait sondaj loglarından elde edilen veriler eğitim ve test setlerini oluşturmada kullanılmıştır. Eğitim ve test veri setlerinde bulunan parametreler; yüzey dalgası manyetüdü (Ms), maksimum yer

ivmesi (a_{max}), sıvılaşılan veya sıvılaşımayan zeminin tabaka kalınlığı (h_t , m), zemin tabakasının orta derinliği (H_t , m), zemin sınıfı (ZS), Likit Limit (LL), Plastisite İndisi (PI), doğal su içeriği (w_n), ince tane oranı (FC), yeraltı su seviyesi (YAS), standart penetrasyon testi vuruş sayısı (SPT N_{30}), zeminin ortalama tane boyu (D_{50}) olmaktadır. Bu parametreler zemin ve deprem özelliklerini içermektedir. Zeminin sıvılaşma yatkınlığını zeminin kendine ait özellik ve durumları kontrol eder. Sıvılaşma yatkınlığı yüksek olan zeminlerin sıvılaşması için gerekli olan deprem parametreleri depremin büyüklüğü ve ivmesi olmaktadır. Bu nedenle öncelikle zeminin sıvılaşma yatkınlığını kontrol eden parametreler yanında sıvılaşmayı başlatan deprem parametreleri YSA modeline girdi olarak verilmiştir. Belirlenen zemin ve sismolojik parametreler ile YSA zemin sıvılaşma riski veya tehlikesi (potansiyeli) değerlendirilmektedir.

Eğitim ve test veri setlerindeki değerlerin sayısal olması gerekmektedir. Eğitim setinde yer alan parametrelerden yalnızca zemin tanımlamaları karakter yapıdadır. Karakter yapıda olan zemin tanımlamaları sayısal olarak nitelendirilmiştir. Bunun için, zemin sınıfı (ZS) dane boyuna bağlı olarak kategorize edilmiştir (Tablo 8.1). Dane boyutuna ve ince tane oranına dayanan zemin türü sınıflandırması Juang and Chen (2000) ve Goh (2002) tarafından kullanılmıştır. Eğitim veri setinin hazırlanmasında yararlanılan depremler ve onlara ait genel bilgiler Tablo.8.2 'de verilmektedir.

Tablo 8.1. YSA kullanılan zemin sınıfları ve sayısal değerleri (Juang and Chen 2000).

Zemin Tanımı	Zemin Sınıfı
Çakıl ve Çakıllı Kum (İnce tane oranı < %5–10)	4
Temiz Kum (İnce tane oranı < %5)	3
Kum karışımı – Kum (İnce tane oranı = %5–15)	2.5
Kum karışımları: Kumlu silt – siltli kum (İnce tane oranı = %15–35)	2
Silt – kum karışımları (İnce tane oranı = %35–70)	1.5
Silt karışımları : Siltli kil – killi silt	1

Tablo 8.2. Eğitim veri seti genel bilgileri.

Sıra No	Deprem Adı	Tarih	Büyüküğü (M_s)	Sıvılaşma	Örnek Sayısı		Maks. İvme (a_{max})
					1	0	
1	Kocaeli - Gölçük	17.08.1999	7.8	Yaygın	9	4	0.407
2	Erzincan - Ekşisu	13.03.1992	6.8	Sınırlı	8	8	0.5
3	Çay - Eber	03.02.2002	6.5	Sınırlı	6	6	0.22
4	Bingöl	01.05.2003	6.4	Sınırlı	2	2	0.545
5	Adana - Ceyhan	27.06.1998	6.2	Yaygın	4	3	0.28

Kocaeli-Gölçük Depremi için zemin verileri Bay and Cox (2001), Mollamahmutoğlu et al (2003), UCB-BYU-UCLA-ZETAŞ-SaU ve METU "Ground Failure and Building Performance in Adapazarı, Turkey" ortak projesinin sondaj ve laboratuvar verilerinden yararlanılmıştır. Erzincan-Ekşisu Depremi için zemin verileri Erken ve Ülker (1994), Erken et al (1995)'ten elde edilmiştir. Çay-Eber Depremi zemin verileri Ulusay ve diğ. (2002), Ulusay et al (2004)'ten elde edilmiştir. Bingöl Depremi zemin verileri için Çetin ve diğ. (2003), JSCE (2003)'ten yararlanılmıştır. Adana-Ceyhan Depremi zemin verileri ise Ulusay and Kuru (1998), Aydan et al (2000), Ulusay et al (2000) ve Kuru (2001) kaynaklarından sağlanmıştır.

8.3.2.2. Test veri seti

Eğitim safhasında, eğitim verileri ile eğitilen ağ istenilen sonuçlara ulaşınca test verilerini denemeye hazır duruma gelir. Test safhasında amaç, İzmit Havzası zeminlerin sıvılaşma koşullarına sahip olup olmadığını test etmektir. Bu nedenle bir test veri seti hazırlanmıştır. Bu set eğitim seti ile aynı parametreleri içermektedir. Test verileri belli bir deprem için ($M_s=7.8$, $a_{max} = 0.4$ g) için test edilmiştir. Bu deprem parametreleri 1999 Kocaeli Depremi M_s ve a_{max} değerleridir. Test veri seti farklı büyüklük ve ivme değerlerine sahip deprem senaryoları için de test edilebilir. İzmit Havzasında Belediye sınırları içindeki sondaj loglarından ve laboratuvar analiz sonuçlarından yararlanılarak bu veri seti hazırlanmıştır. Tablo 8.3 bu veri seti için genel bilgileri içermektedir.

Tablo 8.3. Test Veri Seti Genel Bilgileri.

Deprem Manyetüdü (Ms)	Deprem İvmesi (a_{max} , g)	Test Edilen Örnek Sayısı		
		Saraybahçe	Kullar	Köseköy
7.8	0.4	13	13	20

8.3.3. YSA modelinin oluşturulması

YSA girdilerini oluşturan veri değerleri bir ön-veri işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Bu işleme veri standardizasyonu denir. Veri standardizasyonu ile veri değerleri 0-1 arasında veya -1,+1 aralığına çekilmektedir. Bu işlem ile YSA’ında çıkış değerleri seçilen çıktı transfer fonksiyonuna göre 0-1 veya -1, +1 arasında olmaktadır. Veri ön işleme yöntemi olarak Matlab V 6.5 programında (MathWorks 1995) **prestd** fonksiyonu kullanılarak girdi değerleri 0-1 aralığına getirilmiştir.

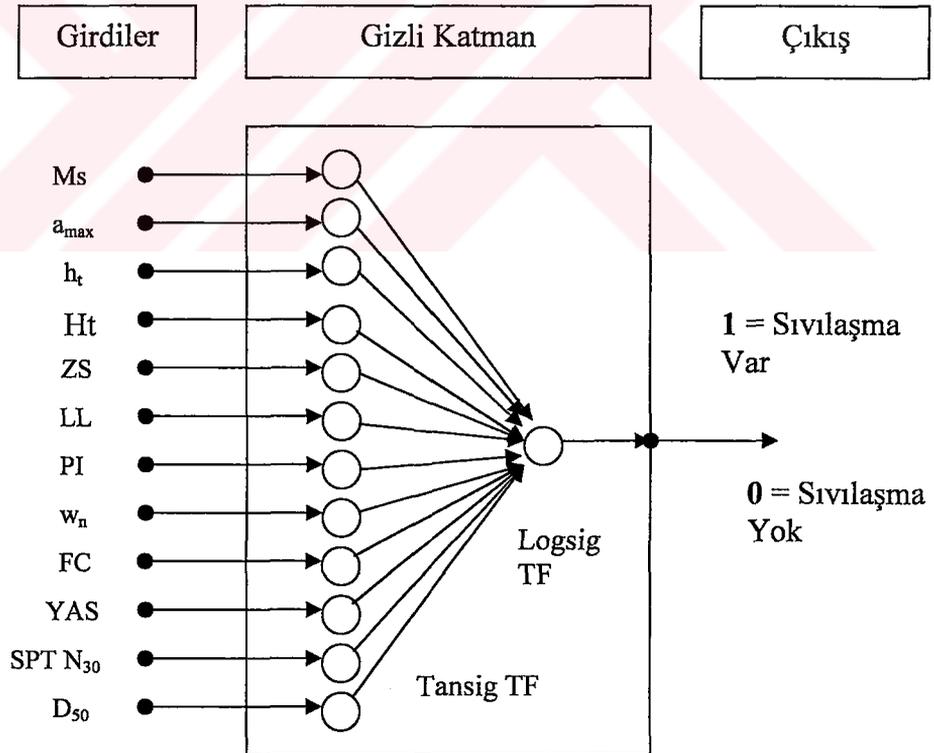
YSA durumları girdiler vasıtasıyla öğrenmektedir. Girdiler YSA’larına dışardan bilgi sunmaktadır. YSA’nın çalışması için girdiler oluşturularak YSA’ına sunulur. Bu parametrelere ait sayısal değerler MS Excel’de tablolara girilip Matlab programına Excel Link vasıtasıyla ithal edilmiştir. Eğitim setinde 52 örnek olmasından dolayı Matlab’da bu veriler 12x52 boyutlu bir girdi (input) matrisi oluşturmuştur. Hedef (target) için de aynı işlemler ile 1x52 boyutlu bir hedef matrisi oluşturulmuştur. Girdi matrisindeki veriler hedef matrisindeki değerlere ulaşmaları için eğitilirler. Hedef değerleri 0 veya 1 olmaktadır. Hedef matrisinde sıvılaştıran alanlardaki zeminler bir (1), sıvılaştırmayan alanlardaki zeminler ise sıfır (0) olarak tanımlanmıştır.

Girdiler ile çıkış katmanı arasındaki gizli katmanda 12 adet yapay nöron kullanılmıştır. Bu her girdiye karşılık 1 işlem elemanı demektir. Bu katmanda dış girişler ağırlık değerleri ve eşik değerleri ile işlenerek TF fonksiyonundan geçirilir. Gizli katmanda -1 ile +1 arasında değerler üreten tansig tipi TF’ları kullanılmıştır.

YSA yapısının son kısmı çıkış katmanı olmaktadır. Sıvılaştırma uygulamasının amacına göre 1 yapay nöron çıktı katmanında kullanılmıştır. Bu katmanda 0-1 arasında çıktılar üreten logsig tipi bir TF kullanılmıştır. Gizli katmanda TF’dan

geçen 12 ağırlıklı çıktı, çıktı katmanındaki çıkış nöronun girişlerini oluşturur. Gizli katmandan gelen değerleri çıkış nöronu işleyerek 0-1 arasında değerler üretir. Bu değerlerden 0-0.25 için sıvılaşma yok veya düşük, 0.25-0.75 sıvılaşma tehlikesi mevcut, 0.75-1 aralığı sıvılaşma var olarak sınıflandırılabilir. Şekil 8.3 bu incelemede YSA için girdileri, gizli katmanı ve çıkış katmanını göstermektedir.

YSA modeli oluşturulduktan sonra bir algoritma ile modelin çalıştırılması gerekmektedir. YSA kapsamında uygulama amacına göre farklı algoritmalar bulunmaktadır. Bu incelemede sıvılaşma analizlerinde sıkça kullanılan geri yayılım algoritmalarından eğitim düşümü tipi geri yayılım öğrenme algoritması kullanılmıştır. Bu inceleme için eğitim algoritması Matlab editörü altında yazıldıktan sonra eğitim seti ile bu programda çalıştırılmış ve test için gerekli parametrelere ulaşılmıştır. Şekil 8.4 eğitim ve test algoritmalarının genel akış şemasını göstermektedir. Eğitime işlemi ve eğitimden sonraki test işlemi bu akışa göre yapılmaktadır.



Şekil 8.3. YSA modeli ve elemanları.

8.3.4. Eğitim safhası

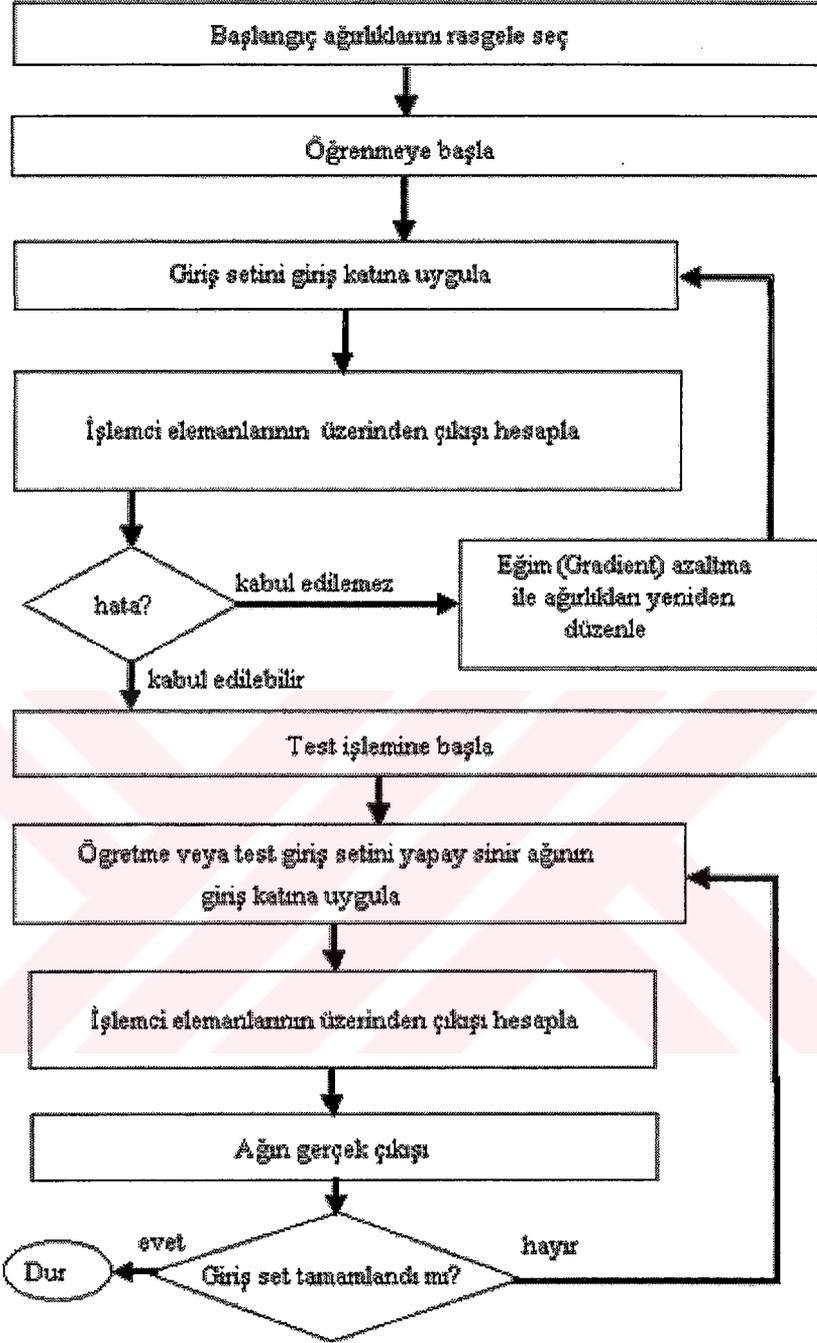
YSA girdilerin ağa verilmesi, ağırlıkların ayarlanması, en uygun ağırlık ve eşik değerlerinin elde edilmesi ve ağ tarafından çıkış değerlerinin elde edilmesi eğitim safhasında gerçekleşmektedir. Ağın eğitimi dögüsel olarak, istenen çıktı (hedef, t) ile hesaplanan çıktı (y) arasındaki hatanın toplamının karesinin ortalaması, kullanıcı tarafından belirlenen hata toleransına ulaşınca kadar sürer (Şekil 8.4).

8.3.5. Test safhası

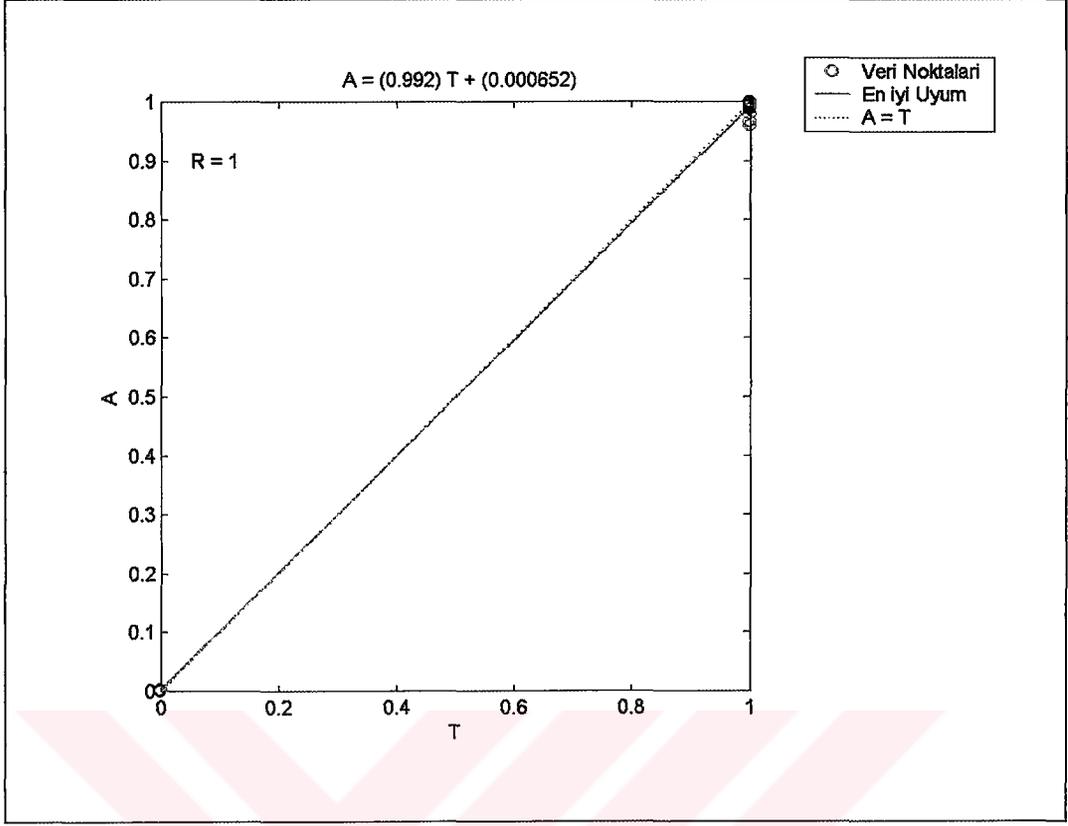
Yapay sinir ağının performansının geçerliliği eğitim veri setine benzeyen ayrı bir test setinin denenmesi ile yapılır. Test evresinde herhangi bir şekilde öğrenme oluşmaz, sadece ağa sunulan test verileri test edilir (Şekil 8.4).

8.3.6. Eğitim sonrası analiz (Postreg)

Eğitilmiş ağın performansı eğitim, geçerlilik ve test veri setlerinin hataları ile belli bir oranda ölçülebilir. Fakat bazı durumlarda ağın performansı daha detaylı araştırılmalıdır. Bu araştırmalardan biri ağın ürettiği çıktılar ile hedef arasında bir regresyon analizi gerçekleştirmektir. Matlab programında bu işlem 'postreg' rutini ile yapılmaktadır. Postreg ağın çıktıları (a) ile hedefe (t) karşılık üç parametre üretir. ($[m, b, r] = \text{postreg}(a, t)$). Hedefleri ağ çıktılarıyla ilişkilendiren en iyi regresyon doğrusunun eğimi (m) ve y eksenini kesim noktası (b) ile temsil edilir. Eğer çıktılar ile hedef arasında tam uyum söz konusu ise doğrunun eğimi 1 ve y eksenini kesim noktası sıfır olur. Üçüncü parametre (r) ise çıktılar ile hedef arasındaki korelasyon katsayısı (R) değeridir. R çıktılardaki değişimin ne kadar iyi olduğunu hedefler yardımıyla açıklayan bir ölçüttür. Eğer bu değer bir e eşitse çıktı ile hedefler arasında tam bir korelasyon vardır. Şekil 8.5 bu inceleme için oluşturulan eğitim seti ile eğitimden sonra elde edilen çıktılar ile hedefler arasındaki korelasyonu göstermektedir. Şekil 8.5' te de görüldüğü gibi sıvılaşıma modeli için yazılan algoritma ile eğitim sonunda elde edilen değerler ($m=0.992$, $b=0.000625$ ve $R=1$) olarak hesaplanmıştır. Bu da bize eğitim safhasının başarılı olduğunu belirtmektedir.



Şekil 8.4. YSA’ında geri yayılım öğrenme algoritmasının genel çalışma akış diyagramı (Sağiroğlu ve diğ. 2003).



Şekil 8.5. Matlab programında postreg rutini ile eğitim sonrası analiz.

BÖLÜM 9. SIVILAŞMA ANALİZ SONUÇLARI

Bu bölümde İzmit Havzası genç çökelleri sıvılaşma potansiyeli belirlenmesi için yapılan analizlerin sonuçları verilmektedir. İlk olarak Standard sıvılaşma analizi, sonrasında Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri ve en son olarak da YSA yöntemi sonuçları açıklanmaktadır.

9.1. Standard Sıvılaşma Analiz Sonuçları

Standard sıvılaşma analizleri LiquefyPro (CivilTech 2002) programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanı içinde kalan üç belde için değerlendirmeler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda iri taneli zeminlerin sıvılaşma riskleri veya potansiyeli belirlenmiştir. Bu beldeler B'dan D'ya doğru Saraybahçe, Kullar ve Köseköy Beldeleridir. Değerlendirmeler yerleşim alanları için aşağıda sırasıyla anlatılmaktadır.

