

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

**YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE SIVILAŞMA
ANALİZİ VE ADAPAZARI İÇİN ÖRNEK BİR
UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik Müh. Arzu DERE

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Şefik RAMAZANOĞLU

Aralık 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YAPAY SINIR AĞLARI YÖNTEMİ İLE SIVILAŞMA
ANALİZİ VE ADAPAZARI İÇİN ÖRNEK BİR
UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik Müh. Arzu DERE

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 22/12/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr.
Şefik RAMAZANOĞLU
.....
Jüri Başkanı

Doç. Dr. Murat WAKULLU
.....
Üye

Yrd. Doç. Dr. Alparslan Sedat DEMİR
.....
Üye

ÖNSÖZ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın amacı sınıvlaşma potansiyelini belirlemede Yapay Sinir Ağları (YSA) yönteminin başarısını ortaya koymaktır.

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Şefik RAMAZANOĞLU'na teşekkür ederim. Tez çalışmamda ve eğitim hayatımda her zaman desteğini hissettiğim Arş. Gör. Fikret KURNAZ' a ve tez çalışmasının temel konusunu oluşturan YSA yönteminin uygulanması ve analizlerin gerçekleştirilmesi aşamasındaki yardım ve katkılarından dolayı Doç. Dr. Alparslan Serhat DEMİR' e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmasında kullanılan verilerin elde edilmesindeki yardımlarından dolayı başta Jeofizik Mühendisi Aslan YILMAZ olmak üzere Jeoloji Mühendisi Yasemin DÜZGÜN ve Adapazarı Büyükşehir Belediyesi Geoteknik Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince manevi olarak her zaman yanımda olan çalışma arkadaşım Çevre Mühendisi Mihrican İBRAHİMOĞLU'na, yazım aşamasındaki teknik yardımlarından dolayı arkadaşım Fatih YILMAZ' a ve literatür kısmındaki tercüme yardımlarından dolayı Adnan CANSEVEN' e teşekkürü borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve duydukları gururu her zaman hissettiren başta ağabeyim Feyzullah DERE olmak üzere annem, babam ve tüm aileme sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca başta tez çalışmamda olmak üzere hayatımın her aşamasında manevi desteğini esirgemeyen meslektaşım Ozan Kemal ÇELİK' e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışmaları.....	2
1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması.....	4
1.2.1. Adapazarı kenti coğrafi konumu ve genel özellikleri.....	4
1.2.2. Literatürde Adapazarı zeminin genel özellikleri	5
1.2.3. Adapazarı jeomorfoloji ve jeolojisi.....	8
1.2.4. Adapazarı tektoniği ve bölgesel faylar	11
1.2.5. Adapazarı zeminlerinin geoteknik özellikleri.....	13
BÖLÜM 2.	
ZEMİN SIVILAŞMASI.....	20
2.1. Giriş.....	20
2.2. Kumların Yükleme Altındaki Davranışı.....	22
2.3. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler.	29
2.3.1. Zemin yapısı.....	29
2.3.1.1. Relatif sıklık.....	29
2.3.1.2. Dane özellikleri.....	30

2.1.1.3. Drenaj şartları.....	31
2.3.1.4. İnce tane oranı ve plastisite.....	31
2.3.1.5. Sismik geçmiş.....	32
2.3.1.6. Yatay toprak basıncı ve aşırı konsolidasyon oranı...	33
2.3.1.7. Gerilme altında kalma süresi.....	33
2.3.1.8. Kritik boşluk oranı.....	33
2.3.2. Dış Etkenler.....	34
2.3.2.1. Deprem büyüklüğü.....	34
2.3.2.2. Deprem süresi.....	35
2.4. Sıvılaşmanın Neden Olduğu Zemin Problemleri.....	35
2.4.1. Yanal yayılma.....	35
2.4.2. Akma göçmesi	36
2.4.3. Zemin yüzeyinde çökme-ayrılma	37
2.4.4. Taşıma gücü kaybı.....	38
2.4.5. Zemin oturması.....	39
2.4.6. Kum kaynaması.....	39
2.5. Bir Zemin Tabakasında Sıvılaşma Potansiyelini Belirleyen Yöntemler.....	40

BÖLÜM 3.