9.1.1. Saraybahçe zeminleri sıvılaşma potansiyeli

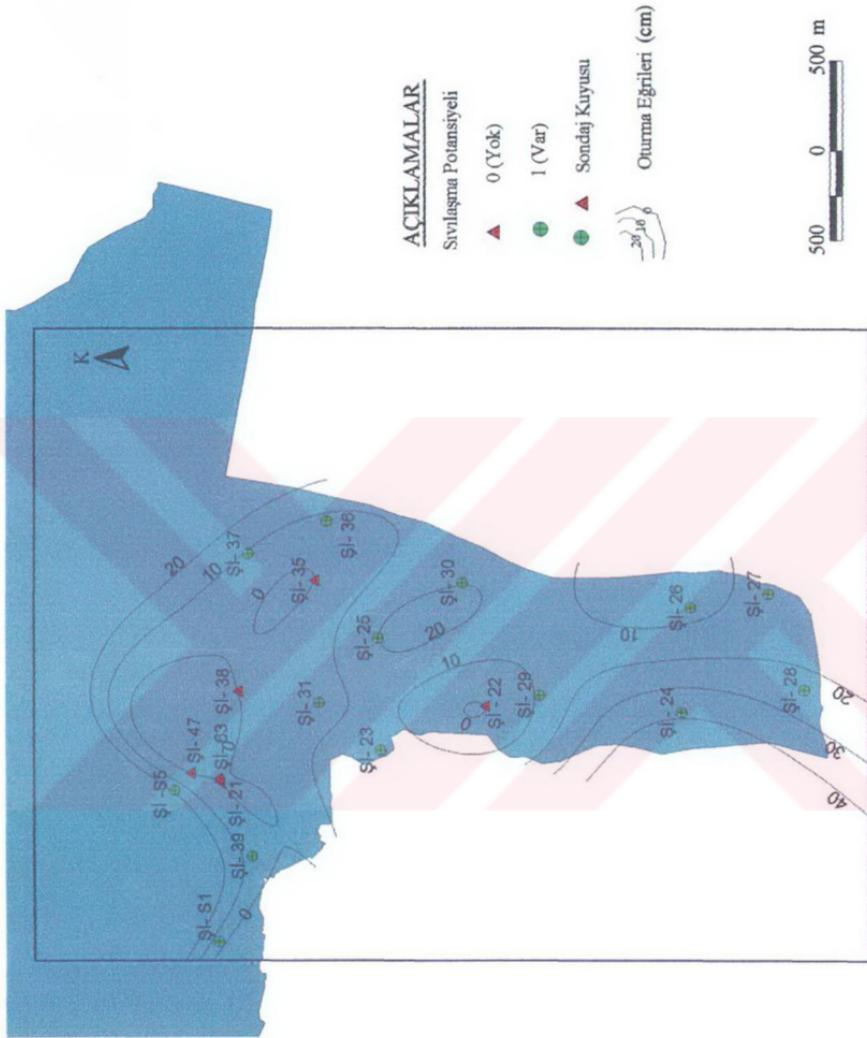
Saraybahçe Beldesi zemin araştırma raporu kapsamında açılan 92 sondaj kuyusundan İzmit Havzası içinde kalan 20 sondaj bu yöntem ile değerlendirilmiştir (Tablo 9.1). Şİ-S21, 22, 35, 38, 47 ve 63 nolu kuyular tamamıyla siltli ve killi zeminleri kestiklerinden sıvılaşma potansiyeli bu kuyular için bu yöntemde sıfır olarak belirlenmiştir. Bu kuyular belirlenen alanın K ve orta kısımlarında yer almışlardır (Şekil 9.1). Diğer Şİ-S1- Şİ-S39 nolu sondajların muhtelif derinliklerinde mevcut olan kum zemin tabakalarının analizi sonucunda sıvılaşma potansiyeli taşıdıkları görülmüştür (Tablo 9.1). Tablo 9.1 sondaj logları analizi sonucunda meydana gelebilecek sıvılaşmayı, sıvılaşma derinliğini, kuru, suya doymun ve toplam oturmaları belirtmektedir. Bu kuyularda sıvılaşma derinliği 2–29 m'leri arasında değişmektedir. Toplam oturma 4.96–38.05 cm arasında olup ortalama toplam oturma

10.10 cm olarak hesaplanmıştır. CBS ortamına aktarılarak nokta olarak teşkil edilen sondaj kuyularının sıvılaşma potansiyeli durumu ve toplam oturma eş derinlik eğrileri çizilmiştir. Şekil 9.1 sıvılaşma potansiyeli mevcut olan ve olmayan kuyuları ve toplam oturma eğrilerini göstermektedir. Şekil 9.1'e göre sıvılaşma potansiyeli taşıyan zeminler Saraybahçe Beldesi'nin belirlenen alanın K ve orta kesimde bulunan siltli ve killi zeminler dışında tüm alana yayılı olarak yer almıştır. Sıvılaşmadan ötürü oluşan oturmalar tüm alan genelinde farklılıklar sunmuştur. Şekil 9.1'de K ve orta kesimlerde oluşacak oturmalar 0–20 cm arasında, G kesimde de 10–40 cm arasında değiştiği görülmektedir. Bunun nedeni o noktada bulunan sondaj kuyusundaki kumlu zeminlerin kalınlıklarıdır. Kum tabakanın kalınlığı artıkça oturma oranı da SPT N_{30} değerlerine bağlı olarak artmaktadır.



Tablo 9.1. Saraybahçe Beldesi LiquefyPro Sıvılaştırma Analizi Sonuçları Özeti.

Sondaj No	X	Y	Z	Kuyu Derinliği (m)	Sıvılaştırma Potansiyeli	Sıvılaştırma Derinliği(m)	Kuru Oturma(cm)	Suya Doygun Oturma(cm)	Toplam Oturma(cm)
Şİ - S1	4514431	493793	1	25.45	1	11.0-12.0/25.0-25.50	0.00	4.96	4.96
Şİ - S5	4514723	494806	3	20.95	1	4.5-6/15.0-18.0	0.00	17.48	17.48
Şİ - S21	4514423	494856	2	19.95	0	0.0	0.00	0.00	0.00
Şİ - S22	4512658	495364	2	19.95	0	0.0	0.00	0.00	0.00
Şİ - S23	4513352	495068	3	19.95	1	5.0-7.0	0.00	16.34	16.34
Şİ - S24	4511351	495324	1	33.45	1	2.0 - 4.5 / 9.0 - 15.0	0.39	37.66	38.05
Şİ - S25	4513369	495819	1	30.45	1	7.0-8.5/27.0-29.0	0.00	19.72	19.72
Şİ - S26	4511291	496023	2	25.95	1	8.5-12.0	0.00	7.36	7.36
Şİ - S27	4510775	496115	1	25.00	1	6.0-12.0	0.00	14.19	14.19
Şİ - S28	4510538	495475	1	25.00	1	9.0-15.0/16.5-17.5/21.0-25.0	0.00	23.32	23.32
Şİ - S29	4512296	495438	3	30.45	1	9.0-15.0	0.00	11.22	11.22
Şİ - S30	4512809	496189	2	27.45	1	6.0-8.0/22.5-27.5	0.00	19.73	19.73
Şİ - S31	4513761	495388	3	30.45	1	8.5-11.5	0.00	6.16	6.16
Şİ - S35	4513794	496202	1	28.95	0	0.0	0.00	0.00	0.00
Şİ - S36	4513713	496602	1	19.95	1	4.5-6.5	0.00	8.01	8.01
Şİ - S37	4514235	496381	2	40.95	1	8.0-12.0	0.00	9.23	9.23
Şİ - S38	4514301	495462	3	19.95	0	0.0	0.00	0.00	0.00
Şİ - S39	4514209	494362	2	20.45	1	1.0 - 3.0	0.00	6.21	6.21
Şİ - S47	4514618	494918	3	25.95	0	0.0	0.00	0.00	0.00
Şİ - S63	4514431	494877	3	30.45	0	0.0	0.00	0.00	0.00
								Ortalama Toplam Oturma (cm)	10.10



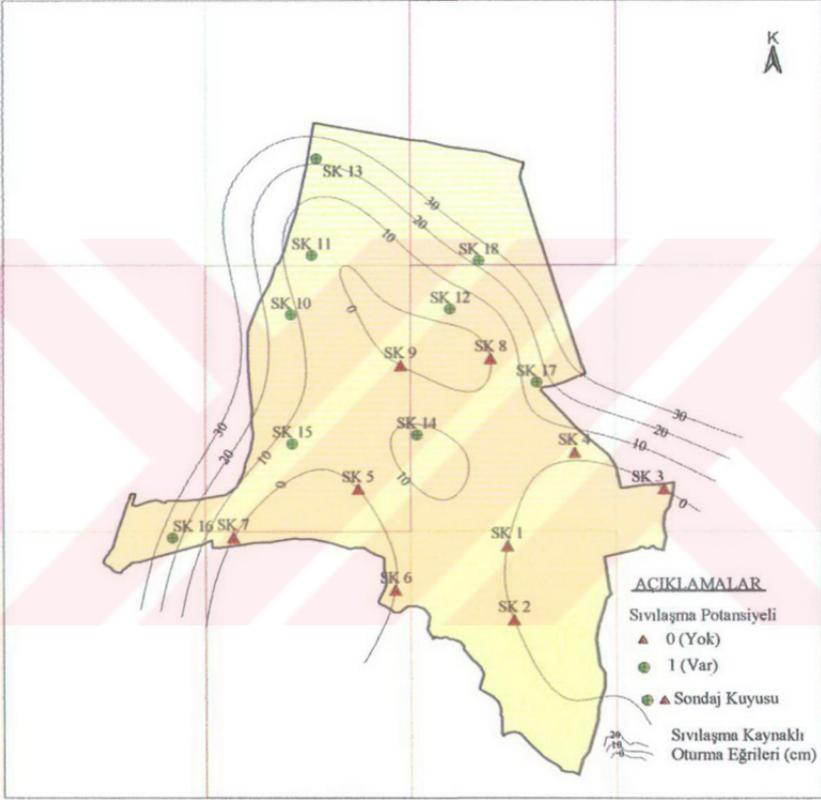
Şekil 9.1. Saraybahçe Beldesi sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma ile oluşacak oturmalar.

9.1.2. Kullar zeminleri sıvılaşma potansiyeli

Kullar Beldesi zemin araştırma raporu kapsamında açılan 18 sondaj kuyusu bu yöntem ile değerlendirilmiştir. SK1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 nolu kuyular tamamıyla siltli ve killi zeminleri kestiklerinden sıvılaşma riski bu kuyular için sıfır olarak belirlenmiştir. SK4 nolu sondajda 0.75–9.00 m’leri arasında yer alan GP ve GW zeminlerin yüksek SPT N_{30} değerleri sıvılaşmaya olanak tanınamakla birlikte deprem yükünden dolayı 2.27 cm’lik bir oturma meydana gelmektedir. Diğer SK10-SK18 sondajların muhtelif derinliklerinde mevcut olan kum zemin tabakalarının analizi sonucunda sıvılaşma potansiyeli taşıdıkları görülmüştür (Tablo 9.2). Tablo 9.2 sondaj logları analizi sonucunda meydana gelebilecek sıvılaşmayı, sıvılaşma derinliğini, kuru, suya doymun ve toplam oturmaları belirtmektedir. Bu kuyularda sıvılaşma derinliği 3–15 m’leri arasında değişmektedir. Toplam oturma 2.91–23.92 cm arasında olup ortalama toplam oturma 13.27 cm olarak hesaplanmıştır. CBS ortamına aktarılarak nokta olarak teşkil edilen sondaj kuyularının sıvılaşma potansiyeli durumu ve toplam oturma eş derinlik eğrileri çizilmiştir. Şekil 9.2 sıvılaşma potansiyeli mevcut olan ve olmayan kuyuları ve toplam oturma eğrilerini göstermektedir. Şekil 9.2’ye göre sıvılaşma potansiyeli taşıyan zeminlerin Kullar Beldesi’nin K, KB ve KD kesimlerinde yer aldıkları ve KB-KD kesimlerde sıvılaşmadan oluşan oturmaların daha fazla olacağı görülmektedir.

Tablo 9.2. Kullar Beldesi LiquefyPro Sivrilaşma Analizi Sonuçları Özeti.

Sondaj No	X	Y	Z	Kuyu Derinliği (m)	Sivrilaşma	Sivrilaşma Derinliği (m)	Kuru Oturma(cm)	Suya Doygun Oturma (cm)	Toplam Oturma (cm)
SK 1	498885	4509955	19.50	16.00	0	-	-	-	-
SK 2	498955	4509189	70.00	15.00	0	-	-	-	-
SK 3	500490	4510550	15.00	15.00	0	-	-	-	-
SK 4	499575	4510935	12.00	9.00	0	-	0.05	2.22	2.27
SK 5	497350	4510550	21.00	15.00	0	-	-	-	-
SK 6	497734	4509496	38.00	15.00	0	-	-	-	-
SK 7	496064	4510047	14.00	15.00	0	-	-	-	-
SK 8	498716	4511908	9.00	15.00	0	-	-	-	-
SK 9	497790	4511840	6.00	18.00	0	-	-	-	-
SK 10	496660	4512375	2.00	15.00	1	7,5-12	0,67	11,15	11,83
SK 11	496875	4512995	2.50	15.00	1	7,5-9	0,0	2,91	2,91
SK 12	498300	4512433	7.00	15.00	1	7,5-9	0,0	3,29	3,29
SK 13	496927	4514008	2.00	16.00	1	3-12	0,0	21,97	21,97
SK 14	497960	4511120	7.00	15.00	1	9-15	0,0	11,49	11,49
SK 15	496675	4511030	2.50	15.00	1	6-9	0,0	6,32	6,32
SK 16	495440	4510047	3.00	15.00	1	4,5-15	0,0	23,92	23,92
SK 17	499190	4511665	9.50	15.00	1	6-12	0,37	14,87	15,25
SK 18	498595	4512940	5.50	15.00	1	6-15	0,52	21,91	22,44
								Ortalama Toplam Oturma (cm)	13.27



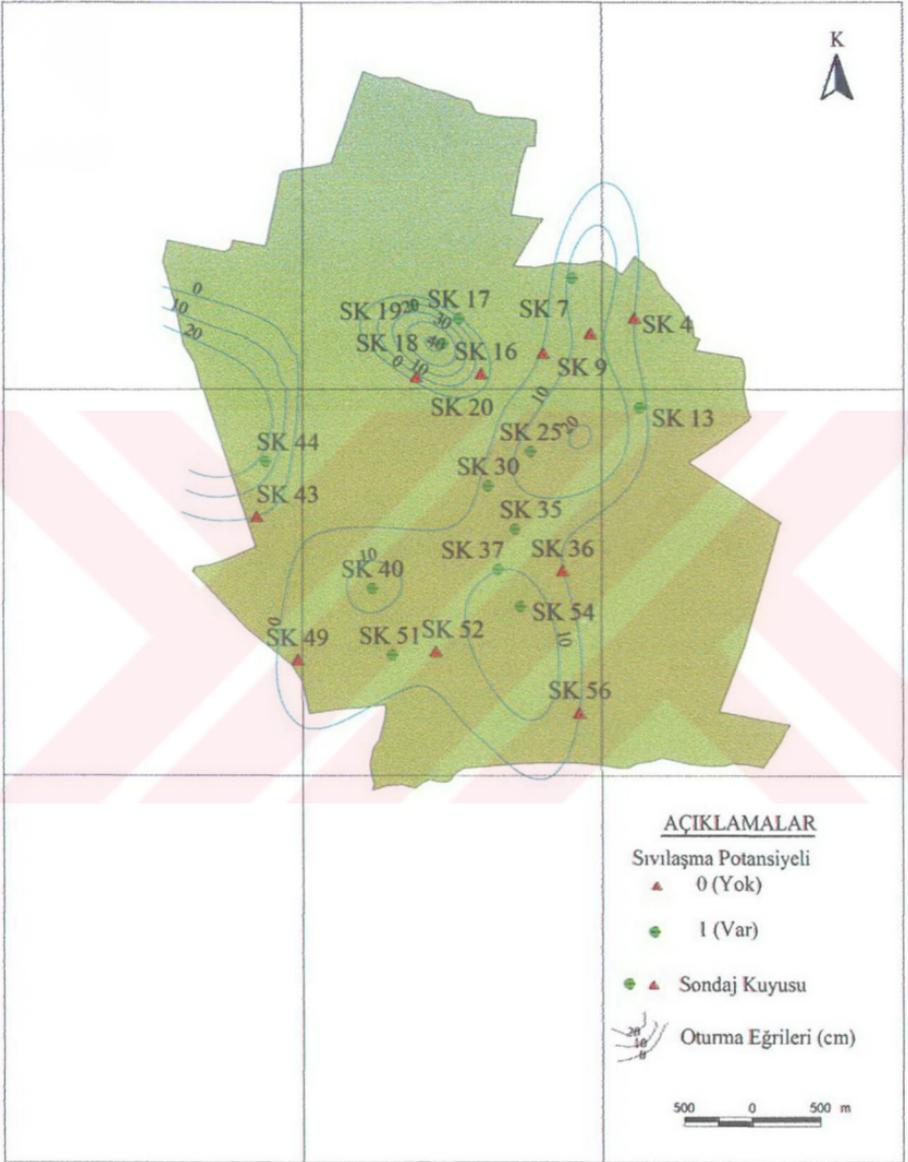
Şekil 9.2. Kullar Beldesi sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma ile oluşacak oturmalar.

9.1.3. Köseköy zeminleri sıvılaşma potansiyeli

Köseköy Beldesi iri taneli zeminlerinin sıvılaşma riski zemin araştırma raporundaki laboratuvar ve arazi verilere dayanarak gerçekleştirilmiştir. Araziye muhtelif noktalarda açılmış 59 sondaj kuyusundan 23'ü kumlu, çakıllı zeminleri içeren kuyular diğerleri ise tamamen killi ve siltli birimleri kesen kuyulardır. Standart sıvılaşma analizlerini kumlu ve çakıllı zeminlerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirdiğinden öncelikle bu tür zeminlerin olduğu kuyular tespit edilmiştir. Bu kuyulara ait veriler düzenlenerek LiquefyPro sıvılaşma analiz programına girilerek bu kuyulardaki iri taneli zeminlerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen değerler Tablo 9.3'te gösterilmiştir. Bu değerlerin CBS ortama aktarılmasıyla nokta bazında bir sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşmadan veya sismik yükten kaynaklanan oturmalar belirlenmiştir. Tablo 9.3 sondaj logları analizi sonucunda meydana gelebilecek sıvılaşmayı, sıvılaşma derinliğini, kuru, suya doygun ve toplam oturmaları belirtmektedir. Bu kuyularda sıvılaşma derinliği 2.5–22.5 m'leri arasında değişmektedir. Toplam oturma 0.07–39.29 cm arasında olup ortalama toplam oturma 7.83 cm olarak hesaplanmıştır. CBS ortamına aktarılacak nokta olarak teşkil edilen sondaj kuyularının sıvılaşma potansiyeli durumu ve toplam oturma eş derinlik eğrileri çizilmiştir. Şekil 9.3 Köseköy Beldesi sıvılaşma potansiyeli mevcut olan ve olmayan kuyuları ve toplam oturma eğrilerini göstermektedir. Şekil 9.3'e göre sıvılaşma potansiyeli taşıyan sondaj kuyuları genelde beldeyi sınırlayan alanın orta kısmında yer aldığı görülmektedir. Sıvılaşmadan ya da sismik yükten dolayı oluşan noktasal oturmalarından oluşturulan oturma konturlarına göre KB-GD kesimlerde 0-20 cm'lik, K kesimde 0-40 cm'lik ve KB kesimde 0-20 cm'lik oturmalar meydana gelmiştir. Bu değerlere göre K kesimde oluşan oturmaların daha fazla olacağı görülmektedir.

Tablo 9.3. Köseköy Beldesi LiquefyPro Sıvılaşma Analiz Sonuçları Özeti.

Sondaj No	X	Y	Z	Kuyu Derinliği(m)	Sıvılaşma	Sıvılaşma Derinliği (m)	Kuru Oturma (cm)	Suya Doğun Oturma (cm)	Toplam Oturma (cm)
SK 4	502341,6	4513400		15	0	0	0,01	0,17	0,18
SK 7	501901	4513685		15	1	2,50-6,50	0	11,92	11,92
SK 9	501698	4513145		15	0	0	0,02	0,82	0,84
SK 10	502029,7	4513285		30	0	0	0,02	11,75	11,77
SK 13	502381,2	4512755		15	1	4-5/10,5-11,5	0	3,95	3,95
SK 16	501262,3	4513000	10	15	0	0	0	4,58	4,58
SK 17	501108,9	4513395	10	15	1	6,5 - 7,5	0	1,50	1,50
SK 18	500995,1	4513215		30	1	4,5 -7/9-11/14,5-24	0	39,29	39,29
SK 19	500787,2	4513490		15	1	7,5-12	0	11,69	11,69
SK 20	500807	4512975		15	0	0	0	6,09	6,09
SK 25	501613,8	4512440	12	15	1	7,5-9,5/12,5-14,5	0,02	13,86	13,88
SK 30	501316,9	4512195		15	1	3,5-4,5	0,08	3,23	3,31
SK 35	501504,9	4511885	16	15	1	7,5-10	0,05	5,92	5,97
SK 36	501836,7	4511585	20	15	0	0	0,06	0,46	0,52
SK 37	501386,2	4511595		15	1	6 - 8,5	0,32	9,39	9,71
SK 40	500500	4511460	16	15	1	6 - 8,5	0,2	11,26	11,46
SK 43	499683,1	4511975		15	0	0	0	0,07	0,07
SK 44	499747,5	4512370		15	1	7-12	0	15,92	15,92
SK 49	499970,3	4510945		15	0	0	0,14	2,51	2,65
SK 51	500643,5	4510980	18,5	15	1	2,5 - 4	0,13	4,61	4,74
SK 52	500945,6	4511005	18	15	0	0	0,14	3,77	3,91
SK 54	501544,5	4511330	20	30	1	7 - 11	0,01	15,88	15,89
SK 56	501955,5	4510565	39	15	0	0	0,15	0,07	0,22
								Ortalama Toplam Oturma (cm)	7,83



Şekil 9.3. Köseköy Beldesi sıvılaşma potansiyeli ve sıvılaşma ile oluşacak oturmalar.

9.2. Modifiye Edilmiş Çın Kriterleri Sonuçları

Saraybahçe, Kullar ve Köseköy Beldeleri ince taneli zeminlerinin sıvılaşıma yatkınlıkları Modifiye Edilmiş Çın Kriterleri yöntemi ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme için gerekli veriler araştırma raporlarından elde edilmiştir. Aşağıda Saraybahçe, Kullar ve Köseköy Beldeleri için yapılan değerlendirmeler sırasıyla verilmektedir.

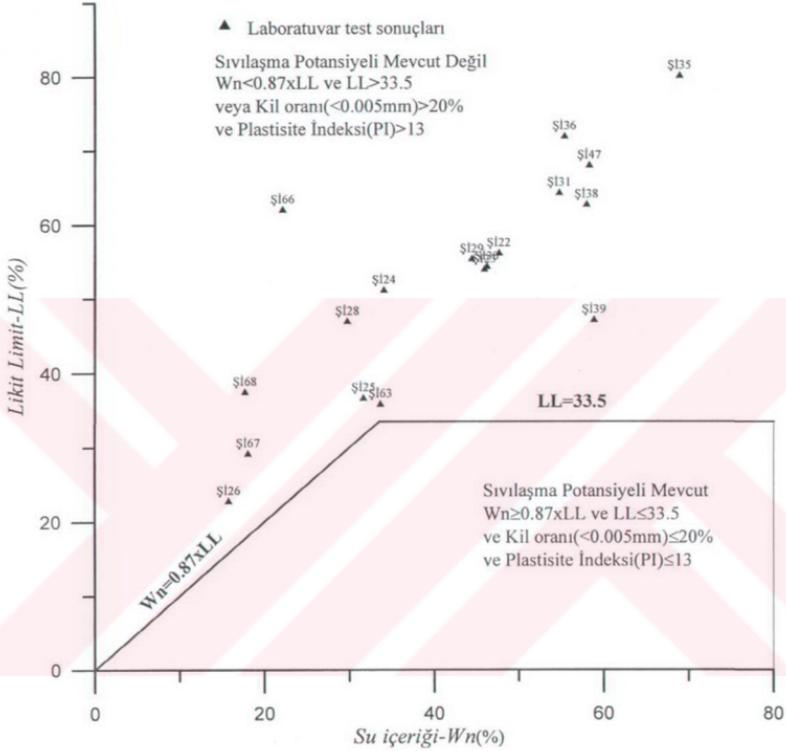
9.2.1. Saraybahçe ince taneli zeminleri

Saraybahçe yerleşim alanı için yapılan araştırma sondajlarından İzmit Havzası içine düşen kesimlerdeki 18 adet sondaj kuyusundan alınan 18 numune verisi değerlendirilmiştir (Tablo 9.4). Elde edilen veriler düzenlenerek Grapher grafik çizim programına girilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Grapher programında veriler işlenerek bir grafik oluşturulmuştur (Şekil 9.4). Şekil 9.4'te 18 kuyuya ait hiçbir numune sıvılaşıma yatkınlığı mevcut alana düşmemiştir. Bu nedenle bu alanda bulunan ince taneli zeminler için deprem yükü ile bir dayanım kaybı söz konusu olmayabilir.

Tablo 9.4. Saraybahçe Beldesi için Modifiye Edilmiş Çın Kriterlerinde kullanılan veriler.

Kuyu No	Derinlik(m)	w _n (%)	γ _n (t/m ³)	LL(%)	PL(%)	PI(%)	0.87xLL	x(LL)	y(LL)
Şİ22	15,00-15,50	47,6		56,1	25,5	30,6	48,807	0	33,5
Şİ23	15,00-15,50	45,9	1,786	53,9	25,8	28,1	46,893	10	33,5
Şİ24	21,00-21,50	34		51,1	24,5	26,6	44,457	20	33,5
Şİ25	3,00-3,50	31,6	1,947	36,6	20,8	15,8	31,842	30	33,5
Şİ26	3,00-3,50	15,8		22,7	19,9	2,8	19,749	40	33,5
Şİ28	19,50-20,00	29,7	1,896	46,9	24	22,9	40,803	50	33,5
Şİ29	22,50-23,00	44,4	1,782	55,3	26,6	28,7	48,111	60	33,5
Şİ30	16,50-17,00	46,2	1,749	54,3	26,4	27,9	47,241	70	33,5
Şİ31	19,50-20,00	54,7	1,675	64,3	29,1	35,2	55,941	80	33,5
Şİ35	9,00-9,30	68,8	1,559	80,1	31,9	48,2	69,687	90	33,5
Şİ36	13,50-13,95	55,3	1,666	71,9	31,6	40,3	62,553	100	33,5
Şİ38	12,00-12,45	57,9	1,67	62,7	28,9	33,8	54,549		
Şİ39	12,00-12,50	58,8	1,662	47,1	24,5	22,6	40,977		
Şİ47	10,50-11,00	58,2	1,672	68	30,4	37,6	59,16		
Şİ63	6,00-6,50	33,6		35,8	19,5	16,3	31,146		
Şİ66	12,00-12,50	22,1	1,973	62	29,1	32,9	53,94		
Şİ67	18,00-18,50	18,1	2,06	29,1	20,3	8,8	25,317		
Şİ68	12,00-12,50	17,7	2,059	37,4	21,8	15,6	32,538		

Saraybahçe Sondaj Logları (Ş122-68)



Şekil 9.4. Saraybahçe Beldesi ince taneli zeminlerin sıvılaşma yatkinliği grafiği.

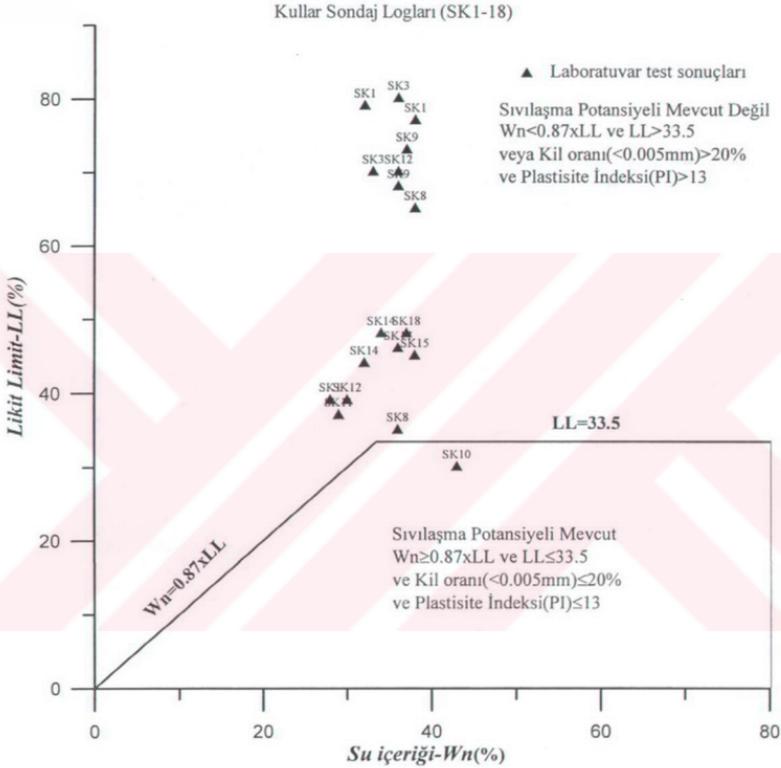
9.2.2. Kullar ince taneli zeminleri

Kullar Beldesi sondajlarının belirli derinliklerinden alınan ince taneli zemin numunelerinin laboratuvar sonuçlarına dayanarak bu değerlendirme yapılmıştır. Şekil 9.5'te görülen grafik üzerine düşürülen verileri incelediğimizde sadece bir sondaj kuyusundan alınan zemin numunesinin sıvılaşma yatkinliği mevcut bölgeye düştüğü görülmektedir. SK10 nolu sondaj kuyusunun 4.5 m'sinde bulunan bu zeminin PI baktığımızda 10 olduğu görülmektedir (Tablo 9.5). Yani sınır değer olan 13'ten küçük fakat kil oranı ($< 0.005 \text{mm}$) ile ilgili herhangi bir veri olmadığından bunun için

bir yorum yapılamamaktadır. Sıvılaşma yatkınlığı için gerekli diğer üç koşulu ($w_n \geq 0.87 \times LL$, $LL \leq 33.5$ ve $PI \leq 13$) sağlayan bu zemin depremde bir dayanım yitimi ile karşılaşılabilir. Bu zemin üzerinde ve altında bulunan kum zemin tabakaları da Standard sıvılaşma analizleri sonucunda sıvılaşma potansiyeli taşımaktadır. Bunun için bu nokta ve civarında daha detaylı araştırma yapılmalıdır.

Tablo 9.5. Kullar Beldesi için Modifiye Edilmiş Çin Kriterlerinde kullanılan veriler.

Kuyu No	Derinlik(m)	w_n (%)	γ_n (gr/cm ³)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	$0.87 \times LL$	x (LL)	y (LL)
SK1	3	38	1,80	77	47	30	66,99	0	33,5
SK1	4,5	32	1,84	79	46	33	68,73	10	33,5
SK1	7,5	28	1,86	39	21	18	33,93	20	33,5
SK3	3	36	1,83	80	48	32	69,6	30	33,5
SK3	10,5	33	1,84	70	36	34	60,9	40	33,5
SK4	3	15						50	33,5
SK4	7,5	17						60	33,5
SK8	4,5	36	1,80	35	29	9	30,45	70	33,5
SK8	12	38	1,84	65	34	31	56,55	80	33,5
SK9	4,5	36	1,84	68	27	41	59,16	90	33,5
SK9	12	37	1,85	73	41	32	63,51	100	33,5
SK10	4,5	43	1,82	30	20	10	26,1		
SK10	9	16	1,85						
SK11	4,5	29	1,81	37	24	13	32,19		
SK11	7	18	1,83						
SK12	4,5	36	1,84	70	38	32	60,9		
SK12	7,5	17	1,85						
SK12	10,5	30	1,81	39	24	15	33,93		
SK13	4,5	16	1,83						
SK13	9	18	1,88						
SK14	3	32	1,83	44	19	25	38,28		
SK14	7,5	34	1,84	48	20	28	41,76		
SK14	12	13							
SK15	4,5	38	1,82	45	25	20	39,15		
SK15	6	16							
SK15	10,5	21	1,84						
SK16	6	16							
SK17	6	18							
SK17	13,5	36	1,81	46	21	25	40,02		
SK18	3	37	1,80	48	22	26	41,76		
SK18	4,5	18							
SK18	10	17							



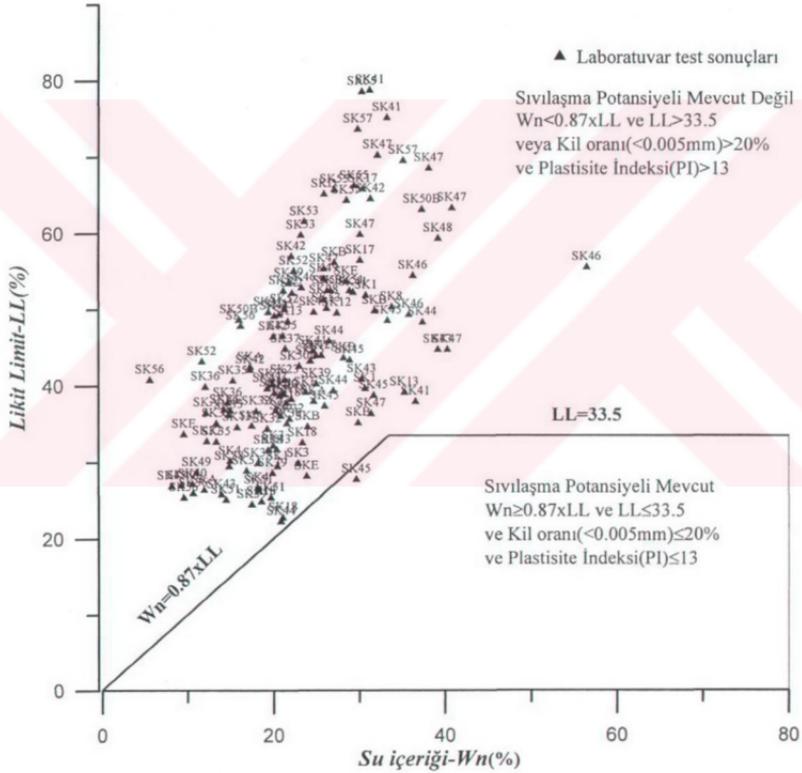
Şekil 9.5. Kullar Beldesi ince taneli zeminlerin sıvılaştırma yatkınlığı grafiği.

9.2.3. Köseköy ince taneli zeminleri

Köseköy Beldesi sondajlarının belirli derinliklerinden alınan ince taneli zemin numunelerinin laboratuvar sonuçlarına dayanarak bu değerlendirme yapılmıştır. Şekil 9.6'da görülen grafik üzerine düşürülen verileri incelediğimizde sadece bir sondaj kuyusundan alınan zemin numunesinin sıvılaştırma yatkınlığı mevcut bölgeye düştüğü görülmektedir. SK45 nolu sondaj kuyusunun 6-6.5 m'sinde bulunan bu zeminin PI bakıldığında 7.5 olduğu görülmektedir (Bkz Ek C Tablo C1). Kil oranı ($< 0.005 \text{ mm}$)

yüzdesi bu numune için tam olarak bilinmemekle birlikte bu zeminin 200 nolu elek altına geçen malzeme oranı % 93'tür. Kil oranı ($<0.005 \text{ mm}$) \leq % 20 kriterini sağlamayan fakat sıvılaşma yatkınlığı için gerekli diğer üç koşulu ($w_n \geq 0.87 \times LL$, $LL \leq 33.5$ ve $PI \leq 13$) sağlayan bu zemin depremde bir dayanım yitimi ile karşılaşabilir. Bunun için bu nokta ve civarında daha detaylı araştırma yapılmalıdır.

Köseköy Sondaj Logları (SK1-59)



Şekil 9.6. Köseköy Beldesi ince taneli zeminlerin sıvılaşma yatkınlığı grafiği.

9.3. Yapay Sinir Ağları Yöntemi Sonuçları

YSA yöntemi önce eğitim, sonra test safhalarından oluşmuştur. Eğitim seti ile eğitilen YSA, test setini sıvılaştırma riski için test etmiştir. Bu amaçla oluşturulan İzmit Havzası test seti kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar LiquefyPro standart sıvılaştırma analizi programı sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

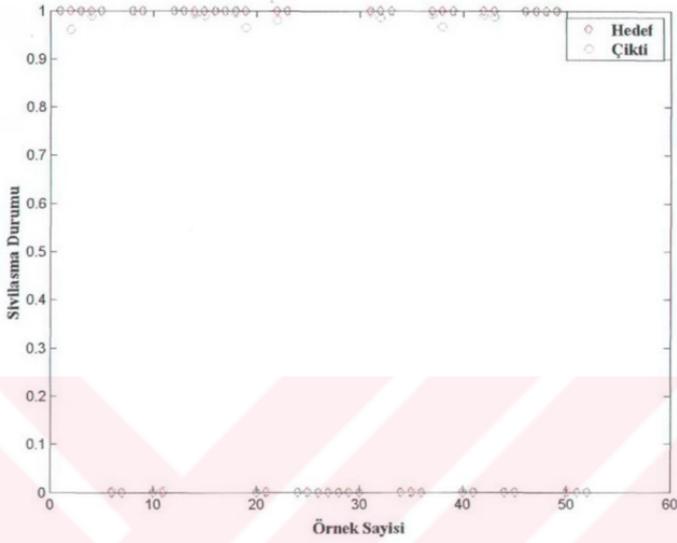
9.3.1. Eğitim safhası sonuçları

YSA yönteminde öncelikle ağı bir eğitim seti ile eğitilmesi gerekmektedir. Eğitim amaçlı kullanılan veriler (Bkz. Ek D Tablo D1) MS Office Excel programında hazırlanıp Matlab V6.5 programına aktarılarak bu program altında kullanılmıştır. Eğitim seti 52 örnek içermektedir. 52 eğitim örneğinin 29'u sıvılaştırılan, 23'ü sıvılaştırılmayan alanlardaki zeminleri temsil etmektedir. Eğitim setinin oluşturulmasında yararlanılan depremler ve zeminlere ait örnek sayıları Tablo 8.2'de verilmektedir. Eğitim sonucunda en uygun ağ yapısı ve ağ parametreleri Tablo 9.6'da görülmektedir.

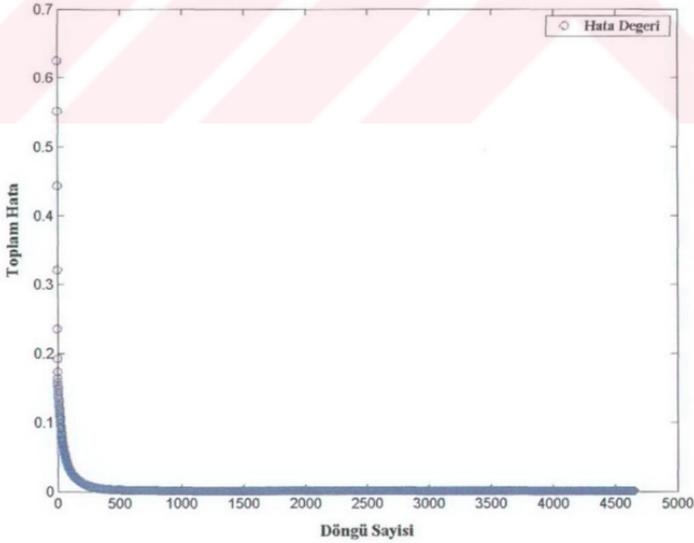
Eğitim başarı oranı eğitim sonrası yapılan postreg analizi ile belirlenir (Bkz. Şekil 8.5). Eğitim seti ile eğitilen ağı ürettiği çıktılar ile hedefler arasındaki uyum yaklaşık % 92.3 gibi bir değer vermiştir. Şekil 9.7 eğitim sonucunda ortaya çıkan hedef-çıkıtı uyumunu ve Şekil 9.8 her döngüde azalan toplam hata oranını göstermektedir.

Tablo 9.6. YSA yapısı ve parametreleri.

Girdi Sayısı	Gizli Nöron Sayısı / Transfer Fonksiyonu	Çıktı Nöron Sayısı / Transfer Fonksiyonu	Maks. Döngü	Öğrenme Oranı (Eta)
12	12/Tansig	1/Logsig	4700	0.0078



Şekil 9.7. Eğitim seti çıktıları ile hedefler arasındaki uyum.



Şekil 9.8. Eğitim Seti toplam hata oranı.

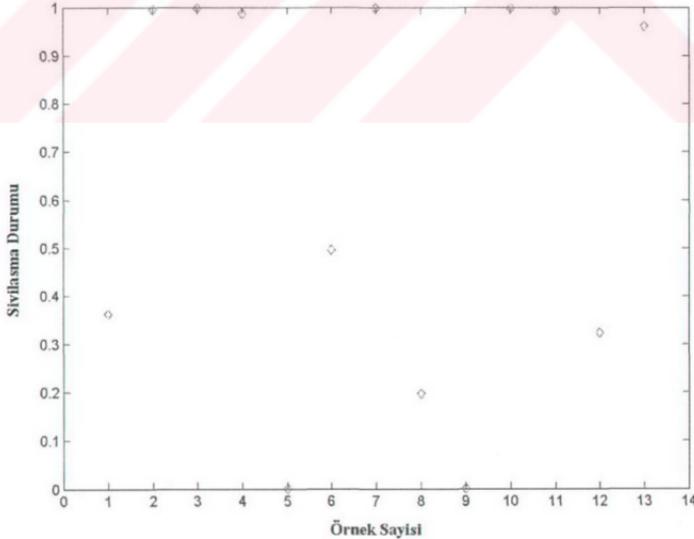
9.3.2. Test safhası sonuçları

Bu safhada İzmit Havzası beldelerinden Saraybahçe, Kullar ve Köseköy için hazırlanan test veri seti ile bu alanlar için sıvılaşma riski belirlenmiştir. Saraybahçe zeminleri YSA ile sıvılaşma riski tespiti için 12 adet sondaj kuyusundan 13 örnek geliştirilmiştir. Kullar zeminleri için 10 adet sondaj kuyusundan 13 örnek geliştirilmiştir. Köseköy zeminleri için ise 8 adet sondaj kuyusundan 20 örnek geliştirilmiştir.