YAPAY SİNİR AĞLARI	46
3.1. Giriş	46
3.2. Yapay Sinir Ağı Nedir	47
3.3. Yapay Sinir Ağlarının Basit Yapısı	49
3.3.1. Biyolojik nöron.....	49
3.3.2. İşlemci (yapay) nöron	51
3.4. Yapay Sinir Hücresinin Temel Elemanları	52
3.4.1. Girişler.....	52
3.4.2. Ağırlıklar	52
3.4.3. Toplama İşlevi	52
3.4.4. Aktivasyon Fonksiyonları.....	53
3.4.5. Çıkış İşlevi	57
3.5. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı	57

3.5.1. Katmanlar	58
3.6. Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları.....	59
3.6.1. İleri beslemeli ağlar.....	59
3.6.2. Geri beslemeli ağlar.....	60
3.7. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme.....	60
3.7.1 Danışmanlı öğrenme	61
3.7.1.1. Geri yayımlı öğrenme algortiması.....	62
3.8. Yapay Sinir Ağlarında Test Aşaması.....	63
BÖLÜM 4.	
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE SIVILAŞMA ANALİZİ.....	64
4.1. Veri Tabanının Oluşturulması.....	64
4.2. Yapay Sinir Ağı Yöntemi İle Sıvılaşıma Analizi.....	82
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR.....	99
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	108

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a_{max}	: Maksimum yer ivmesi
C_B	: Sondaj borusu çapına ait düzeltme faktörü
C_E	: Tokmak enerji oranı düzeltmesi
C_N	: Örtü basıncı düzeltme katsayısı
C_R	: Tij uzunluğu düzeltme faktörü
C_S	: Örnekleyicinin astarlı olup olmamasına ait düzeltme
CRR	: Zeminin sıvılaşmaya karşı devirsel dayanım oranı
CSR	: Deprem sırasında oluşacak devirsel gerilme oranı
D_{10}	: %10 geçen dane boyutu
D_{50}	: %50 geçen dane boyutu
D_r	: Rölatif sıklık
e_0	: Zeminin arazideki boşluk oranı
e_{cr}	: Kritik boşluk oranı
e_{max}	: Zeminin en gevşek durumdaki boşluk oranı
E_{min}	: Zeminin en sıkı durumdaki boşluk oranı
FL	: Sıvılaşma güvenlik katsayısı
g	: Yer çekimi ivmesi
K_0	: Yanal toprak basıncı katsayısı
LL	: Likit limit
MSF	: Magnitüt düzeltme katsayısı
r_d	: Gerilme azaltma faktörü
SPT	: Standart penetrasyon testi
$SPT-N$: Standart penetrasyon testi darbe sayısı
$(N1)_{60}$: Düzeltilmiş SPT değeri
$YASS$: Yeraltı su seviyesi
z	: Yüzeyden sıvılaşan tabakaya derinlik

γ : Zeminin birim hakim ağırlığı
 σ_v : Toplam düşey gerilme
 σ'_v : Düşey efektif gerilme
 τ_{\max} : Maksimum kayma gerilmesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Çalışma Alanı Yer Bulduru Haritası	5
Şekil 1.2. Adapazarı' nın KD-GB uzanımlı morfolojik görünümü	9
Şekil 1.3. Adapazarı Merkez Jeoloji Haritası	10
Şekil 1.4. Adapazarı ve Çevresi Neotektonik Haritası	12
Şekil 1.5. Adapazarı Mahalle Haritası	14
Şekil 1.6. Belli Derinliklerde Adapazarı Zemin Haritası	15
Şekil 2.1. Sarsıntı Sonucunda Zemin Numunelerinde Meydana Gelen Değişme	21
Şekil 2.2. Kumların Gerilme Altındaki Davranışı	24
Şekil 2.3 Zeminlerin Granülometri Eğrileri.....	30
Şekil 2.4. Yanal Yayılmanın Şematik Gösterimi ve Bir Örnek.....	36
Şekil 2.5. Akma Göçmesinin Şematik Gösterimi ve Bir Örnek	37
Şekil 2.6. Zeminde Çökme-Ayrılma Şematik Gösterimi ve Bir Örnek.....	38
Şekil 2.7. Taşıma Gücü Kaybının Şematik Gösterimi ve Bir Örnek	38
Şekil 2.8. Kum Kaynamasına Örnekler	39
Şekil 2.9 Zeminde Oluşan Kayma Gerilmesinin Şematik Gösterimi	41
Şekil 2.10 Sıvılaşma Direnci-Standart Penetrasyon Darbe Sayısı İlişkisi.....	44
Şekil 3.1 Biyolojik Nöron Yapısının blok diyagramı.....	50
Şekil 3.2 Biyolojik Nöronun Basit Yapısı	50
Şekil 3.3 Tipik Bir Ağ Modeli	51
Şekil 3.4 Örnek Bir Sinir Ağı Modeli.....	51
Şekil 3.5 Simetrik Eşik Transfer Fonksiyonları.....	54
Şekil 3.6 Tek Kutuplu Eşik Transfer Fonksiyonu	55
Şekil 3.7 Çift Kutuplu Eşik Transfer Fonksiyonu	55
Şekil 3.8 Lineer Transfer Fonksiyonu	56
Şekil 3.9 Log-Sigma Transfer Fonksiyonu	56
Şekil 3.10 Hiperbolik Tanjant Transfer Fonksiyonu	57
Şekil 3.11 Çok Katmanlı Bir Sinir Ağı Yapısı	58