Eğitim sonucunda elde edilen ağırlık ve eşik değerleri test safhasında kullanılarak Saraybahçe, Kullar ve Köseköy verilerini sıvılaşma riski için test etmiştir. Saraybahçe verilerinin (Ek D Tablo D2) test edilmesi sonucunda 7 örnek 0.98–1 arasında, 4 örnek 0.19–0.49 arasında ve 2 örnekte 0 olarak sonuç vermiştir. Bu sonuçlara göre 7 örnek için sıvılaşma potansiyeli taşıdığı, 2 örnek için ise taşımadığı söylenebilir. Diğer ara değerlere sahip örnekler için ise % 19–49 arasında sıvılaşma potansiyeline sahip oldukları söylenebilir. Bu değerler LiquefyPro sonuçları ile karşılaştırıldığında, toplam 10 örnek, sıvılaşma potansiyelinin var olup olmadığını LiquefyPro sıvılaşma analiz programı sonuçları ile aynı şekilde bilmıştır. Bu 10 örneğin 6'sı 1, 4'ü 0 değerine sahiptir. Tablo 9.7 YSA sıvılaşma testi sonuçları ile LiquefyPro sonuçlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. YSA yaklaşımı LiquefyPro yaklaşımına göre Saraybahçe zeminleri için sıvılaşma potansiyeli tespiti başarı oranı % 76.92 olmaktadır. Şekil 9.9 Saraybahçe zeminleri sıvılaşma potansiyeli test sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 9.7. Saraybahçe Zeminleri YSA test sonuçları ile LiquefyPro Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Örnek No	Sondaj Adı	Orta Derinlik (m)	YSA Test Sonucu	LiquefyPro Analiz Sonucu	YSA ile LiquefyPro Uyumu
1	Şİ-S1	10,65	0.3621	1	-
2	Şİ-S1	25,25	0.9958	1	+
3	Şİ-S5	5,25	0.9974	1	+
4	Şİ-S25	26,25	0.9868	1	+
5	Şİ-S26	24,70	0.0000	0	+
6	Şİ-S27	22,75	0.4962	0	-
7	Şİ-S31	9,75	0.9975	1	+
8	Şİ-S32	5,75	0.1966	0	+
9	Şİ-S35	27,00	0.0001	0	+
10	Şİ-S37	35,25	0.9985	0	-
11	Şİ-S40	10,25	0.9923	1	+
12	Şİ-S65	3,00	0.3222	0	+
13	SEKA/S3	18,50	0.9614	1	+

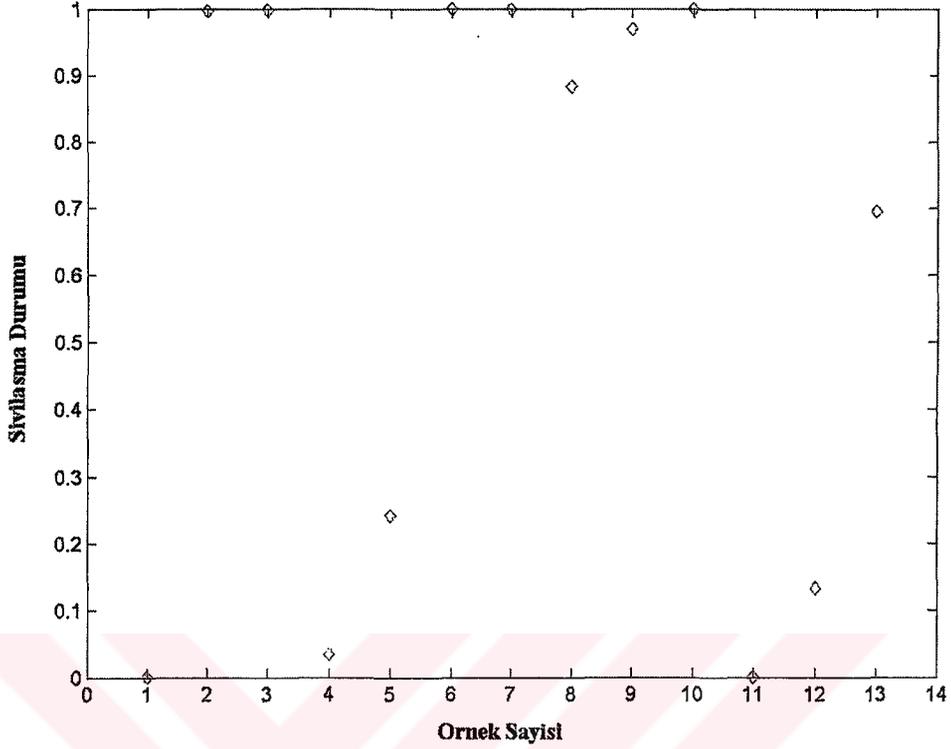


Şekil 9.9. Saraybahçe YSA sıvılaşma potansiyeli test sonuçları.

Kullar verilerinin (Ek D Tablo D3) test edilmesi sonucunda 6 örnek 0.96–1 arasında, 2 örnek 0.69–0.88 arasında, 2 örnek 0.13–0.24 ve 3 örnekte 0 olarak sonuç vermiştir. Bu sonuçlara göre 6 örnek için sıvılaşma potansiyeli taşıdığı, 3 örnek için ise taşımadığı söylenebilir. Diğer ara değerlere sahip örnekler için ise % 13–88 arasında sıvılaşma potansiyeline sahip oldukları söylenebilir. Bu değerler LiquefyPro sonuçları ile karşılaştırıldığında, toplam 8 örnek, sıvılaşma potansiyelinin var olup olmadığını LiquefyPro sıvılaşma analiz programı sonuçları ile aynı şekilde belirlemiştir. Bu 8 örneğin 7'si 1, 1'i 0 değerine sahiptir. Tablo 9.8 YSA sıvılaşma testi sonuçları ile LiquefyPro sonuçlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. YSA yaklaşımı LiquefyPro yaklaşımına göre Kullar zeminleri için sıvılaşma potansiyeli tespiti başarı oranı % 61.54 olmaktadır. Şekil 9.10 Kullar zeminleri sıvılaşma potansiyeli test sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 9.8. Kullar Zeminleri YSA test sonuçları ile LiquefyPro Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Örnek No	Sondaj Adı	Orta Derinlik (m)	YSA Test Sonucu	LiquefyPro Analiz Sonucu	YSA ile LiquefyPro Uyumu
1	SK 4	3,00	0.0000	0	+
2	SK 10	1,80	0.9969	0	-
3	SK 10	9,00	0.9973	1	+
4	SK 11	7,25	0.0344	1	-
5	SK 12	7,80	0.2421	1	-
6	SK 13	4,55	0.9997	1	+
7	SK 13	8,95	1,0000	1	+
8	SK 14	13,00	0.8835	1	+
9	SK 15	6,35	0.9688	1	+
10	SK 16	6,25	1,0000	1	+
11	SK 17	7,00	0.0004	1	-
12	SK 18	5,00	0.1331	1	-
13	SK 18	8,55	0.6953	1	+

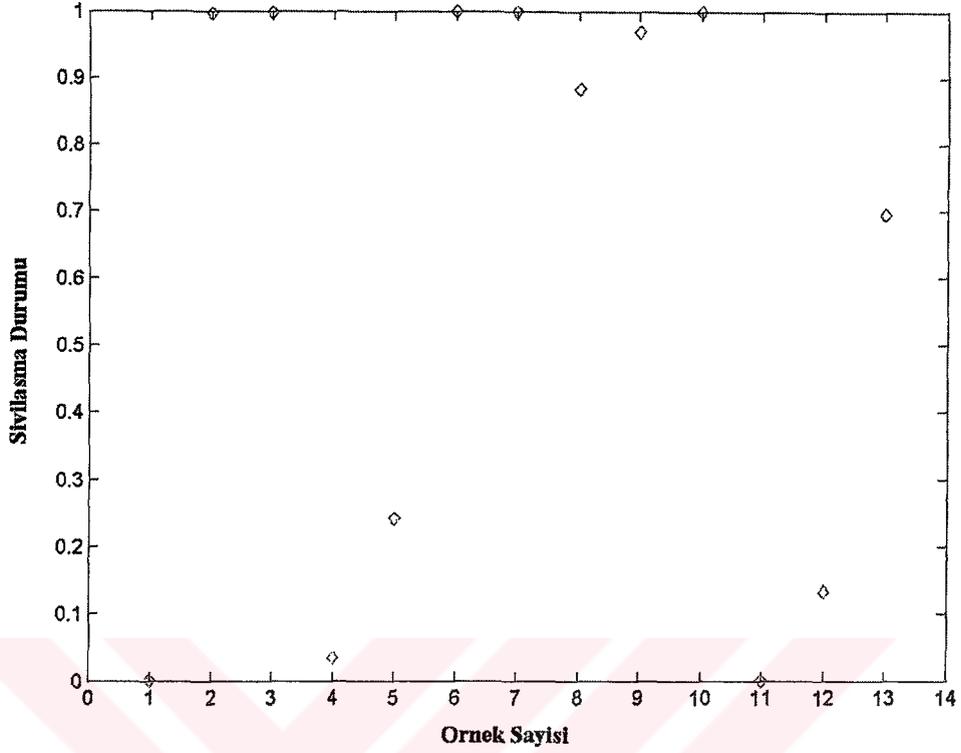


Şekil 9.10. Kullar YSA sıvılaşma potansiyeli test sonuçları.

Köseköy verilerinin (Ek D Tablo D4) test edilmesi sonucunda 18 örnek 0.99–1 arasında, 1 örnek 0.71 ve 1 örnekte 0.14 olarak sonuç vermiştir. Bu sonuçlara göre 18 örnek için sıvılaşma potansiyeli taşıdığı, 1 örnek için ise % 71 ve diğer örnek için de % 14 sıvılaşma potansiyeli taşıdığı söylenebilir. Bu değerler LiquefyPro sonuçları ile karşılaştırıldığında, toplam 9 örnek, sıvılaşma potansiyelinin var olup olmadığını LiquefyPro sıvılaşma analiz programı sonuçları ile aynı şekilde belirlemiştir. Bu 9 örneğin 8'i 1, 1'i 0 değerine sahiptir. Tablo 9.9 YSA sıvılaşma testi sonuçları ile LiquefyPro sonuçlarının karşılaştırılmasını göstermektedir. YSA yaklaşımı LiquefyPro yaklaşımına göre Köseköy zeminleri için sıvılaşma potansiyeli tespiti başarı oranı % 45 olmaktadır. Şekil 9.11 Köseköy zeminleri sıvılaşma potansiyeli test sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 9.9. Köseköy Zeminleri YSA test sonuçları ile LiquefyPro Analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Örnek No	Sondaj Adı	Orta Derinlik (m)	YSA Test Sonucu	LiquefyPro Analiz Sonucu	YSA ile LiquefyPro Uyumu
1	SK-4	7,00	1,0000	0	-
2	SK-4	12,50	0.9973	0	-
3	SK-7	3,25	1,0000	1	+
4	SK-13	3,75	1,0000	1	+
5	SK-13	10,50	1,0000	1	+
6	SK-13	13,25	1,0000	0	-
7	SK-17	6,15	1,0000	1	+
8	SK-17	2,75	0.9997	0	-
9	SK-18	5,75	1,0000	1	+
10	SK-18	7,75	1,0000	0	-
11	SK-18	9,25	1,0000	1	+
12	SK-18	15,00	1,0000	1	+
13	SK-35	2,25	1,0000	0	-
14	SK-35	5,65	0.9998	0	-
15	SK-35	8,65	1,0000	1	+
16	SK-52	3,65	0.9992	0	-
17	SK-56	3,38	0.9964	0	-
18	SK-56	1,85	0.9965	0	-
19	SK-56	10,73	0.7156	0	-
20	SK-56	13,25	0.1419	0	+



Şekil 9.11. Köseköy YSA sıvılaşma potansiyeli test sonuçları.

Bu üç yerleşim alanı zeminleri için YSA ile yapılan sıvılaşma potansiyeli tespitinde standard sıvılaşma yöntemi (LiquefyPro) sonuçları ile karşılaştırıldığında % 76.92 ile en yüksek başarı oranı Saraybahçe beldesi verileri için elde edilmiştir. Kullar Beldesi verileri ile % 61.54 bir başarı oranı ve Köseköy beldesi için ise % 45 bir başarı oranı elde edilmiştir.

LiquefyPro (CivilTech 2002) ile yapılan sıvılaşma potansiyeli analizlerinde kullanılan sondajların derinlikleri inceleme alanının Saraybahçe (batı) kesiminde 20-41.5 m, Kullar (orta) kesimde 9-18 m, ve Köseköy (doğu) kesimde 15-30 m arasında değişmektedir. Bu sondajlarda sıvılaşma derinliklerinin batı kesimde 1-29 m, orta kesimde 3-15 m, doğu kesimde 2.5-24 m'leri arasında olduğu tespit edilmiştir.

BÖLÜM 10. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İzmit Havzası genç çökellerinin depremdeki davranışlarının araştırıldığı bu çalışmada havzanın jeomorfolojik, jeolojik, mühendislik jeolojisi ve jeodinamik özellikleri incelenmiştir. Özellikle genç tutturulmamış kırıntılı çökellerin depremdeki davranışları çalışmanın asıl konusunu oluşturmaktadır. Bu değerlendirmeye dönük araştırmada aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiş ve buna göre önerilerde bulunulmuştur.

İnceleme alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Kuzey kolunun açmış olduğu graben görünümlü genç bir havzadır. Jeomorfolojik olarak havza kuzeyde Kocaeli Penepleni ve güneyde Samanlı Dağ Yükselimi arasında düzlük bir alandır. Bölgede aktivitesini devam ettirmekte olan Kuzey Anadolu Fayı inceleme alanının jeomorfolojik konumunu denetleyen ana unsurdur.

Genel tektonik yapıya bağlı olarak inceleme alanının Kuzey ve Güney yükselimlerindeki jeolojik istifler farklıdır. Kuzeyde Silüriyen'den itibaren Eosen'e kadar yer yer kesikliklerle devam eden sedimanter kayalardan oluşmuş bir istif, Güney' de ise Üst Kretase'de metamorfizmaya uğrayan metamorfik kayalar ve bunların üzerinde izlenen daha genç volkanik, volkanosedimanter ve sedimanter kayalar vardır. D-B uzanımlı havza her iki yükselimden taşınan kırıntılılarla dolmuş ve tutturulmamış genç çökellerden oluşmuştur. Tektonik aktiviteye bağlı sedimantasyon süreci devam etmektedir. Havza içindeki çökellerin sedimantolojik olarak daha detaylı araştırılması önerilmektedir.

Havza tabanını oluşturan genç çökeller, kırıntı boyutu ve mühendislik özellikleri dikkate alınarak farklı mühendislik jeolojisi birimleri olarak haritalanmıştır. İncelemenin gerçekleştirilmesi için yararlanılan jeolojik, jeomorfolojik, mühendislik

jeolojisi, hidrojeolojik ve sismolojik veri kaynaklarından elde edilen veriler bir CBS veri tabanında toplanmıştır.

Bölgenin tektonik aktivitesinin tanımlanması amacıyla Marmara Bölgesi tarihsel ve aletsel dönem depremselliği ortaya konmuştur. Türkiye ve çevresinin kayıtlı tarihsel depremlerin 4000 yıllık olduğu belirlenmiştir. Marmara Bölgesi'nde M.S. 29–1894 yılları arasında meydana gelmiş şiddetleri VI-X olan 40 tarihsel deprem tespit edilmiştir. Marmara Bölgesi'nde aletsel dönem kayıtlarından 1943–1999 yılları arasında $M_s > 5.5$ olan 6 deprem meydana geldiği belirlenmiştir. 1967 yılında Akyazı Depremi ($M_s=6.0$) ve 1999 Kocaeli Depremi ($M_s=7.8$) en küçük ve en büyük manyetüdü depremler olmuşlardır.

Genç birimlerin mühendislik özelliklerinin tanımlanması için bölgede daha önce yapılmış ve bu tez çalışması sırasında yapılmakta olan sondaj, arazi ve laboratuvar deney verileri değerlendirilmiştir. Buna bağlı olarak inceleme alanında yer alan ince ve iri taneli zeminler olarak ayırtılan mühendislik jeolojisi birimlerinin genel mühendislik ve fiziksel özellikleri şu şekilde belirlenmiştir. İnceleme alanında iri taneli zeminler birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre SW, SP, SM, SC ve GW, GP, GC türü zeminlerden, ince taneli zeminler ise CL, CH ve ML türü zeminlerden oluşmaktadır. İri taneli zeminlerden kum zeminler (SC, SM, SW, SP) SPT N_{30} değerlerine göre relatif sıklıkları gevşek-çok sıkı olup, ince tane içeriği % 3–48 arasında, orta geçirimsizlik derecesine sahip sevililer olarak tespit edilmiştir. Çakıllı zeminlerin (GP, GW, GC) SPT N_{30} değerlerine göre relatif sıklıkları sıkı, ince tane içeriği % 3–15 arasında, orta-yüksek geçirimsizlik derecesine sahip sevililer olarak tespit edilmiştir. İri taneli zeminler için elek analizlerinden elde edilen ortalama tane boyu 0.16–4.5 mm arasında olup USCS göre orta-iri taneli kum içeren zeminler olmaktadır. İnceleme alanının ince taneli zeminleri (CL, CH, ML) SPT N_{30} değerlerine göre kıvam değerleri yumuşak-sert arasında olup, geçirimsiz veya az geçirimli ortamlar olarak belirlenmiştir. Saraybahçe alanında CL ve CH ince taneli zeminlerin bir kısmı yumuşak kıvam değerlerine sahiptirler.

Sondaj, arazi ve laboratuvar çalışmaları genelde havzanın batı bölümünde Saraybahçe, Kullar ve Köseköy Beldeleri sınırları içerisinde yoğunlaşmaktadır. Buna bağlı olarak

mühendislik jeolojisi verileri ve değerlendirmeleri ile zeminlerin deprem sırasındaki davranışlarının tanımlanması genelde bu kesimlerde ele alınmıştır.

Zemin sıvılaşmasında en önemli parametrelerden biri de yeraltısuyunun konumudur. Bu amaçla havzada yeraltısuyu seviyesinin belirlenmesi ve yüzeysel beslenme alanının tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre havzanın batı kesiminde YAS seviyesi yüzeye yakın diğer kesimlerde topografyaya bağlı olarak derinlere inmektedir. YAS akım yönü GD-KB / D-B doğrultularında Marmara Denizi'ne ve GB-KD/KB-GD doğrultularında Sapanca Gölü'ne doğru gerçekleşmektedir. İzmit Havzasının toplam yüzey suyu beslenme alanı 673.80 km²'dir. Kuzey ve güney yükselimlerden İzmit Havzasına bir yüzeysel akış gerçekleşmektedir. Su bölüm hattının kuzey kesiminin İzmit Havzasını beslediği alan 185.45 km²'dir. Güney kesimde ise 312.82 km² bir alan ile havza beslenmektedir. İzmit Havzası ova kesimi ise 175.54 km²'lik bir alan teşkil etmektedir. Kuzey ve güney yükselimler arasında düz bir alan olarak bulunan ve alüvyal malzemedен oluşan İzmit Havzası, kuzey ve güney yükselimlerden gelen suların toplandığı bir su deposu gibidir.

Zeminlerin depremde fiziksel ve mühendislik özelliklerine bağlı olarak oturma, sıvılaşma vb. davranışlar gösterirler. Bu çalışmada özellikle sıvılaşma davranışları ve buna bağlı gelişen oturma miktarları araştırılmıştır. Araştırmada laboratuvar ve arazi deneyleri sonuçlarına göre farklı analiz yöntemleri kullanılmış bunun dışında veriye dayalı Yapay Sinir Ağları benzeşim modeli tasarlanarak olası davranış parametreleri sorgulanmıştır.

Sıvılaşma analizinde, zeminlerin özelliklerine göre farklı iki değerlendirme dikkate alınmıştır. İri taneli zeminlerin sıvılaşma riskinin (opportunity) belirlenmesi amacıyla Seed and Idriss (1971) tarafından geliştirilen yöntem ve bu yöntemin uygulanması için LiquefyPro (CivilTech 2002) programı kullanılmıştır. Buna göre sondajlarda iri taneli zemin seviyelerindeki SPT N₃₀ değerleri kullanılarak bu zonların sıvılaşma riskinin ve sıvılaşma veya sismik bir yükten dolayı oluşan oturma değerleri belirlenmiştir. Standart sıvılaşma analizi olarak tanımlanan bu yöntem sonucuna göre toplam 61 kuyudan 36 tanesindeki değişik kumlu seviyelerde sıvılaşma riski

belirlenmiştir. Bu kesimlerde ortalama toplam oturma 7,83 ile 13,27 cm arasında değişmektedir. En düşük oturma Saraybahçe yerleşim alanında izlenmiştir. Oturma ve sıvılaşma riski iri taneli tabakaların kalınlığı ve dağılımı ile ilişkilidir. LiquifyPro belli bir noktada sondaj kuyusundaki iri taneli zeminlerin sismik yükten dolayı zeminin sıvılaşma riski taşıyıp taşımadığını ayrıca sıvılaşmadan ve sismik yükten dolayı meydana gelebilecek oturmaları sayısal olarak hesaplamakta ve grafiksel olarak göstermektedir. Elde edilen sonuçlar CBS ortamına aktarılarak nokta bazında sıvılaşma riski ve o noktadaki oturma değerleri yardımıyla oturma konturlarının alansal dağılımı inceleme alanı içinde kalan üç belde için haritalanmıştır.

İnceleme alanı iri taneli zeminleri için LiquefyPro ile yapılan sıvılaşma analizleri sonucunda sıvılaşma riski taşıyan seviyelerin mühendislik özellikleri şu şekildedir; SPT N₃₀ değerlerine göre çok gevşek-orta sıkı, YAS sevipleri 1-6 m'ler arasında, ince tane içeriği % 5-47, ortalama tane boyu 0.1-2.6 mm (orta-iri taneli kum), USCS'deki zemin sınıfları SM, SW, SP, SC, GC ve sıvılaşma derinliği 1-29 m olarak tespit edilmiştir.

İnce taneli zeminlerin (ince kum-silt) sıvılaşma yatkınlığının (susceptibility) belirlenmesi için Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri yöntemi kullanılmıştır. Zeminlerin kıvam ve indeks özellikleri dikkate alınarak uygulanan bu yöntem sonucunda toplam iki sondaj alanında sıvılaşma yatkınlığı belirlenmiştir. Laboratuvar deneylerinin yetersiz olması bu analiz yönteminin daha kesin sonuç vermesini engellediği tahmin edilmektedir. İnce taneli zeminlerin sıvılaşma yatkınlığının belirlenmesinde bu tip analitik yöntemler yanında, dinamik laboratuvar deneyleri de uygulanmalıdır.

Bu iki deterministik sıvılaşma analizi yanında veriye dayalı bir yöntem olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile de sıvılaşma değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla Matlab V 6.5 programı editöründe biri eğitim ve diğeri test olmak üzere iki algoritma yazılmıştır. Türkiye sınırları içinde meydana gelmiş daha önceki depremlerde sıvılaşmış ve sıvılaşmamış alanlardaki zeminlerin verileri yardımıyla hazırlanan bir eğitim seti ile eğitilen YSA, ikinci aşamada İzmit Havzası zemin verilerini belli bir deprem karşısında sıvılaşabilirlik için test amaçlı kullanılmıştır. Eğitilen ağın 1 (sıvılaşma var) ve 0 (sıvılaşma yok) değerlerine tam olarak ulaşmadaki başarı oranı

% 92.3 olmuştur. YSA ile elde edilen sıvılaşma potansiyeli (riski) analiz sonuçları, standard sıvılaşma yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Eğitim safhası başarı oranı yüksek olmasına karşın test safhası başarı oranlarının düşük olması eğitim setinde bulunan örneklerin tüm durumları öğrenecek kadar yeterli olmadığı söylenebilir. Eğitim setindeki örneklerin sayısının artırılması test safhasındaki başarı oranını arttıracaktır.

YSA ile elde edilen sıvılaşma riski taşıyan zemin özellikleri şu şekilde belirlenmiştir. Tabaka kalınlıkları 1-6 m arasında, tabaka derinlikleri 3.25-26.25 m'lerde, zemin türü SM, SC, SP, SW olan zeminler, doğal su muhtevası % 13.4-37 arasında, ince tane oranı % 5-47, YAS su seviyesi 1-5.5 m'ler arasında, SPT N_{30} değerleri 6-36 ve zeminin ortalama dane boyu 0.1-2.5 mm özelliklere sahip seviyelerde sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir.

YSA yöntemi uygulanırken dikkat edilmesi gereken nokta eğitim setindeki verilerin ön yargılı olarak durumları aşırı veya eksik bir şekilde temsil etmesi olmaktadır. YSA bir hesaplama aracı olarak sıvılaşma analizlerinde zemin ve sismik parametreler arasında güçlü bir ilişki sağlar. YSA zeminlerin arazide buldukları gerçek koşulları öğrenerek farklı koşullarda bulunabilecek durumdaki zeminlerin davranışını test eder. Bu olayı ortaya koyabilmek için çok geniş bir veri kaydı gerekmektedir. Daha fazla veri ile daha doğru ve hassas sonuçlar elde edilir. Zeminlerin durumlarını ortaya koymada gerekli verilerin eksikliği eğitim ve test safhasının yetersiz kalmasına neden olur. Bu nedenle veri eğitim ve test safhalarının en önemli parçaları olmaktadır. Durumu ortaya koyacak gerekli verilerin var olması hem işlemleri hızlandırmakta hem de modelin daha iyi çalışmasını sağlamaktadır. Bu incelemede karşılaşılan sorunların başında veri paylaşımının çok kısıtlı veya hiç olmaması gelmiştir.

KAYNAKLAR

1. ABDÜSSELAMOĞLU, Ş., 1963. Kocaeli Yarımadası'nın Jeolojisi. M.T.A. Ens. Rapor No. 3249 (Yayınlanmamış), 40 s., İstanbul.
2. ABDEL-RAHMAN A. M., GUIRGUIS N. S., and EL GINDY A., 1995. Assesment of liquifaction potantial in El- Fayoum area, Egypt. 7th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, A.S. Çakmak and C.A.Brebbin (Editors), 200-206 pp., Computational Mechanics Publications, Crete, Greece
3. ADALIER, K., and AYDINGÜN, O., 2000. Liquefaction During the June 27, 1998 Adana-Ceyhan (Turkey) Earthquake. Kluwer Academic Publishers, Geotechnical and Geological Engineering 18, pp. 155-174, Netherlands.
4. AIJ, 1993. Earthquake Motion and Ground Conditions. 596 p., Tokyo, Japan.
5. AKARTUNA, M., 1968. Armutlu Yarımadası'nın Jeolojisi. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Monografileri, Sayı 20, 105 s., İstanbul.
6. ALTINLI, İ., E., 1968. İzmit-Hereke-Kurucadağ Alanının Jeoloji İncelemesi. M.T.A. Mecmuası, Sayı 71, 1-26 ss., Ankara.
7. AMBRASEYS, N. N., and FINKEL, C. F., 1991. Long-term Seismicity of İstanbul and of the Marmara Region. Engineering Seis. Earthquake, Engineering Report 91/8, Imperial College.
8. ANDRUS, R. D., and STOKOE, K. H., 1998. Liquefaction Resistance Based on Shear Wave Velocity. Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, T. Y. Youd and I. M. Idriss (Editors), 40 p., NCEER, Buffalo, New York.
9. ANNUAL BOOK of A.S.T.M. STANDARDS, 1999. Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil, Volume 04.08, D1586-99, pp. 145-149, PA, USA.
10. ANSAL, A. M., and LAV, M. A., 1995. Geotechnical Factors in 1992 Erzincan Earthquake. Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation, Volume 1, pp. 667-674, Nice, France.
11. AYDAN Ö., ULUSAY R., KUMSAR H., SÖNMEZ H., and TUNCAY E., 2000. A Site Investigation of Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998. TDV/DR 006-30, II. Baskı, 131 s., İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Maslak/İstanbul.

12. BAISE G., BRANKMAN C. M., HIGGINS R. B. and DAWSON K. M., 2004. Liquefaction Hazard Mapping in Boston, Massachusetts, Final Technical Report, U.S.G.S. National Earthquake Hazard Reduction Program, 63 p.
13. BARAI, S. V., and AGARWAL, G., 2002. Studies on Instance Based Learning Models for Liquefaction Potential Assesment. EJGE, Volume 7, Bundle B, 12 p. (www.ejge.com/index_ejge.htm).
14. BARAI, S.V., 2003. Machine Learning Classifier for Seismic Liquefaction Potential Evaluation. EJGE, Volume 8, Bundle C.
15. BARGU, S., ve SAKINÇ, M., 1987. Armutlu Yarımadasında Kretase Paleosen İlişkisi. Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 30, Sayı 2, 41-47 ss.
16. BARGU, S., ve SAKINÇ, M., 1989/1990. İzmit Körfezi ile İzmit Gölü Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi ve Yapısal Özellikleri. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, Cilt 7, 45-76 ss
17. BARGU, S., 1993. Sapanca Gölü Çevresindeki Orta Pleyistosen Çökellerinin Stratigrafisi, Yakın Dolayındaki Çökellerle Karşılaştırılması ve Tektonik Özellikleri. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, Sayı 8
18. BARGU, S., ve YÜKSEL, F.A., 1993. İzmit Körfezi'nin Kuvaterner Deniz Dibi Çökellerinin Stratigrafik ve Yapısal Özellikleri ile Kalınlıklarının Dağılımı. Jeoloji Mühendisleri Odası, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, S.8.
19. BARKA, A. A., and KADINSKY-CADE, K., 1988. Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and its Influence on Earthquake Activity. *Tectonics* 7, No:3, pp. 663-684.
20. BARKA, A., and GÜLEN, L., 1988. New Constraints on Age and Total Offset of the North Anatolian Fault Zone: Implications for Tectonics of the Eastern Mediterranean Region. *METU Journal of Pure and Applied Sciences* 21, 39-63.
21. BARKA, A., 1992, The North Anatolian fault zone: *Annales Tectonicae*, V.6, suppl., p.164-195
22. BARKA, A. A., 1997. Neotectonics of the Marmara Region. *Active Tectonics of the Northwestern Anatolia, The Marmara Poly Project*. C. Schindler and M. Pfister (Editors), 55-87 pp., Zurich.
23. BARKA, A., SAKINÇ, M., ve YALTIRAK, C., 1998. Marmara Denizi'nin Jeolojisi ve Jeofiziği. *Türkiye Denizlerinin ve Yakın Çevresinin Jeolojisi*, N. Görür (Editör), ss. 131-210, İstanbul.
24. BAY, A. J., and COX, B., 2001. Shear Wave Velocity Profiling and Liquefaction Assesment of Sites Shaken by the 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake. Department of Civil Environmental Engineering, Utah State University, 168 p., Logan, Utah.

25. BAYKAL, F., 1943. Şile Bölgesi'nin Jeolojisi. İ.T.Ü. Fen Fakültesi Monografisi, Sayı 3, 233 s., İstanbul.
26. BEYEN K., and ERDİK, M., 2004. Two-Dimensional Nonlinear Site Response Analysis of Adapazarı Plain and Predictions Inferred from Aftershocks of the Kocaeli Earthquake of 17 August 1999. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 24, pp. 261-279.
27. BLAKE, T.F., 1997. Summary Report of Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. T. L. Youd, and I. M. Idriss, (Editors), Technical Report NCEER 97-0022.
28. CASTRO, G., 1987. On the Behaviour of Soils During Earthquakes-Liquefaction. Soil Dynamics and Liquefaction , A. S. Çakmak (Editor), Elsevier Science Publication, pp. 169-204, Amsterdam.
29. CHERN, S. G., HU, R. F., CHANG, Y. J., and TSAI, I. F., 2002. Fuzz – Art Neural Networks for Predicting Chi-Chi Earthquake Induced Liquefaction in Yuan – Lin Area. Journal of Marine Science and Technology Vol. 10, No.1, pp. 21 – 32.
30. CHRISTIAN J.T., and SWIGER W. F., 1975. Statistics of Liquefaction and SPT Results. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.10, No. GT7.
31. CHU, B. L., S. C., HSU and CHANG, Y. M., 2003, Ground Behaviour and Liquefaction Analyses in Central Taiwan-Wufeng. Elsevier Engineering Geology, Volume 71, No 1, pp.119 - 139.
32. CIVILTECH SOFTWARE, 2002. LiquefyPro: Liquefaction and Settlement Analysis Software Manual, Version 3.1B, 50 p., Palo Alto, California, U.S.A.
33. CLOSE, U., and McCORMICK, E., 1922. Where the Mountains Walked. National Geographic, Vol. 41, No. 5, pp. 445-464.
34. CORUK Ö., ÖZER C., ve MERT E., 1997. Yeraltısuyu Havzalarının Korunması, İzmit Havzası Örneği. Su ve Çevre Sempozyumu, ss. 331-338, İstanbul.
35. CORUK, Ö., KARAKAŞ, A., ÖZER, C., ve MERT, E., 2001. İzmit ve Yakın Dolayının Mühendislik Jeolojisi Haritalarının CBS ile Üretilmesi. Kocaeli Üniversitesi Araştırma Fonu Projesi 1999/19, İzmit, Kocaeli.
36. CRAMPIN, S., and EVANS, R., 1986, Neotectonics of the Marmara Sea Region in Turkey. Journal of Geological Society, 143. ss. 343-348.
37. ÇAKIR, Ş., 2000. Demirciler-Sadıklar-Gündoğdu-Tütünçiftlik (Kocaeli) Bölgesinin Jeolojisi. Doktora Tezi (Yayınlanmamış). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 165 s., İzmit, Kocaeli.

38. ÇETİN, K. Ö., BAKIR, S., ULUSAY, R., ve GÜLKAN P., 2003. Mayıs 2003 Bingöl Depremi İnceleme Raporu. TDV/DR 014-86, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul.
39. DAD, 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. P. Gülhan, A. Koçyiğit, M. S. Yüccemen, V. Doyuran ve N. Başöz (Hazırlayanlar). T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
40. DeMETS, C., GORDON, R. G., ARGUS, D.F., and STEIN, S., 1994. Effects of Recent Revisions to the Geomagnetic Reversal Time Scale on Estimates of Current Plate Motions. *Geophysical Research Letters*, V.21, pp. 2191–2194.
41. DEMİRTAŞ, R., ve YILMAZ, R., 1996. Türkiye'nin Sismotektoniği. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Yayını, Ankara.
42. DEMUTH, H. and BEALE, M., 2002. *Neural Network Toolbox User's Guide Version 4*. The Mathworks Inc., 840 p., MA, U.S.A.
43. DMG SP 117, 1999. *Guidelines for Analyzing and Mitigating Liquefaction Hazards in California*. Southern California Earthquake Center, 63 p., University of Southern California, California, U.S.A.
44. DOĞAN, B., 1998. Yuvacık (İzmit)-Sapanca (Sakarya) Dolayı Orta Pleyistosen Çökellerinin Stratigrafisi ve Kuzey Anadolu Fayı Deformasyonel Analizleri. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu İkinci Toplantısı*, ss. 130-140, İ.T.Ü., İstanbul.
45. DURGUNOĞLU, T., SANCIO, R. B., BRAY, J. D., KARADAYILAR, T., ve ÖNALP, A., 2000. Sıvılaştırmış Zeminlerde Zemin Davranışı Modellemesinde Kullanılan Zemin Araştırma Yöntemleri-Adapazarı Örneği. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi*, 8 s., İ.T.Ü., İstanbul.
46. EERI, 2000. 1999 Kocaeli, Turkey, Earthquake Reconnaissance Report. *Earthquake Spectra* 16, Supplement A, 461 p., Oakland, California.
47. EMRE, Ö., ERKAL, T., TCHEPALYGA, A., KAZANCI, N., KEÇER, M., ve ÜNAY, E., 1998. Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaterner'deki Evrimi. *M.T.A Dergisi No:120 (Ayrı Baskı)*, ss. 289-314, Ankara.
48. EMREM, C., 2000. *CPT As a Tool in Assessment of Soil Improvement Against Liquefaction*. Doktora Tezi (Yayınlanmamış), Boğaziçi Üniversitesi, 305 s., Bebek, İstanbul.
49. ERDİK, M., ANSAL, A., AYDINOĞLU, N., BARKA, A., YÜZÜGÜLLÜ, Ö., BİRGÖREN, G., SWIFT, J., ALPAY, Y., and ŞEŞETİYAN, K., 2000. Development of Earthquake Master Plan for The Municipality of İzmir. *Proceedings of the Sixth International Conference on Seismic Zonation*, EERI November 12-15, Palm Springs, San Francisco.

50. ERENDİL, M., GÖNCÜOĞLU, M. C., TEKELİ, O., AKSAY, A., KUŞÇU, İ., ÜRGÜN, M. B., TEMREN, A., ve TUNAY, G., 1991. Armutlu Yarımadasının Jeolojisi. MTA Rap. No:9165.
51. ERI, 1999. 9908170001 Turkey, Kocaeli Earthquake CMT Solutions. University of Tokyo.
52. ERKEN, A., ve ÜLKER, R., 1994. Erzincan Eksisi’da Sıvılaşma Potansiyeli ve Yerel Zemin Koşulları. İ.T.Ü. Araştırma Fonu Projesi (Yayınlanmamış), 70 s., İstanbul.
53. ERKEN, A., ANSAL, A., YILDIRIM, H., ÜLKER, R., SANCAR, T., and KILIÇ, C., 1995. Liquefaction of Silt and Sand Layers in Erzincan-Eksisi. First Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, Vol.1, pp. 13-18, Tokyo.
54. ERKEN, A., 1999. The Effect of Soil Condition During Kocaeli Earthquake, <http://geophysics.gg.utk.edu/izmit/lig.htm>
55. ERKEN, A., and OKAN, R., 1999. Behaviour of Soils during June 27, 1998 Adana-Ceyhan Earthquake. International Conference on Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region. Near East University, Nicosia, North Cyprus.
56. ERKEN, A., ÖZAY, R., KAYA, Z., ÜLKER, M. B. C., ve ELİBOL, B., 2004. Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları. Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 431, ss. 20–26.
57. EROSKAY, S. O., 1978. Kocaeli Yarımadası Güneyindeki Kireçtaşlarının Hidrojeolojisi ve Karst Parametrelerinin Analizi. TÜBİTAK TBAG–124 Projesi, Ankara.
58. ESRI, 2002. Map Book Volume 17, Geography and GIS-Sustaning our World. N. Sappington (Editor), 116 p. Redlands, California, U.S.A.
59. FIGUEROA, J. L., SAADA, A.S., LIANG L. and DAHISARIA N. M., 1994. Evaluation of Soil Liquefaction by Energy Principles. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 120, No. 7, pp. 1554–1569.
60. GEDİK, A., KORKMAZ, S., 1984. Sinop Havzasının Jeolojisi ve Petrol Olanakları. Jeoloji Müh. Dergisi, 19, ss. 53–80.
61. GENÇOĞLU, S. ve AYHAN, E., 1974. İzmit İli Mikrobölgeleme Etüdünde Yapılan Mikrotremor Çalışmaları. Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Sayı 5, 28-51ss.
62. GEOS GEOTEKNİK ve SONDAJCILIK LTD. ŞTİ., 2000. İzmit Büyükşehir Belediyesi Saraybahçe Belediye Sınırları Jeolojik-Jeofizik-Jeoteknik Etüd Raporu, 437 s.

63. GOH, A.T.C, 1994. Seismic Liquefaction Potential Assessed by Neural Networks. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 120, No. 9, pp. 1467–1480.
64. GOH, A. T. C., 1996. Neural-Network Modeling of CPT Seismic Liquefaction Data. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 1, pp. 70–73.
65. GOH, A.T.C., 2002. Probabilistic Neural Network for Evaluating Seismic Liquefaction Potential. *Canadian Geotechnical Journal* 39, pp. 219–232.
66. GUO H-Y, CHIANG C-F, LIU T-S, CHU J-L and LIU J-C, 2000. The Study for Assesment of Susseptibility to Soil Liquefaction in Taiwan. The 21st Asian Conference on Remote Sensing (ACRS), Taipei, Taiwan.
67. GÖNCÜOĞLU, C., 1991. Armutlu Yarımadası'nın Jeolojisi Raporu. (Yayınlanmamış), M.T.A. Arşiv No: 42529.
68. HERECE, E., ve AKAY, E., 2003. KAF Boyu Jeoloji Atlası. M.T.A. Genel Müdürlüğü, Ankara.
69. HOSSEINI, S. M., GHASSEMI, A., and AREFPOUR B., 2004. Liquefaction Potential Studies for Southern Part of Tehran, Iran. *EJGE*, Volume 9, Bundle C.
70. HOŞGÖREN M. Y., 1995. İzmit Körfezi Havzası'nın Jeomorfolojisi. İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi E. Meriç (Editör), ss. 343–347, Kocaeli Valiliği Çevre Koruma Vakfı, Kocaeli.
71. IAEG, 1981. Rock and Soil Description and Classification for Engineering Geological Mapping Report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No.24, pp. 235–274, Aachen-Essen, Germany.
72. ISHIIHARA, K., VERDUGO, R., and ACACIO, A. A., 1991. Characterization of Cyclic Behaviour of Sand and Post-Seismic Stability Analyses. *Proceedings of the 9th Asian Regional Conf. Soil Mech. Found. Engrg.*, Vol. 2, December, pp. 45-67, Bangkok, Thailand.
73. ISHIIHARA, K., and YOSHIMINE, M., 1992. Evaluation of Settlements in Sand Deposits Following Liquefaction During Earthquakes. *Soils and Foundations*, 32, 173-88.
74. ISHIIHARA, K., 1993. Liquefaction and Flow Failures during Earthquakes. *Geotechnique*, Vol. 43, No. 3, pp. 351–415.
75. ISHIIHARA, K., 1996. *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*. Oxford University Press, 350 p. New York.
76. IWASAKI, T., TOKIDA, K., TATSUOKA, F., WATANABE, S., YASUDA, S., and SATO, H., 1982. Microzonation for Soil Liquefaction Potential Using

Simplified Methods . Proceedings of the 3rd Int. Conf. on Microzonation, Vol.3, pp. 1319–1330, Seattle.

77. İ.T.Ü., 1999. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi Ön Değerlendirme Raporu. (www.itu.edu.tr/deprem).
78. JENG, D. S., CHA, D. H., and BLUMENSTEIN M., 2003. Application of Neural Network in Civil Engineering Problems. International Internet Processing Systems Interdisciplinaries, 6 p., Sveti Stefan, Montenegro.
79. JSCE, 2000. 17 August 1999 Kocaeli (Turkey) Earthquake Report. M. Hamada, J. Tohma and Ö. Aydan, (Editors). 147 p. Tokyo, Japan.
80. JSCE, 2003, The Bingöl Earthquake of May 1, 2003 Earthquake Report. Ö. Aydan, R. Ulusay and M. Miyajima (Editors), 94 p., Tokyo, Japan.
81. JUANG, C., and CHEN, C. J., 2000. A Rational Method for Development of Limit State for Liquefaction Evaluation based on Shear Wave Velocity Measurements. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics 24, pp. 1-27.
82. KAHLE, H. G., COCARD, M., PETER, Y., GEIGER, A., REILINGER, R., BARKA, A., and VEIS, G., 2000. GPS Derived Strain Rate Field within the Boundary Zones of the Eurasian, African and Arabian Plates. Journal of Geophysical Research 105, 23 353–23 370.
83. KASAPOĞLU, K., E., ULUSAY, R., GÖKÇEOĞLU, C., SÖNMEZ, H., BİNAL, A., ve TUNCAY, E., 1999. 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi Jeoteknik Saha İnceleme Raporu. Hacettepe Üniversitesi, Müh. Fakültesi Jeol. Müh. Böl., Uygulamalı Jeol. ABD, Ankara.
84. KETİN, İ., ve GÜMÜŞ, A., 1963. Sinop Ayancık Arasında III. Bölgeye Dahil Sahaların Jeolojisi. T.P.A.O. Rapor No:288 (Yayınlanmamış) İstanbul.
85. KETİN İ., 1969, Kuzey Anadolu Fayı Hakkında. M.T.A Enstitüsü Dergisi, Sayı 72, ss 1-27.
86. KETİN İ., 1973. Genel Jeoloji. İ.T.Ü Yayını, 4. Baskı, 340 s., İstanbul.
87. KNUDSEN, K. L., SOWERS, J. M., WITTER, R. C., WENTWORTH, C. M. and HELLEY, E. J., 2000. Description of Mapping of Quaternary Deposits and Liquefaction Susceptibility, Nine-County San Francisco Bay Region. U.S.G.S Open-File Report 00-444, 60 p., California.
88. KOBAYASHI, Y., 1981. Causes of Fatalities in Recent Earthquakes in Japan. Journal of Disaster Science, Vol. 3, pp. 15-22.