Şekil 3.12 İleri Beslemeli Sinir Ağlarının Basit Yapısı.....	59
Şekil 3.13 Geri Beslemeli Sinir Ağlarının Basit Yapısı	60
Şekil 3.14 Danışmanlı Öğrenme Sisteminin Şematik Gösterimi.....	61
Şekil 3.15 Geri Yayılım Ağı	62
Şekil 4.1 Çalışma Alanı Yer Bulduru Haritası ve Sondaj Lokasyonları	65
Şekil 4.2 SPT-Dr Arasındaki İlişki	74
Şekil 4.3. Oluşturulan Ağ Modeli Sematik Gösterimi.....	92

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Adapazarı kenti hasar durumu	18
Tablo 1.2. TS 1500/2000 Hükümlerine göre örnek bölgelerdeki mevcut zemin sınıfı	19
Tablo 2.1 Yer ivmesi, rölatif sıklık ve sıvılaşma potansiyeli arasındaki ilişki.....	30
Tablo 4.1. Veri Tabanını Oluşturan Parametreler.....	66
Tablo 4.2. SPT' ye Bağlı Sıvılaşma Analiz Sonuçları.....	75
Tablo 4.3. Normalizasyon İşlemi Sonrası Elde Edilen Veri Tabanı	83
Tablo 4.4. YSA çıkış verileri	93
Tablo 4.5. Analiz Performansı Tablosu	96

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma Potansiyeli, Zemin Sıvılaşması, Deprem, Yapay Sinir Ağları

Depremler sırasında ortaya çıkan en yıkıcı zemin davranışlarından biri sıvılaşmadır. Sıvılaşma olayının insan hayatı ve yapılar üzerine olan olumsuz etkisi nedeni ile bu konuda yapılan çalışmalar günden güne artmaktadır. Kum ve siltli kumdan oluşan zeminlerde deprem süresince oluşan sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlar yardımıyla çeşitli analiz yöntemleri geliştirilmiştir.

Çalışmada Adapazarı zeminleri üzerinde meydana gelen sıvılaşma potansiyelini belirlemeye yönelik olarak basitleştirilmiş prosedür ve “Yapay Sinir Ağı” (YSA) yöntemleri kullanılarak sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarla YSA yönteminin sıvılaşma potansiyelini belirlemedeki başarısı ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

YSA yöntemi ile yapılan sıvılaşma analizinde, geri yayılım algoritması kullanılmış olup model gerçek arazi verileri ile oluşturulmuştur. Pilot bölge olarak 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde ağır hasarlar alan bölgelerden biri olan Yenigün Mahallesi seçilmiştir ve yapılan tüm analizlerde dinamik yükler altındaki kumlu zeminler dikkate alınmıştır.

LIQUEFACTION ANALYSIS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK METHOD: SAMPLE APPLICATION FOR THE ADAPAZARI

SUMMARY

Key Words: Liquefaction potential, Soil Liquefaction, Earthquake, Artificial Neural Network

The most destructive ground response which appears during the earthquakes is the liquefaction. Due to its negative effect for human life and buildings, studies on the liquefaction are increasing day by day.

Different analysis methods have been developed by means of field studies and in laboratory environments, in order to determine liquefaction potential on grounds which are having sand and silty sand during the earthquakes.

In this research, liquefaction analyses have been realized by using simplified procedure and Artificial Neural Network methods on grounds of Adapazari to determine liquefaction potential. Aim of this study is testifying of success for Artificial Neural Network to determine liquefaction potential.