89. KORAL H. ve ERYILMAZ M., 1995. İzmit Körfezi'nin Tektoniği. İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi, E. Meriç (Editör) ss. 277–283, Kocaeli Valiliği Çevre Koruma Vakfı, Kocaeli.
90. KÖSEBAY, M., 1972. Predominant Period of Alluvial Soils by Microtremor Measurements. M.Sc.Thesis (Unpublished), Boğaziçi University, 162 p., İstanbul.
91. KRAMER, S. L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, 653 p., Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A.
92. KURU, T., 2001. Adana – Ceyhan Depreminde Alüvyal Zeminlerin Sıvılaşma Davranışı ve Yapısal Hasarlar Üzerindeki Etkisinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 127 s., Ankara.
93. M.T.A., 2002. Arslanbey Stabilize Taş Ocağı Jeolojik Etüd Raporu. M.T.A. Marmara Bölge Müdürlüğü, 7 s., İzmit, Kocaeli.
94. M.T.A., 2003. Kocaeli İlinin Jeoloji Haritası. M.T.A. Marmara Bölge Müdürlüğü, İzmit, Kocaeli.
95. MANSOOR, N. M., NIEMI, T. M., and MISRA, A., 2004. A GIS-Based Assessment of Liquefaction Potential of the City of Aqaba, Jordan. Environmental & Engineering Geoscience, Vol. X, No. 4, pp. 297-320.
96. MARTIN, G. R., FINN, W. D. L., and SEED, H. B., 1975. Fundamentals of Liquefaction Under Cyclic Loading. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 101, No. GT5, May, pp. 423-438.
97. MATHWORKS, 1995. Matlab Version 4 User's Guide. The Math Works Inc., Prentice Hall, Englewood Cliffs, 833 p., New Jersey, USA.
98. McCLUSKY, S., BALASSANIAN, S., BARKA, A., DEMİR, C., ERGİNTAV, A., et al. 2000. GPS Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. Journal of Geophysical Research 105, pp. 5695–5719.
99. MEGASON MÜH. MÜŞ: İNŞ. TİC. LTD. ŞTİ., 2000. Kullar (İzmit) Belediyesi Yerleşim Alanının Jeolojik – Jeofizik – Jeoteknik Etüt Raporu (Eylül), İzmit.
100. MOLLAMAHMUTOĞLU, M., KAYABALI, K., BEYAZ, T. and KOLAY, E., 2003. Liquefaction-Related Building Damage in Adapazarı during the Turkey Earthquake of August 17,1999. Elsevier Engineering Geology 67, pp. 297–307.
101. NCEER, 1997. Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research. 40 p., NCEER-97-0022, Buffalo, New York, U.S.A.

102. NEFESLİOĞLU, H. A., TÜN, M., ve AZDİKEN, S., 2001. Eskişehir Yerleşim Yeri Zemin Türlerinin ve Sıvılaşma Potansiyelinin Konik Penetrasyon Testi (CPT) ile Belirlenmesi. 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.
103. NRC, 1985. Liquefaction of Soils during Earthquakes. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A.
104. ÖZMEN, B., 2000. 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi'nin Hasar Durumu. TDV/DR 010-53, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul.
105. ÖZTEMEL, E., 2003. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, 232 s., İstanbul.
106. PARKE, J. R., MINSHULL, T. A., ANDERSON, G., WHITE, R. S., MCKENZIE, D., KUŞÇU, İ., BULL, J. M., GÖRÜR, N., and ŞENGÖR, C., 1999. Active Faults in the Sea of Marmara, Western Turkey, Imaged by Seismic Reflection Profiles. Terra Nova 11, pp. 223-227.
107. PECK, R. B., HANSEN, W. E., and THORNBURN, T. H., 1974. Foundation Engineering. John Wiley and Sons Inc., 514 p., New York.
108. PERLEA, V. G., KOESTER, J. P. and PRAKASH, S., 1999. How Liquefiable are Cohesive Soils? Proceedings 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Vol. 2, pp. 611-618, Lisbon, Portugal.
109. PREVOST, J.H., and POPESCU, R., 1996. Constitutive Relations for Soil Materials. EJGE, Vol.1 (Premiere Volume), 42 p. (www.ejge.com/index_ejge.htm).
110. ROBERTSON, P. K., WOELLER, D. J., and FINN, W. D. L., 1992. Seismic Cone Penetration Test for Evaluating Liquefaction Potential Under Cyclic Loading. Canadian Geotech. J., Vol. 29, No. 4, August, pp. 686-695.
111. SAĞIROĞLU, Ş., BEŞDOK, E., ve ERLER, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları I: Yapay Sinir Ağları. Ufuk Kitap-Kırtasiye Yayıncılık, 426 s., Kayseri.
112. SAKINÇ, M., ve BARGU, S., 1989. İzmit Körfezi Güneyindeki Geç Pleyistosen (Tireniyen) Çökel Stratigrafisi ve Bölgenin Neotektonik Özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 32, ss. 51-64.
113. SANCIO, R. B., BRAY, J. D., STEWARD, J. P., YOUND, T. L., DURGUNOĞLU, H. T., ÖNALP, A., SEED, R. B., CHRISTENSEN, C., BATURAY, M. B., and KARADAYILAR, T., 2002. Correlation Between Ground Failure and Soil Conditions in Adapazarı, Turkey. Soil Dynamic and Earthquake Engineering (Elsevier), Vol. 22, pp. 1093-1102.
114. SANTI, P. M., NEUNER, E. J., and ANDERSON, N. L., 2002. Preliminary Evaluation of Seismic Hazards for Emergency Rescue Route U.S. 60, Missouri. Environmental & Engineering Geoscience, Vol. VIII, No. 4, pp. 261-277.

115. SAYAR, C., 1970. Boğaziçi Arazisinde Ordovisiyen Conularia'ları. Türkiye Jeol. Kur. Bült., Sayı 12.
116. SAYGILI, G., HANNA, A. M., and URAL, D., 2005. Neural Network Model for Liquefaction Potential in Layered Soils Using Turkey and Taiwan Earthquake Data. ASCE Civil Engineering Database (Abstract). ([www.pubs.asce.org / www.display.cgi? 0500443](http://www.pubs.asce.org/www.display.cgi?0500443))
117. SEED, H. B., and IDRIS, I.M., 1971. Simplified Procedure for Evaluation Soil Liquefaction Potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 97, No. SM9, pp. 1249-1273.
118. SEED, H. B., and SILVER, M. L., 1972. Settlement of Dry Sands During Earthquakes. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol.98, No. SM4, pp. 381-397.
119. SEED, H. B., 1976. Some Aspects of Sand Liquefaction Under Cyclic Loading. Proceedings, Conference on Behavior of Offshore Structures. Norwegian Institute of Technology, Oslo.
120. SEED, H. B., and IDRIS, I. M., 1982. Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes. EERI, pp.134, Berkeley, California.
121. SEED, H. B., TOKIMATSU, K., and HARDER, L., 1984. The Influence of SPT Procedures in Evaluating Soil Liquefaction Resistance. Report UCB/EERC-84-15, Earthquake Engineering Research Center. University of California, Berkeley.
122. SEED, H.B., TOKIMATSU, K., HARDER, L. F., and CHUNG, R. M., 1985. Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 12, pp. 1425–1445.
123. SETA SONDAJ LTD.ŞTİ., 2000. Kocaeli Merkez Köseköy Belediyesi Revize İmar Planına Esas Jeolojik – Jeoteknik Etüt Raporu (Haziran).
124. SEYMEN, İ., 1995. İzmit Körfezi ve Çevresinin Jeolojisi. İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi, E.Meriç (Editör), ss. 1–21, Kocaeli Valiliği Çevre Koruma Vakfı, Kocaeli.
125. SHAHIN, M. A., JAKSA, M. B., and MAIER, H. R., 2001. Artificial Neural Network Applications in Geotechnical Engineering. Australian Geomechanics 36 (1), 49-62 pp.
126. SNIEDER, R., and BEUKEL, A., 2004. The liquefaction cycle and the role of drainage in liquefaction. Granular Matter 6, 1-9 pp., Springer- Verlag
127. SILVER, M. L., and SEED, H. B., 1971. Volume Changes in Sands During Cycling Loading. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, No. SM9, pp. 1171.

128. SİYAHİ, B. G., ve ANAGÜN, A. S., 1998. Sismik Sıvılaşma Potansiyelinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi 22-23 Ekim, 552-561 ss., Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
129. SOYSAL, H., SİPAHİOĞLU S., KOLÇAK D., ve ALTINOK Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Katalogu. İstanbul Üniversitesi, Yerbilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 87 s., İstanbul.
130. STOKES, W. L., and JUDSON S., 1968. Introduction to Geology: Physical and Historical. Prentice-Hall, 530 p., Englewood Cliffs, New Jersey.
131. STRAUB, C., KAHLE, H. G., and SCHINDLER, C., 1997. GPS and Geological Estimates of the Tectonic Activity in the Marmara Sea Region. New Anatolia Journal of Geophysical Research, V. 102, p. 27.587-27.601.
132. ŞAROĞLU, F., EMRE, Ö., ve BORAY, A., 1987. Türkiye'nin Aktif Fayları ve Depremsellikleri . M. T. A. Rapor No:8174.
133. TERZAGHI, K. and PECK, R., B., 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley and Sons, 2nd Ed., 729 p.
134. TOKIMATSU, K., and YOSHIMI, Y., 1983. Empirical Correlation of Soil Liquefaction based on SPT N-Value and Fines Content . Soil and Foundations, Volume 23, No. 4, pp. 56-74.
135. TOKIMATSU, K., and SEED, H. B., 1987. Evaluation of Settlements in Sands due to Earthquake Shaking. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 113, No.8, August, pp. 861-878.
136. TUNG, A. T .Y., WANG, Y. Y., and WONG, F. S., 1993. Assessment of Liquefaction Potential Using Neural Networks. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 12, pp. 325-335.
137. ULUSAY, R., AYDAN, Ö., KUMSAR, H., and SÖNMEZ, H., 2000. Engineering Geological Characteristics of the 1998 Adana-Ceyhan Earthquake with Particular Emphasis on Liquefaction Phenomena and the Role of Soil Behaviour. Bulletin of Engineering Geology and Environment (Springer) 59, pp. 99-118.
138. ULUSAY, R., AYDAN, Ö., ERKAN, A., TUNCAY, E., KUMSAR, H., ve KAYA, Z., 2002. 3 Şubat 2002 Çay-Eber Depreminin Saha İncelemesi ve Mühendislik Açısından Değerlendirilmesi. TDV / DR 012 – 79, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Maslak, İstanbul.
139. ULUSAY, R., and KURU, T., 2004. 1998 Adana-Ceyhan (Turkey) Earthquake and a Preliminary Microzonation Based on Liquefaction Potential for Ceyhan Town. Kluwer Academic Publishers, Natural Hazards 32, pp. 59-88, Netherlands.

140. ULUSAY, R., AYDAN, Ö., ERKAN, A., TUNCAY, E., KUMSAR, H., and KAYA, Z., 2004. An Overview of Geotechnical Aspects of the Çay-Eber (Turkey) Earthquake, Elsevier Engineering Geology 73, pp. 51–70.
141. URAL, D. N., and SAKA, H., 1998. Liquefaction Assessment by Artificial Neural Networks. EJGE, Vol.3, 15 p. (www.ejge.com/index_ejge.htm).
142. URAL, D.N., 2000. A Neural Network Approach for Geotechnical Aspects of the Kocaeli Earthquake. ASCE 14th Engineering Mechanics Specialty Conference, University of Texas, Dept. of Civil Eng., Austin, Texas, U.S.A.
143. ÜÇER, B., EYİDOĞAN, H., GÜRBÜZ, C., and BARKA, A. A., 1997. Seismic Investigations of the Marmara Region and Active Tectonics of the Northwestern Anatolia. The Marmara Poly-Project, pp. 89-99.
144. ÜNDÜL, Ö., ve GÜRPINAR, O., 2003. Çokal Vadisindeki (Gelibolu) Alüvyal Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, C. 16 S1, ss. 67-80, İstanbul.
145. WANG, W., 1979. Some Findings in Soil Liquefaction. Water Conservation and Hydroelectric Power Scientific Research Institute Report, pp. 1–17, Beijing, China.
146. WANG, C., DREGER, D. S., WANG, C., MAYERI, D., and BERRYMAN, J. G., 2003. Field Relations among Co-seismic Ground Motion, Water Level Change and Liquefaction for the 1999 Chi-Chi ($M_w = 7.5$) Earthquake, Taiwan. Geophysical Research Letter, Vol.30, No.17, 1890.
147. YILMAZ, Y., GENÇ, Ş. C., YİĞİTBAŞ, E., BOZCU, M., ve YILMAZ, K., 1994. Kuzeybatı Anadolu'da Geç Kretase Yaşlı Kıta Kenarının Jeolojik Evrimi. Türkiye 10. Petrol Kongresi, ss. 37–55, Hilton, Ankara.
148. YOUNG, T. L., and HOOSE, S. N., 1977. Liquefaction Susceptibility and Geologic Setting. Proceedings of the 6th World Conference on Earthquake Engineering, New Delhi, Vol. 3, pp. 2189–2194.
149. YOUNG, T. L., 1978. Major Cause of Earthquake Damage is Ground Failure. Civil Engineering, ASCE, Vol. 48, No. 4, pp. 47–51.
150. YOUNG, T. L., 1984. Recurrence of Liquefaction at the Same Site. Proceedings 8th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 3, pp. 231–238.
151. YÜKSEL, F. A., 1995. İzmit Körfezi ve Yakın Çevresinin Sismik Aktivitesi. İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi (Editör Engin Meriç), ss. 259–267, Kocaeli Valiliği Çevre Koruma Vakfı, Kocaeli.



EKLER



EK-A

Marmara Bölgesi Tarihsel Depremleri

Tablo A.1. Marmara Bölgesi Tarihsel Depremleri.

No	Tarih	Enlem	Boylam	Şiddet	Etkilenen Alanlar	Kaynak
1	19	-	-	VIII	İzmit,İzmit	Soysal ve diğ.(1981)
2	24 11 29	40.40	29.70	IX	İzmit,İzmit	Soysal ve diğ. (1981),KRDAE,DMB
3	33	40.40	29.70	VIII	İzmit,Kocaeli,Bursa	Soysal ve diğ.(1981)
4	02 01 69	40.40	29.70	VII	İzmit,İzmit	Soysal ve diğ.(1981),DMB
5	120(121)	40.40	29.70	VII	İzmit,İzmit	Soysal ve diğ.(1981),(DMB)
6	129(128)	40.40	29.70	VII	İzmit,İzmit	Soysal ve diğ.(1981),(DMb)
7	170	40.80	29.90	VIII	İzmit ve yöresi	Soysal ve diğ.(1981)
8	268(269)	40.80	29.90	VIII	İzmit ve yöresi	Soysal ve diğ.(1981),(DMB)
9	325	41.00	29.00	IX	İstanbul	Soysal ve diğ.(1981),DMB
10	350	40.80	30.00	VIII	İzmit,İzmit	Soysal ve diğ.(1981)
11	24 08 358	40.75	29.90	IX	Kocaeli,İzmit,İstanbul	Soysal ve diğ.(1981),KRDAE
12	11 359	40.75	29.60	VIII	İzmit	Soysal ve diğ.(1981)
13	02 12 362	40.75	29.60	VII	İzmit,İzmit,İstanbul	Soysal ve diğ.(1981),DMB
14	11 10 368	40.40	29.70	VII	İzmit	Soysal ve diğ.(1981)
15	378	40.40	29.70	VII	İzmit	Soysal ve diğ.(1981)
16	427	41.00	29.00	IX	İstanbul,İzmit,İzmit	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE
17	26 01 446	40.70	29.30	VIII	İzmit Körfezi, İstanbul,İzmit	Soysal ve diğ.(1981), DMB
18	08 12 447	40.80	29.60	IX	İzmit Körfezi, İstanbul,İzmit,İzmit	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE
19	467	40.80	29.90	VI	İzmit	Soysal ve diğ.(1981)
20	25 09 478	40.80	29.00	IX	İstanbul	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE,DMB
21	488	40.80	29.60	VIII	İzmit,Karamürsel	Soysal ve diğ. (1981)
22	500	40.80	29.90	VIII	İzmit	Soysal ve diğ. (1981)
23	15 08 553(554)	40.75	29.10	X	İstanbul,Kocaeli	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE,(DMB)
24	715	40.40	29.70	IX	İzmit,İstanbul	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE
25	26 10 740	40.80	29.00	VIII	İstanbul,İzmit,İzmit	Soysal ve diğ.(1981), DMB
26	16 05 865	41.00	29.00	IX	İstanbul	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE
27	26 10 986	41.00	29.00	IX	İstanbul, Trakya	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE

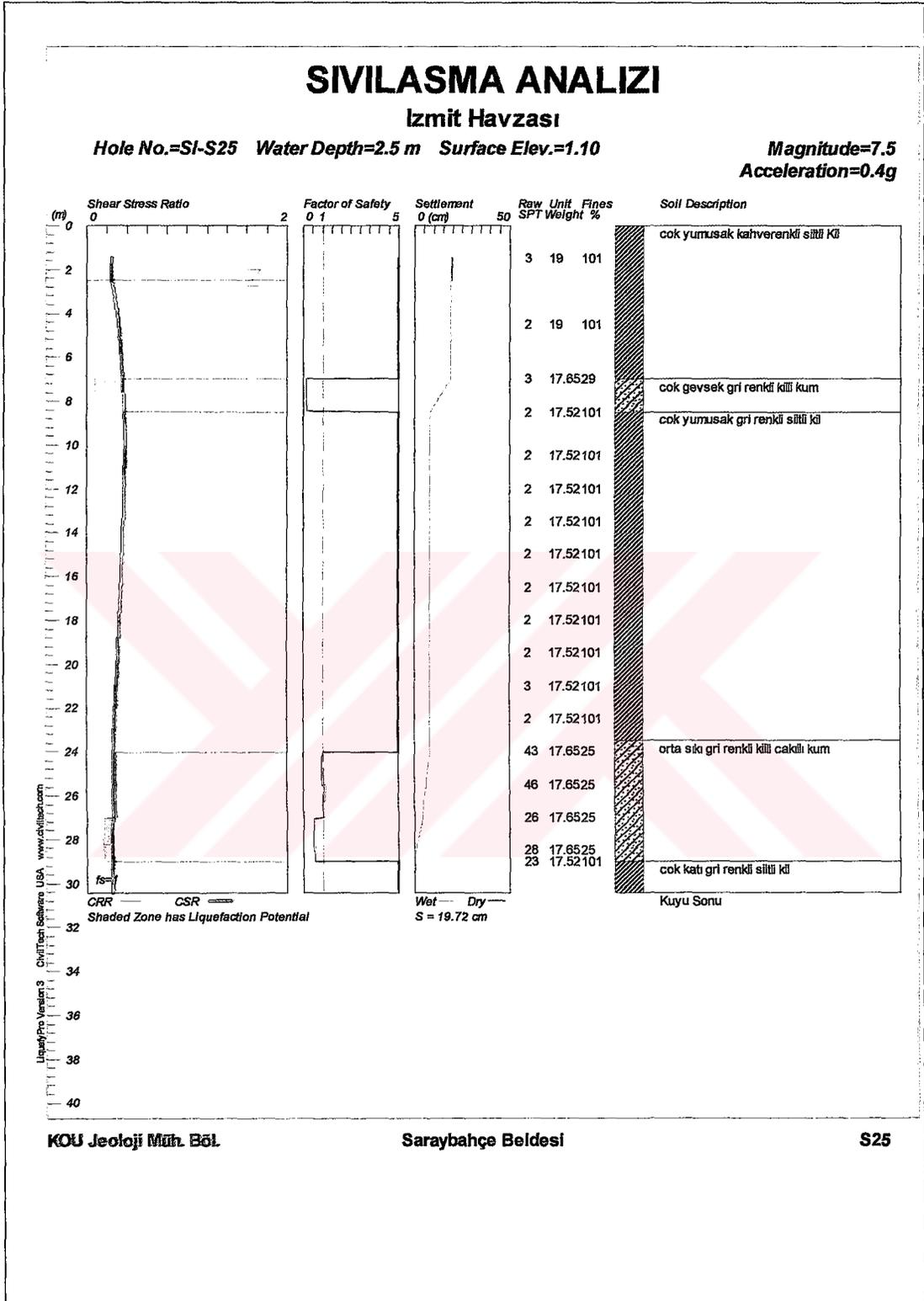
Tablo A.1. (Devam) Marmara Bölgesi Tarihsel Depremleri.