For liquefaction analysis with Artificial Neural Network method, backpropagation algorithm has been used and the model has been generated with real field data. As a pilot region, Yenigün district, which was one of the places that had been severely damaged by the August 17, 1999 Marmara earthquake, has been chosen and sandy grounds under dynamic forces have been considered for the all analysis.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Sıvılaşma, suya doymuş, gevşek, kumlu ya da düşük plastisiteli, kohezyonsuz zeminlerin dinamik ya da statik yükler altında boşluk suyu basıncındaki artışın bir etkisiyle geçici olarak kayma direncini kaybetmesi ve efektif gerilmenin sıfırlanması olarak tanımlanabilir (Tezcan, 2004). Sıvılaşma, bahsi geçen zeminler üzerinde bulunan yapılarda hasara yol açan en önemli ikincil deprem etkisidir. Sıvılaşma sonucunda yapılarda batma, çökme, devrilme ve yana yatma gibi hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarlar, çok büyük can ve mal kayıplarını da beraberinde getirmektedir.

Sıvılaşmanın yol açtığı bu büyük kayıplar araştırmacıların sıvılaşma konusuna olan ilgisini de beraberinde getirmiştir. Sıvılaşma problemine gösterilen ilgi, dünyada; 27 Mart 1964' te meydana gelen Alaska (Amerika Birleşik Devletleri) ve 16 Haziran 1964' te meydana gelen Niigata (Japonya) depremlerinden sonra (Kramer, 1996), Türkiye' de ise 17 Ağustos 1999 Marmara depreminden sonra yoğunluk kazanmıştır (Ulusay ve diğ. 2000) .

Casagrande (1936), sıvılaşma olgusunu kritik boşluk oranı kavramı ile açıklamaya çalışmıştır. Çalışmasında herhangi bir kum yatağının boşluk oranının, kritik boşluk oranından büyük olması durumunda deprem sırasında hacminin azaldığını öne sürmüştür. Eğer kum drenajsız ise, boşluk suyu basıncının artışı ile beraber sıvılaşma riski de artmaktadır. Daha sonra yapılan çalışmalar Casagrande (1936) tarafından verilen etken faktörün (kritik boşluk oranı) dışında, zeminin türü ve yapısal özellikleri, deprem büyüklüğü ve şiddeti, sismik özellikleri gibi etkenlerin de sıvılaşmada etkili olduğunu ortaya koymuşlardır (Ural D. ve Saka, 1998).

Yapılan araştırmalar sonucunda sıvılaşma potansiyelini belirlemeye yönelik olarak çeşitli araştırmacılar tarafından çeşitli analiz yöntemleri geliştirilmiş ve bu yöntemler

iki gruba ayrılmıştır. İlk grup (Seed ve Idriss, 1967, 1971) arazide gözlemlenen tahmini kayma gerilmesi sayısının deprem tasarımında kullanılmasıdır. Elde edilen sonuçlar laboratuvar sonuçları ile karşılaştırılarak sıvılaşma potansiyeli yüksek olan bölgeler belirlenmeye çalışılmaktadır. İkinci grupta ise arazinin geçmiş depremlerdeki dayanıklılığı gözlemlenmektedir (Seed ve diğ, 1985; Figueora, 1994). Deprem karakteristiği ve SPT' den elde edilen zemin direnci ile çeşitli zeminler için ampirik korelasyonlar verilmektedir (Ural D. ve Saka, 1998).

Bu tez çalışmasında yeni gelişmekte olan ve mühendislik alanında geniş bir uygulama alanı bulan Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile sıvılaşmayı etkileyen zemin parametreleri incelenmiş ve sıvılaşma potansiyeli belirlenmiştir.

1.1. Literatür Çalışmaları

Hem laboratuvar deneylerine dayalı, arazi-davranış modellemeleri ile tekrarlı gerilmelerin elde edildiği ileri dinamik analizlerinde; hem de yine bu tekrarlı gerilmelerin ampirik olarak belirlendiği yine arazi deneylerine dayalı basitleştirilmiş metotlarda çeşitli belirsizlikler nedeniyle, sıvılaşmaya yol açan tekrarlı gerilmelerin doğru olarak elde edilmesinde bazı güçlükler vardır. Bu nedenlerden dolayı, kohezyonsuz zeminlerin sıvılaşma potansiyelini belirlemek için, istatistiki metotlarla, son zamanlarda zemin mühendisliğinde, uygulama alanı bulan yapay sinir ağları, genetik algoritma ve bulanık mantık metotları geliştirilmiştir (Goh, 1994; Toll, 1966). Bu metotlarda tekrarlı kayma gerilmelerinin kullanımına direkt ihtiyaç duyulmamaktadır. İstatistiki metotlarda; Dr %, SPT ve sıvılaşma %'si arasında istatistiki ilişkiler oluşturulmuştur (Christian, 1975; Liao vd., 1988). Bu ilişkilerde; parametrelerin ve değişkenlerin normal olarak dağılımı gibi veya sıvılaşma ve sıvılaşmama durumlarının bireysel varyans ve kovaryanslarının, beraber alınan bütün durumlar için aynı olduğu şeklinde kabuller yapılmaktadır (Christian, 1975).

Yapay sinir ağları ile sıvılaşma potansiyelinin tespitinde, bilgisayar programları ve gerçek arazi kayıtları kullanılmaktadır. Klasik, kompleks matematiksel modellerin yerine, yapay sinir ağları metodu kullanılırsa, bir çok değişkene sahip kompleks

ilişkileri, kolayca değerlendirmek mümkün olmaktadır. Yapay sinir ağları ile sıvılaşma potansiyelinin tahmin çalışması, ilk olarak Goh (1994) tarafından yapılmıştır. Goh (1994) ve Seed (1985) çalışmalarında; sıvılaşmaya etken benzer parametreler kullanmışlardır. Bunlar; SPT değeri, ince tane oranı, D_{50} tane boyutu, eşdeğer dinamik gerilme oranı (τ_{av}/σ'_0), toplam düşey gerilme (σ_0), efektif düşey gerilme (σ'_0), deprem magnitütü (M_w) ve zemin yüzeyindeki maksimum yatay deprem ivmesi (a_{max}) dır. Bu parametrelerin içinde; SPT değerleri ile, ince tane oranı sonuçları en çok etkileyen parametreler olarak verilmiştir. (Goh, 2002)

Ural D. ve Saka (1998) yapmış oldukları çalışmada, sıvılaşma potansiyelini belirlemek için sismik ve zemin parametrelerini kullanarak Yapay Sinir Ağı (YSA), yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında geri yayımlı sinir ağını ve öğrenim algoritmasını kullanmışlardır. Giriş olarak 11 tane sismik ve zemin parametresini seçerek 7 farklı model oluşturmuşlardır. Çalışma neticesinde elde ettikleri sıvılaşma sonuçlarını geleneksel analiz sonuçları ile karşılaştırmışlar ve YSA' nın sıvılaşma analizlerindeki başarısını ortaya koymuşlardır.

Juang ve diğ., (1999) çalışmalarında, kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek için koni penetrasyon testlerine (CPT) dayanan iki yöntemi incelemiş ve bu metotlar YSA ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar YSA' nın sıvılaşma potansiyelini değerlendirmedeki başarısını ortaya koymuştur.

Wang ve Rahman (1999), sıvılaşmadan kaynaklanan düşey yer değiştirmeyi tahmin etmek için geri yayımlı bir sinir ağı modeli oluşturmuşlardır. Veri tabanını 8 büyük deprem verisini kullanarak oluşturmuşlardır. Oluşturdukları YSA modeli ile literatürdeki ampirik ifadeleri ve gerçek değerleri kıyaslamışlar ve YSA' nın daha basit bir yöntem olduğunu ve daha güvenilir sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Goh (2001), penetrasyon testi ve kayma dalga hızı verilerini kullanarak sıvılaşma potansiyelini değerlendirmiştir. Bu yöntemlerle elde ettiği sonuçları YSA ile oluşturduğu olasılıksal ağ modeli ile elde ettiği sonuçlarla kıyaslamış ve YSA' nın geleneksel yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Juang ve diğ. (2001), YSA ile sıvılaştırmanın yol açtığı yatay yer değiştirmeleri hesaplamaya yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında sıvılaştırmanın neden olduğu yatay yer değiştirmeyi tahmin etmek için arazi verilerini temel alan sinir ağı modelleri oluşturmuşlardır. Sinir ağının oluşturulmasında ve analizlerde toplam 444 tane veri kullanmışlar ve oluşturulan modelin şimdiye kadar kullanılan yöntemlerden daha üstün olduğunu ortaya koymuşlardır.