28	23 09 1064	40.40	28.90	IX	İzmit, Bandırma, İstanbul	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE, DMB
29	23 09 1344	41.00	29.00	IX	İstanbul	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE
30	1462	41.00	29.00	IX	İstanbul	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE
31	14 09 1509	40.75	29.00	IX	İstanbul, Edirne	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE
32	06 02 1659	41.00	29.00	IX	İstanbul	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE
33	25 05 1672	40.70	29.90	VIII	İzmit, İstanbul	Soysal ve diğ. (1981), DMB
34	25 05 1719	40.70	29.50	IX	İstanbul, İzmit, Karamürsel	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE, DMB
35	1737	41.00	29.00	VIII	İstanbul	Soysal ve diğ. (1981)
36	02 09 1754	40.80	29.40	IX	İzmit Körfezi, İstanbul, İzmit	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE, DMB
37	22 05 1766	41.00	29.00	IX	İstanbul	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE
38	24 01 1855	41.00	29.00	VI	İstanbul	Soysal ve diğ. (1981)
39	19 04 1878	40.70	29.30	VIII	İzmit, İstanbul, Bursa, Sapanca	Soysal ve diğ. (1981), DMB
40	10 07 1894	40.60	28.70	X	Prenseler Adaları İstanbul	Soysal ve diğ. (1981), KRDAE, DMB

EK-B

Standard Sıvılaşma Analizi (LiquefyPro) Program ıktıları

Grafik B.1 LiquefyPro sıvılaşma analizi grafiksel değerlendirmesi.



Dosya B.1. Sıvılaşma Analizi Özet Hesaplamalar dosyası.

LIQUEFACTION ANALYSIS CALCULATION SHEET

Version 3

Copyright by CivilTech Software

www.civiltech.com

(425) 453-6488 Fax (425) 453-5848

Licensed to FEM 17.08.2005 16:21:32

Input File Name: C:\PHD_Main_Folder\LiqFyPro\Saraybahçe\SBSIS25.liq

Title: Izmit Havzası

Subtitle: Saraybahçe Beldesi

Surface Elev.=1.10

Hole No.=SI-S25

Depth of Hole= 30.5 m

Depth of Water Table= 2.5 m

Max. Acceleration= 0.4 g

Earthquake Magnitude= 7.5

fs=1, Plot one CSR (fs=1)

Hammer Energy Ratio, Ce=0.72

Borehole Diameter, Cb=1

Sampeling Method, Cs=1

SPT Fines Correction Method: Idriss/Seed (SPT only)

Settlement Analysis Method: Tokimatsu / Seed

Calculate Settlement in Entire Depth

Fines Correction Method: Idriss/Seed (SPT only)

Average Input Data: No

Input Data:

Depth m	SPT	Gamma kN/m ³	Fines %
1.5	3.0	19.0	101.0
4.5	2.0	19.0	101.0
7.0	3.0	17.6	29.0
8.5	2.0	17.5	101.0
10.5	2.0	17.5	101.0
12.0	2.0	17.5	101.0
13.5	2.0	17.5	101.0
15.0	2.0	17.5	101.0
16.5	2.0	17.5	101.0

Dosya B.1. (Devam) Sıvılaşma Analizi Özet Hesaplamalar dosyası.

18.0	2.0	17.5	101.0
19.5	2.0	17.5	101.0
21.0	3.0	17.5	101.0
22.5	2.0	17.5	101.0
24.0	43.0	17.6	25.0
25.5	46.0	17.6	25.0
27.0	26.0	17.6	25.0
28.5	28.0	17.6	25.0
29.0	23.0	17.5	101.0

Output Results:

Settlement of saturated sands=19.72 cm
 Settlement of dry sands=0.00 cm
 Total settlement of saturated and dry sands=19.72 cm
 Differential Settlement=9.860 to 13.016 cm

Depth m	CRRm	CSRfs w/fs	F.S.	S_sat. cm	S_dry cm	S_all cm
1.50	2.00	0.26	5.00	19.72	0.00	19.72
6.50	2.00	0.36	5.00	19.72	0.00	19.72
11.50	2.00	0.39	5.00	8.46	0.00	8.46
16.50	2.00	0.35	5.00	8.46	0.00	8.46
21.50	2.00	0.30	5.00	8.46	0.00	8.46
26.50	0.31	0.27	1.11	5.30	0.00	5.30

* F.S.<1, Liquefaction Potential Zone
 (F.S. is limited to 5, CRR is limited to 2, CSR is limited to 2)

Units Depth = m, Stress or Pressure = atm (tsf), Unit Weight =
 kN/m³, Settlement = cm

CRRm	Cyclic resistance ratio from soils
CSRfs	Cyclic stress ratio induced by a given earthquake (with user request factor of safety)
F.S.	Factor of Safety against liquefaction, F.S.=CRRm/CSRfs
S_sat	Settlement from saturated sands
S_dry	Settlement from dry sands
S_all	Total settlement from saturated and dry sands

Dosya B.2. Sıvılaşma Analizi Detay Hesaplamalar dosyası.

LIQUEFACTION ANALYSIS CALCULATION SHEET

Version 3

Copyright by CivilTech Software

www.civiltech.com

(425) 453-6488 Fax (425) 453-5848

Licensed to FEM 17.08.2005 16:25:21

Input File Name: C:\PHD_Main_Folder\LiqFyPro\Saraybahçe\SBSIS25.liq

Title: Izmit Havzası

Subtitle: Saraybahçe Beldesi

Input Data:

Surface Elev.=1.10

Hole No.=SI-S25

Depth of Hole=30.5 m

Depth of Water Table=2.5 m

Max. Acceleration=0.4 g

Earthquake Magnitude=7.5

fs=1, Plot one CSR (fs=1)

Hammer Energy Ratio, Ce=0.72

Borehole Diameter, Cb=1

Sampling Method, Cs=1

SPT Fines Correction Method: Idriss/Seed (SPT only)

Settlement Analysis Method: Tokimatsu / Seed

Calculate Settlement in Entire Depth

Fines Correction Method: Idriss/Seed (SPT only)

Average Input Data: No

Dosya B.2. (Devam) Sıvılaştırma Analizi Detay Hesaplamalar dosyası.

Depth m	SPT	Gamma kN/m ³	Fines %
1.5	3.0	19.0	101.0
4.5	2.0	19.0	101.0
7.0	3.0	17.6	29.0
8.5	2.0	17.5	101.0
10.5	2.0	17.5	101.0
12.0	2.0	17.5	101.0
13.5	2.0	17.5	101.0
15.0	2.0	17.5	101.0
16.5	2.0	17.5	101.0
18.0	2.0	17.5	101.0
19.5	2.0	17.5	101.0
21.0	3.0	17.5	101.0
22.5	2.0	17.5	101.0
24.0	43.0	17.6	25.0
25.5	46.0	17.6	25.0
27.0	26.0	17.6	25.0
28.5	28.0	17.6	25.0
29.0	23.0	17.5	101.0

Dosya B.2. (Devam) Sıvılaşma Analizi Detay Hesaplamalar dosyası.

Output Results: (Interval = 5.00 m)

CSR Calculation:

Depth m	gamma kN/m ³ tsf	sigma kN/m ³ tsf	gamma' kN/m ³ tsf	rd	CSR	fs (user)	CSRfs w/fs
1.50	19.0	0.298	19.0	0.298	0.99	1.0	0.26
6.50	19.0	1.290	9.2	0.880	0.95	1.0	0.36
11.50	17.5	2.214	7.7	1.293	0.87	1.0	0.39
16.50	17.5	3.129	7.7	1.696	0.73	1.0	0.35
21.50	17.5	4.044	7.7	2.099	0.60	1.0	0.30
26.50	17.6	4.962	7.8	2.506	0.53	1.0	0.27

CRR Calculation from SPT or BPT data:

Depth m	SPT	Cebs	Cr	Cn	(N1)60	Fines %	d(N1)60 (N1)60f CRR7.5
1.50	3.00	0.72	0.75	1.70	2.75	101.0	5.55 8.30 0.09
6.50	2.00	0.72	0.95	1.07	1.46	101.0	5.29 6.75 0.08
11.50	2.00	0.72	1.00	0.88	1.27	101.0	5.25 6.52 0.08
16.50	2.00	0.72	1.00	0.77	1.11	101.0	5.22 6.33 0.07
21.50	3.00	0.72	1.00	0.69	1.49	101.0	5.30 6.79 0.08
26.50	46.00	0.72	1.00	0.63	20.92	25.0	6.69 27.62 0.33

Factor of Safety, - Earthquake Magnitude= 7.5:

Depth m	sigC' tsf	CRR7.5 Ksigma tsf	CRRv	MSF	CRRm	CSRfs w/fs	F.S. CRRm/CSRfs
1.50	0.19	0.09	1.00	0.09	1.00	2.00	0.26 5.00
6.50	0.57	0.08	1.00	0.08	1.00	2.00	0.36 5.00
11.50	0.84	0.08	1.00	0.08	1.00	2.00	0.39 5.00
16.50	1.10	0.07	0.99	0.07	1.00	2.00	0.35 5.00

Dosya B.2. (Devam) Sıvılaşma Analizi Detay Hesaplamalar dosyası.

21.50	1.36	0.08	0.95	0.07	1.00	2.00	0.30	5.00
26.50	1.63	0.33	0.92	0.31	1.00	0.31	0.27	1.11

* F.S.<1: Liquefaction Potential Zone. (If above water table: F.S.=5)
(F.S. is limited to 5, CRR is limited to 2, CSR is limited to 2)

Settlement of Saturated Sands:

Depth m	CSRfs w/fs	F.S.	(N1)60 %	Fines %	d(N1)60 (N1)60s Dr %	ec %	ds cm	Settlement cm			
30.42	0.26	5.00	-	9.85	101.0	5.75	15.60	62.44	2.592	0.000	0.000
26.50	0.27	1.11	-	20.92	25.0	2.19	23.11	76.17	1.221	0.031	5.300
21.50	0.30	5.00	-	1.49	101.0	5.75	7.24	43.41	8.866	0.000	8.455
16.50	0.35	5.00	-	1.11	101.0	5.75	6.85	42.33	9.835	0.000	8.455
11.50	0.39	5.00	-	1.27	101.0	5.75	7.02	42.78	9.430	0.000	8.455
6.50	0.36	5.00	-	1.46	101.0	5.75	7.21	43.32	8.985	0.000	19.721
2.53	0.26	5.00	-	2.60	101.0	5.75	8.35	46.41	6.089	0.000	19.721
2.50	0.26	5.00	-	2.61	101.0	5.75	8.36	46.42	6.073	0.000	19.721

Settlement of Saturated Sands=19.721 cm

ds is per each segment, dz=0.025 m

Settlement of Dry Sands:

Depth m	sigma' tsf	sigC' tsf	(N1)60s w/fs	CSRfs	Gmax tsf	g*Ge/Gm %	g_eff %	ec7.5 %	Cec %	ec cm	ds cm	Settlement cm
2.48	0.49	0.32	8.06	0.26	506.3	2.5E-4	0.0712	0.2131	1.06	0.2250	0.0E0	0.000
2.45	0.49	0.32	8.07	0.26	503.9	2.5E-4	0.0694	0.2073	1.06	0.2189	0.0E0	0.000
1.50	0.30	0.19	8.50	0.26	401.2	1.9E-4	0.0370	0.1046	1.06	0.1104	0.0E0	0.000

Settlement of Dry Sands=0.000 cm

ds is per each segment, dz=0.025 m

Dosya B.2. (Devam) Sıvılaştırma Analizi Detay Hesaplamalar dosyası.

Total Settlement of Saturated and Dry Sands=19.721 cm
 Differential Settlement=9.860 to 13.016 cm

Units	Depth = m, Stress or Pressure = atm (tsf), Unit Weight = kN/m ³ , Settlement = cm
SPT	Field data from Standard Penetration Test (SPT)
BPT	Field data from Becker Penetration Test (BPT)
qc	Field data from Cone Penetration Test (CPT)
fc	Friction from CPT testing
Gamma	Total unit weight of soil
Gamma'	Effective unit weight of soil
Fines	Fines content [%]
D50	Mean grain size
Dr	Relative Density
sigma	Total vertical stress [tsf]
sigma'	Effective vertical stress [tsf]
sigC'	Effective confining pressure [tsf]
rd	Stress reduction coefficient
CSR	Cyclic stress ratio induced by earthquake
fs	User request factor of safety, apply to CSR
w/fs	With user request factor of safety inside
CSRfs	CSR with User request factor of safety
CRR7.5	Cyclic resistance ratio (M=7.5)
Ksigma	Overburden stress correction factor for CRR7.5
CRRv	CRR after overburden stress correction, $CRRv=CRR7.5 * Ksigma$
MSF	Magnitude scaling factor for CRR (M=7.5)
CRRm	After magnitude scaling correction $CRRm=CRRv * MSF$
F.S.	Factor of Safety against liquefaction F.S.= $CRRm/CSRfs$
Cebs	Energy Ratio, Borehole Dia., and Sample Method Corrections
Cr	Rod Length Corrections
Cn	Overburden Pressure Correction
(N1)60	SPT after corrections, $(N1)60=SPT * Cr * Cn * Cebs$

Dosya B.2. (Devam) Sıvılaştırma Analizi Detay Hesaplamalar dosyası.

d(N1)60	Fines correction of SPT
(N1)60f	(N1)60 after fines corrections, $(N1)60f=(N1)60 + d(N1)60$
Cq	Overburden stress correction factor
qc1	CPT after Overburden stress correction
dqc1	Fines correction of CPT
qc1f	CPT after Fines and Overburden correction, $qc1f=qc1 + dqc1$
qc1n	CPT after Overburden stress correction in Robertson's method
Kc	Fine correction factor in Robertson's Method
Ic	Soil type index in Suzuki's and Robertson's Methods
(N1)60s	(N1)60 after seatlement fines corrections
ec	Volumetric strain for saturated sands
ds	Settlement in each Segment dz
dz	Segment for calculation, $dz=0.025$ m
Gmax	Shear Modulus at low strain
g_eff	gamma_eff, Effective shear Strain
g*Ge/Gm	gamma_eff * G_eff/G_max, Strain-modulus ratio
ec7.5	Volumetric Strain for magnitude=7.5
Cec	Magnitude correction factor for any magnitude
ec	Volumetric strain for dry sands, $ec=Cec * ec7.5$

References:

- NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. Youd, T.L., and Idriss, I.M., eds., Technical Report NCEER 97-0022.
 SP117. Southern California Earthquake Center. Recommended Procedures for Implementation of DMG Special Publication 117, Guidelines for Analyzing and Mitigating Liquefaction in California. University of Southern California. March 1999.



EK-C

Modifiye Edilmiş Çin Kriterleri Yöntemi Verileri

Tablo C.1. Köseköy Beldesi verileri.

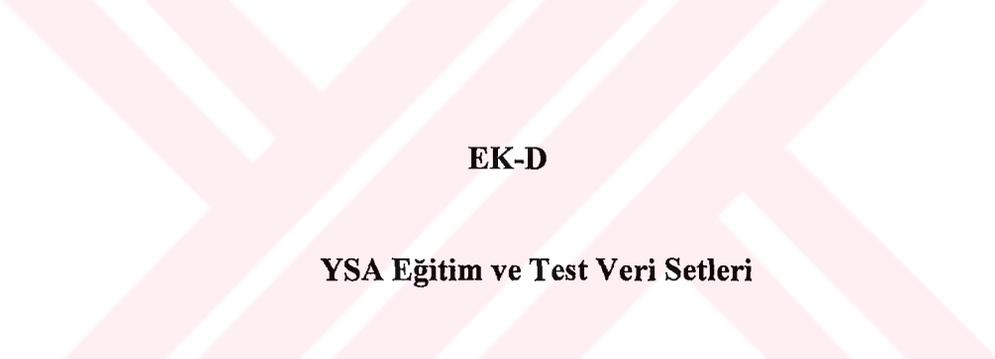
Kuyu No	Derinlik(m)	w _n (%)	γ _n (t/m ³)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	0.87xLL	x (LL)	y (LL)
SK1	2,50-3,00	20,5	1,961	29,4	19,6	9,8	25,578	0	33,5
SK1	7,50-7,95	30,7		39,6	22,3	17,3	34,452	10	33,5
SK1	9,00-9,50	30,8	1,905	51,8	25,1	26,7	45,066	20	33,5
SK2	3,00-3,50	22,2	1,905	52,1	25,3	26,8	45,327	30	33,5
SK3	2,50-3,00	20	2,022	32,1	20,7	11,4	27,927	40	33,5
SK3	3,00-3,45	22,9		29,8	19,5	10,3	25,926	50	33,5
SK4	7,50-7,95	15		30,1	20,1	10	26,187	60	33,5
SK4	12,00-12,45	18,2		26,6	20,1	7,7	23,142	70	33,5
SK6	3,00-3,50	20,9	1,995	36	21,4	14,6	31,32	80	33,5
SK7	1,50-2,00	16,6			NP			90	33,5
SK8	11,50-12,00	33,8	1,887	50,3	24,2	26,1	43,761	100	33,5
SK12	4,00-4,50	25	1,986	43,9	22,6	21,3	38,193		
SK12	9,00-9,50	27,4	1,903	49,5	23,9	25,6	43,065		
SK13	1,50-1,95	21,3		38,8	21,2	17,6	33,756		
SK13	4,50-4,90	15,8		34,5	19,3	15,2	30,015		
SK13	6,00-6,50	21,7	1,945	48,4	23,1	25,3	42,108		
SK13	10,50-10,95	35,3		39,1	20,4	18,7	34,017		
SK13	12,00-12,45	20,3		36,7	19,5	17,2	31,929		
SK15	9,00-9,50	24,3	1,996	43,2	22,8	20,4	37,584		
SK17	4,50-4,95	25,6		43,9	22,7	21,2	38,193		
SK17	6,00-6,50	17,1			NP				
SK17	7,50-7,95	30,1		56,4	26,6	29,8	49,068		
SK17	10,50-10,95	30,4		65,8	28,5	37,3	57,246		
SK18	1,50-1,95	21,5		37,7	19,6	18,1	32,799		
SK18	3,00-3,50	22,1	2,009	38,2	21,8	16,4	33,234		
SK18	4,50-4,95	21,1		22,7	18,4	4,3	19,749		
SK18	6,00-6,50	17,3			NP				
SK18	7,50-7,95	23,4		32,5	18,7	13,8	28,275		
SK18	9,00-9,50	16,7			NP				
SK18	10,50-10,95	19,4		31,5	19,3	12,2	27,405		
SK18	14,50-14,95	18,6		24,8	17,5	7,3	21,576		
SK23	3,00-3,50	21,3	1,955	40,7	21,3	19,4	35,409		
SK28	6,00-6,50	25,9	1,979	51,2	25,5	25,7	44,544		
SK30	9,00-9,50	20,7	2,023	38,6	23,2	15,4	33,582		
SK31	6,00-6,50	19,4	2,054	49,6	25,9	23,7	43,152		
SK32	4,50-4,95	20,1		39	20,3	18,7	33,93		
SK32	7,50-7,95	19,3		34,3	19,1	15,2	29,841		
SK32	10,50-10,95	21,9		35,6	19,5	16,1	30,972		
SK32	12,50-12,95	18		36,6	20,1	16,5	31,842		
SK35	1,50-1,95	15,3		40,6	21,4	19,2	35,322		
SK35	4,50-4,95	14,8		36,1	19,3	16,8	31,407		
SK35	7,50-7,95	13,4		35	19,6	15,4	30,45		
SK35	9,00-9,45	13,4		32,6	18,9	13,7	28,362		
SK35	10,50-10,95	21,1		46,5	23,8	22,7	40,455		
SK36	4,50-4,95	12,1		39,8	21,1	18,7	34,626		
SK36	7,50-7,95	10,7		25,9	18,4	7,5	22,533		
SK36	9,00-9,45	14,7		37,7	20,1	17,6	32,799		

Tablo C.1. (Devam) Köseköy Beldesi verileri.

SK37	7,50-7,95	12,3		32,7	23,5	13,6	28,449		
SK37	12,50-12,95	21,4		44,8	23,2	21,6	38,976		
SK38	3,00-3,50	21,6	1,952	35	20,2	14,8	30,45		
SK38	10,50-10,95	14,9		29,4	18,8	10,6	25,578		
SK39	4,50-4,95	19,9		40,2	20,8	19,4	34,974		
SK39	7,50-7,95	25		40,2	21,3	18,9	34,974		
SK39	10,50-10,95	18,2		29,8	18,2	11,6	25,926		
SK39	12,50-12,95	19,9		28,5	24,2	4,3	24,795		
SK39	14,50-14,95	17,5		24,4	21,1	3,3	21,228		
SK40	4,50-4,95	10,6		27,1	21,4	5,7	23,577		
SK40	7,50-7,95	9,3		26,9	22,4	4,5	23,403		
SK41	1,50-1,95	33,2	1,862	75,1	32,3	42,8	65,337		
SK41	3,00-3,50	31,2		78,7	32,9	45,8	68,469		
SK41	4,50-4,95	24,6	1,94	44,5	23,1	21,4	38,715		
SK41	6,00-6,50	36,6		37,9	20,6	17,3	32,973		
SK41	7,50-7,95	29,3		52,2	27,1	25,1	45,414		
SK42	9,00-9,50	31,3		64,5	29,2	35,3	56,115		
SK42	10,50-10,95	17,3		42	21,9	20,1	36,54		
SK42	1,50-1,95	22,1		56,9	27,3	29,6	49,503		
SK42	3,00-3,50	20		46,4	23,8	22,6	40,368		
SK43	4,50-4,95	19,3		39,6	23,8	18,1	34,452		
SK43	6,00-6,50	20,4		31,6	18,4	13,2	27,492		
SK43	7,50-7,95	30,3		40,8	22,6	18,2	35,496		
SK43	9,00-9,50	39,2		44,7	23,3	21,4	38,889		
SK43	10,50-10,95	14		25,7	18,4	7,3	22,359		
SK44	1,50-1,95	24,7		49,6	25,5	24,1	43,152		
SK44	3,00-3,50	27		39,3	21,1	18,2	34,191		
SK44	4,50-4,95	37,4		48,3	24,9	23,4	42,021		
SK44	6,00-6,50	18,4			NP				
SK44	7,50-7,95	20,9		22,2	19,1	3,1	19,314		
SK44	9,00-9,50	26,5		45,8	22,1	23,7	39,846		
SK44	10,50-10,95	20,1		49,1	23,9	25,2	42,717		
SK45	3,00-3,50	26	1,927	37,3	20,6	16,7	32,451		
SK45	4,50-4,95	33,3		48,5	24,7	23,8	42,195		
SK45	6,00-6,50	29,7	1,911	27,7	20,2	7,5	24,099		
SK45	7,50-7,95	28,9		43,3	22,5	20,8	37,671		
SK45	10,50-10,95	20,7		49,3	25,3	24	42,891		
SK45	12,50-12,95	8,2		26,8	19,3	7,5	23,316		
SK45	16,50-16,95	31,7		38,7	21,5	17,2	33,669		
SK46	7,50-7,95	35,8		49,3	24,3	25	42,891		
SK46	10,50-10,95	36,3		54,4	26,4	28	47,328		
SK46	12,50-12,95	56,5		55,5	26,4	28,5	48,285		
SK46	14,50-14,95	23,3		52,8	25,8	27	45,936		
SK47	3,00-3,50	25,9	1,945	55,3	26,3	29	48,111		
SK47	4,50-4,95	30,1		59,8	27,6	32,2	52,026		
SK47	6,00-6,45	32,1		70,2	30,2	40	61,074		
SK47	7,50-7,95	38,1		68,5	29,5	39	59,595		
SK47	9,00-9,50	40,8	1,777	63,3	28,6	34,7	55,071		
SK47	12,50-12,95	40,3		44,7	23	21,7	38,889		
SK47	14,50-14,95	31,4		36,3	21,1	15,2	31,581		

Tablo C.1. (Devam) Köseköy Beldesi verileri.

SK48	9,00-9,50	39,2	1,82	59,3	27,3	32	51,591		
SK49	4,50-4,95	11,1		28,6	19,6	9	24,882		
SK49	7,50-7,95	25,9		54	25	29	46,98		
SK49	10,50-10,95	21,8		53,4	24,5	28,9	46,458		
SK50	6,00-6,50	21,2	2,031	38,9	21,3	17,6	33,843		
SK50	9,00-9,50	26,3	1,967	52,4	24,4	28	45,588		
SK50B	4,50-4,95	16		48,6	24,8	23,8	42,282		
SK50B	7,50-7,95	23		42,5	23,2	19,3	36,975		
SK50B	10,50-10,95	37,3		63,1	28,1	35	54,897		
SK51	3,00-3,50	18,3	1,959	26,3	18,2	8,1	22,881		
SK51	4,50-4,95	28,9		52,4	24,9	27,5	45,588		
SK51	7,50-7,95	14,5		25	17,2	7,8	21,75		
SK51	10,50-10,95	19,7		25,3	17,2	8,1	22,011		
SK51	12,50-12,95	17,5			NP				
SK51	14,50-14,95	16,9		28,8	18,8	10	25,056		
SK52	4,50-4,95	11,7		43,1	22,6	20,5	37,497		
SK52	7,50-7,95	21,3		50	24,1	25,9	43,5		
SK52	10,50-10,95	22,4		55	25,7	29,3	47,85		
SK52	12,00-12,45	21,2		52,4	24,2	28,2	45,588		
SK53	4,50-4,95	23,6		61,5	26,2	35,3	53,505		
SK53	7,50-7,95	23,2		59,7	26,7	33	51,939		
SK53	10,50-10,95	26,2		50,1	24,5	25,6	43,587		
SK55	4,50-4,95	29,4		66,2	29,1	37,1	57,594		
SK55	7,50-7,95	30,3		78,5	32,5	46	68,295		
SK55	10,50-10,95	27,1		65,7	28,6	37,1	57,159		
SK55	12,50-12,95	28,5		64,3	28,1	36,2	55,941		
SK56	4,50-4,95	9,6		25,3	18,5	6,8	22,011		
SK56	7,50-7,95	14,3		36,8	20,7	16,1	32,016		
SK56	10,50-10,95	5,6		40,7	21,9	18,8	35,409		
SK56	12,00-12,45	16,2		47,8	23,8	24	41,586		
SK57	3,00-3,50	35,1	1,861	69,5	29,2	40,3	60,465		
SK57	9,00-9,50	29,8	1,916	73,6	29,8	43,8	64,032		
SKA	1,50-1,95	12		26,3	19,5	6,8	22,881		
SKA	4,50-4,95	17,3		42,4	22,3	20,1	36,888		
SKA	7,50-7,95	12,2		36,4	20,2	16,2	31,668		
SKA	10,50-10,95	24,7		37,9	21,9	16	32,973		
SKA	12,00-12,45	17,5		34,7	20,8	13,9	30,189		
SKB	1,50-1,95	24		34,6	20,6	14	30,102		
SKB	4,50-4,95	31,8		49,8	24,7	25,1	43,326		
SKB	7,50-7,95	29,9		35,1	20,9	14,2	30,537		
SKB	9,00-9,50	28,2	1,943	43,6	22,2	21,4	37,932		
SKB	10,50-10,95	26,7		52,4	25,4	27	45,588		
SKB	13,50-13,95	27,1		56,1	25,3	30,8	48,807		
SKD	6,00-6,50	25,9	1,902	65,1	28,2	36,9	56,637		
SKE	1,50-1,95	15		36,7	20,5	16,2	31,929		
SKE	4,50-4,95	9,6		33,6	20,6	13,5	29,232		
SKE	7,50-7,95	28,5		53,6	24,6	29	46,632		
SKE	10,50-10,95	23,9		28,1	19,3	8,8	24,447		
SKE	12,50-12,95	23,8		39,1	21,5	17,6	34,017		



EK-D

YSA Eğitim ve Test Veri Setleri

Tablo D.1. YSA ile sıvılaşma analizinde kullanılan eğitim seti.

Ms	amax	Tabaka Kalınlığı (m)	Tabaka Orta Der.(m)	Zemin Snf. No	LL (%)	PI (%)	w _n (%)	FC (%)	YAS (m)	SPT-N30	D50 (mm)	Sıvılaşma	DepremAdı
7,8	0,40	1,00	4,00	1,50	29,00	6,00	29,00	74,00	0,80	4	0,0450	1	1999 Kocaeli
7,8	0,40	2,00	6,00	2,00	0,00	0,00	17,00	29,00	2,00	27	0,5000	1	1999 Kocaeli
7,8	0,40	1,75	6,60	1,50	0,00	0,00	23,00	37,00	1,30	18	0,0900	1	1999 Kocaeli
7,8	0,40	3,70	6,15	3,00	0,00	0,00	14,00	4,30	1,88	24	1,1300	1	1999 Kocaeli
7,8	0,40	1,60	1,80	3,00	0,00	0,00	20,25	3,50	0,46	7	0,4500	1	1999 Kocaeli
7,8	0,40	0,50	6,25	0,00	0,00	0,00	16,00	92,60	1,20	7	0,0017	0	1999 Kocaeli
7,8	0,40	0,50	1,75	1,00	0,00	0,00	18,00	98,00	0,70	19	0,0032	0	1999 Kocaeli
7,8	0,40	1,20	7,00	1,50	0,00	0,00	27,00	38,50	1,64	14	0,1000	1	1999 Kocaeli
7,8	0,40	1,60	5,60	1,50	29,00	0,00	30,00	67,00	1,64	12	0,0500	1	1999 Kocaeli
7,8	0,40	4,00	4,00	1,50	41,00	22,00	33,00	85,00	2,50	5	0,0130	0	1999 Kocaeli
7,8	0,40	3,00	7,80	2,50	0,00	0,00	18,00	11,00	2,50	37	0,5600	0	1999 Kocaeli
7,8	0,40	1,00	5,50	1,00	29,00	0,00	29,00	76,00	0,54	8	0,0280	1	1999 Kocaeli
7,8	0,40	1,00	6,50	2,00	0,00	0,00	27,00	22,00	0,54	8	0,1500	1	1999 Kocaeli
6,8	0,5	1	0,5	2	25	0	18	25	0,1	3	0,1000	1	1992 Erzincan - Ekşisu
6,8	0,5	1	0,5	2	25	0	18	25	0,1	4	0,2000	1	1992 Erzincan - Ekşisu
6,8	0,5	1,5	4,25	2	25	0	18	25	1,0	4	0,2400	1	1992 Erzincan - Ekşisu

Tablo D.1. (Devam) YSA ile sıvılaşma analizinde kullanılan eğitim seti.

6,8	0,5	2,5	9,25	2	0	0	18	23	1,0	6	0,2700	1	1992 Erzincan - Ekşisu
6,8	0,5	1	4	2	0	0	18	25	0,5	4	0,2200	1	1992 Erzincan - Ekşisu
6,8	0,5	1	7	1,5	0	0	41	48	1,0	11	0,1000	1	1992 Erzincan - Ekşisu
6,8	0,5	2	2,4	1,5	0	0	29	40	2,0	24	0,1500	0	1992 Erzincan - Ekşisu
6,8	0,5	1,1	3,25	1,5	0	0	32	36	1,5	13	0,2600	0	1992 Erzincan - Ekşisu
6,8	0,5	0,6	3,2	2	0	0	18	28	2,5	2	0,2000	1	1992 Erzincan - Ekşisu
6,8	0,5	3	3	2	0	0	18	26	1,5	2	0,2200	1	1992 Erzincan - Ekşisu
6,8	0,5	1,5	5,25	2,5	0	0	36	10	0,1	14	2,0000	0	1992 Erzincan - Ekşisu
6,8	0,5	1,1	8,95	1,5	0	0	22	38	2,0	23	0,3000	0	1992 Erzincan - Ekşisu

Tablo D.1. (Devam) YSA ile sivilleşme analizinde kullanılan eğitim seti.

6,8	0,5	1	4,5	1	77	24	61	89	2,5	2	0,0040	0	1992 Erzincan - Eksişu
6,8	0,5	1,5	10,25	2,5	0	0	22	10	0,1	45	2,0000	0	1992 Erzincan - Eksişu
6,8	0,5	1,5	14,25	2,5	0	0	25	10	0,1	50	2,0000	0	1992 Erzincan - Eksişu
6,8	0,5	0,8	4,4	2	0	0	39	32	1,5	17	0,2800	0	1992 Erzincan - Eksişu
6,5	0,22	2,50	9,75	2,00	0,00	0,00	0,00	20,00	21,00	40	1,5000	0	2002 Çay- Eber
6,5	0,22	2,90	2,65	2,50	0,00	0,00	0,00	6,00	0,50	12	0,9000	1	2002 Çay- Eber
6,5	0,22	1,50	1,75	2,50	0,00	0,00	0,00	8,20	0,50	20	0,5000	1	2002 Çay- Eber
6,5	0,22	1,00	2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	8,60	0,30	6	0,3000	1	2002 Çay- Eber
6,5	0,22	2,00	9,00	2,00	22,00	8,00	0,00	21,00	1,50	51	1,9000	0	2002 Çay- Eber
6,5	0,22	0,80	5,80	2,00	29,00	13,00	0,00	37,00	3,00	16	0,1400	0	2002 Çay- Eber
6,5	0,22	3,00	12,50	3,00	0,00	0,00	0,00	3,00	1,80	51	3,0000	0	2002 Çay- Eber

Tablo D.1. (Devam) YSA ile sıvılaştırma analizinde kullanılan eğitim seti.

6,5	0,22	1,40	2,70	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,00	1,50	10	0,8500	1	2002 Çay-Eber
6,5	0,22	2,00	8,50	1,50	30,80	11,60	0,00	0,00	45,00	1,50	23	0,1800	1	2002 Çay-Eber
6,5	0,22	0,30	0,55	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,00	0,30	4	0,4000	1	2002 Çay-Eber
6,5	0,22	2,00	1,00	1,50	33,00	17,00	0,00	0,00	45,00	1,80	10	0,1000	0	2002 Çay-Eber
6,5	0,22	3,00	10,00	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	11,70	0,50	51	1,2000	0	2002 Çay-Eber
6,4	0,545	5,00	3,00	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,00	3,00	5	0,2000	1	2003 Bingöl
6,4	0,545	4,50	2,75	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,50	2,25	4	0,4000	1	2003 Bingöl
6,4	0,545	4,00	4,00	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,00	16,00	34	1,5000	0	2003 Bingöl
6,4	0,545	4,00	4,00	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,00	14,00	59	1,8000	0	2003 Bingöl
6,2	0,28	6,0	8,0	2,5	0,0	0,0	9,5	6	2,0	2,0	10	0,30	1	1998 Adana-Ceyhan
6,2	0,28	3,0	5,0	2,5	0,0	0,0	2,8	14	1,0	1,0	8	0,15	1	1998 Adana-Ceyhan
6,2	0,28	2,0	5,5	2,5	0,0	0,0	16,0	7	1,5	1,5	7	0,28	1	1998 Adana-Ceyhan
6,2	0,28	4,0	6,0	2,0	0,0	0,0	4,0	18	0,5	0,5	6	0,11	1	1998 Adana-Ceyhan
6,2	0,28	3,0	2,0	1,5	0,0	0,0	3,6	40	3,0	3,0	16	0,07	0	1998 Adana-Ceyhan

Tablo D.1.1. (Devam) YSA ile sıvılaşma analizinde kullanılan eğitim seti.

6,2	0,28	4,0	2,5	1,0	35,7	8,7	10,2	84	4,0	18	0,02	0	1998 Adana- Ceyhan
6,2	0,28	3,5	2,2	1,0	27,4	6,4	7,0	70	3,5	20	0,04	0	1998 Adana- Ceyhan

Tablo D.2. YSA ile sıvılaştırma analizinde kullanılan Saraybahçe test seti.

Ms	amax	Sondaj Adı	Kalınlık (m)	Orta Der. (m)	Zemin Sınıf No	Zemin Sınıf No	LL(%)	PI(%)	Wn(%)	FC(%)	YAS(m)	SPT-N30	D50 (mm)	Yerleşim Alanı
7,8	0,4	Şİ-S1	2,90	10,65	SM	2,00	0	0	33,00	20,00	3,00	33,00	1,20	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S1	0,50	25,25	ML	1,50	0	0	30,00	74,00	3,00	11,00	0,01	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S5	1,50	5,25	SM	2,00	0	0	28,00	25,00	4,00	6,00	0,90	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S25	5,50	26,25	SC	2,00	0	0	32,00	25,00	2,50	36,00	0,55	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S26	2,45	24,70	SM	2,00	0	0	27,00	36,00	1,70	94,00	0,50	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S27	4,50	22,75	SP	3,00	0	0	30,00	3,00	1,60	60,00	1,20	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S31	3,50	9,75	SM/SC	1,50	0	0	37,00	47,00	3,00	20,00	0,16	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S32	3,50	5,75	SM	2,50	0	0	33,00	14,00	13,00	28,00	0,70	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S35	3,00	27,00	CL/ML	1,00	38,8	17,0	31,60	97,00	30,00	21,00	0,01	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S37	1,50	35,25	CL/ML	1,00	25,3	8,3	24,70	90,00	1,00	22,00	0,01	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S40	3,50	10,25	SM/SC	2,00	0	0	34,00	20,00	1,00	16,00	1,60	Saraybahçe
7,8	0,4	Şİ-S65	5,00	3,00	SM	2,00	0	0	35,00	23,00	16,00	21,00	0,66	Saraybahçe
7,8	0,4	SEKA/S3	3,00	18,50	SP	2,50	0	0	25,00	9,00	2,70	32,00	2,50	Saraybahçe

Tablo D.3. YSA ile sıvılaştırma analizinde kullanılan Kullar test seti.

Ms	amax	Sondaj Adı	Kalınlık (m)	Orta Der. (m)	Zemin Sınıf No	Zemin Sınıf No	LL(%)	PI(%)	W _n (%)	FC(%)	YAS(m)	SPT-N30	D50 (mm)	Yerleşim Alanı
7,8	0,4	SK 4	5,00	3,00	GP	4,00	0	0	15,00	5,00	3,00	34,00	4,50	Kullar
7,8	0,4	SK 10	1,60	1,80	SC	2,00	0	0	16,00	35,00	2,75	5,00	0,20	Kullar
7,8	0,4	SK 10	6,00	9,00	SM	2,00	0	0	16,00	32,00	2,75	16,00	0,18	Kullar
7,8	0,4	SK 11	1,50	7,25	SM	2,00	0	0	18,00	31,00	2,50	21,00	0,22	Kullar
7,8	0,4	SK 12	1,60	7,80	SM	1,50	0	0	17,00	45,00	1,75	17,00	0,16	Kullar
7,8	0,4	SK 13	4,90	4,55	SM	2,00	0	0	16,00	35,00	2,50	13,00	0,17	Kullar
7,8	0,4	SK 13	3,90	8,95	SW	2,50	0	0	18,00	5,00	2,50	16,00	0,80	Kullar
7,8	0,4	SK 14	4,00	13,00	SM	2,00	0	0	13,00	24,00	3,35	25,00	2,20	Kullar
7,8	0,4	SK 15	2,30	6,35	SW	2,00	0	0	16,00	24,00	2,50	18,00	0,30	Kullar
7,8	0,4	SK 16	5,50	6,25	SM	2,00	0	0	16,00	33,00	1,00	16,00	0,19	Kullar
7,8	0,4	SK 17	5,00	7,00	SM	2,50	0	0	18,00	15,00	6,50	17,00	2,60	Kullar
7,8	0,4	SK 18	4,00	5,00	SW	2,50	0	0	18,00	8,00	5,50	16,00	0,80	Kullar
7,8	0,4	SK 18	3,10	8,55	SP	2,50	0	0	17,00	5,00	5,50	17,00	0,80	Kullar

Tablo D.4. YSA ile sıvılaştırma analizinde kullanılan Köseköy test seti.

Ms amax	Sondaj Adı	Kalınlık (m)	Orta Der. (m)	Zemin Sınıf No	Zemin Sınıf No	LL(%)	PI(%)	W _n (%)	FC(%)	YAS(m)	SPT- N30	D50 (mm)	Yerleşim Alanı	
7,8	0,4	SK-4	2,00	7,00	SC	2	30,1	10,00	15,00	24,00	2,50	47	1,500	Köseköy
7,8	0,4	SK-4	2,00	12,50	CL	1	26,6	20,10	18,20	92,00	2,50	35	0,010	Köseköy
7,8	0,4	SK-7	5,50	3,25	SM	2	0,0	0,00	16,60	24,00	2,00	14	0,230	Köseköy
7,8	0,4	SK-13	2,50	3,75	SC	2	34,5	15,20	15,80	41,00	1,50	22	0,200	Köseköy
7,8	0,4	SK-13	2,00	10,50	SC	2	39,1	18,70	35,30	47,00	1,50	16	0,100	Köseköy
7,8	0,4	SK-13	3,50	13,25	CL	1	36,7	17,20	20,30	50,00	1,50	21	0,070	Köseköy
7,8	0,4	SK-17	2,30	6,15	SM	2	0,0	0,00	17,10	40,00	2,00	25	0,150	Köseköy
7,8	0,4	SK-17	4,50	2,75	CL	1	43,9	21,20	25,60	81,00	2,00	24	0,010	Köseköy
7,8	0,4	SK-18	2,50	5,75	SC-SM	2	22,7	4,30	21,10	35,00	2,50	12	0,190	Köseköy
7,8	0,4	SK-18	1,50	7,75	CL	1	32,5	13,80	23,40	56,00	2,50	11	0,045	Köseköy
7,8	0,4	SK-18	1,50	9,25	SM	2	0,0	0,00	16,70	18,00	2,50	21	0,320	Köseköy
7,8	0,4	SK-18	1,00	15,00	SC	2	24,8	7,30	18,60	31,00	2,50	18	0,300	Köseköy
7,8	0,4	SK-35	3,50	2,25	SC	2	40,6	19,20	15,30	45,00	3,00	29	0,250	Köseköy
7,8	0,4	SK-35	3,30	5,65	CL	1	36,1	16,80	14,80	73,00	3,00	30	0,010	Köseköy
7,8	0,4	SK-35	2,70	8,65	SC	2	33,8	14,55	13,40	41,00	3,00	23	0,300	Köseköy
7,8	0,4	SK-52	6,30	3,65	SC	2	43,1	20,50	11,70	26,00	4,50	29	1,800	Köseköy
7,8	0,4	SK-56	5,75	3,38	SM	2	25,3	6,80	9,60	38,00	5,00	40	0,360	Köseköy
7,8	0,4	SK-56	3,70	1,85	CL	1	36,8	16,10	14,30	53,00	5,00	29	0,040	Köseköy
7,8	0,4	SK-56	1,55	10,73	SC	2	40,7	18,80	5,60	39,00	5,00	51	0,380	Köseköy
7,8	0,4	SK-56	3,50	13,25	CL	1	47,8	24,00	16,20	65,00	5,00	42	0,020	Köseköy

ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Siverek/Şanlıurfa'da doğdu. İlkokulu Siverek'te, ortaokul ve liseyi İstanbul'da tamamladı. 1989 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 1993 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu. Milli Eğitim Bakanlığı'nın 1416 sayılı resmi burslu öğrencisi olarak 1995–1998 yılları arasında ABD'nin Colorado Eyaleti'nde Colorado School of Mines Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 1998-1999 yılları arasında M.E.B'lığınca geçici olarak Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü Deprem Mühendisliği Bölümü'nde görevlendirildi. 1999 yılı sonunda Yükseköğretim Kurulu Başkanlığı tarafından mecburi hizmetini tamamlamak üzere Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne atandı. Halen ilgili bölümde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.