1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması

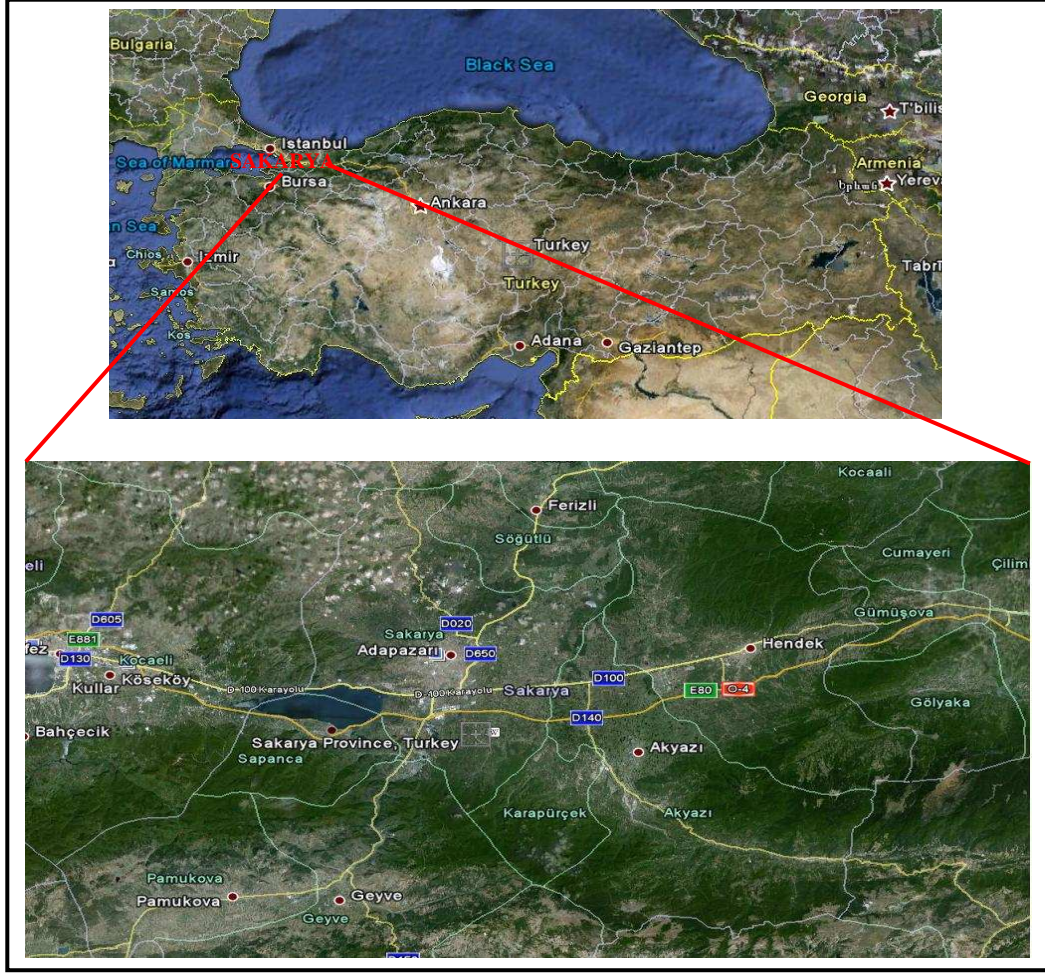
1.2.1. Adapazarı kenti coğrafi konumu ve genel özellikleri

Adapazarı Sakarya ilinin merkez ilçesi olup Marmara Bölgesi' nin kuzey doğu bölümünde yer almaktadır (Şekil 1.1). Sakarya ilinin adı buradan geçen Sakarya Nehri (tarihi Sangaria Nehri)' nden gelmektedir.

Çalışma alanını kapsayan Adapazarı kentinin izdüşüm alanı 4.821 km² olup gerçek alanı 5.015 km² dir. İl merkezi Adapazarı, yakınındaki büyük merkez İstanbul' a göre 1° 25' doğudadır. Denizden yüksekliği ortalama 30-31 m' dir. Yakınındaki en yüksek tepesi 1720 m. İle Keremali Dağı üzerindeki Dikmen tepesidir.

Adapazarı merkez, Akyazı ve Hendek ilçeleri Akova adıyla anılan Sakarya nehrinin aşağı bölümünde, Geyve ve Pamukova ilçeleri ise Bolu dağlarının Geyve çukurluğunda meydana getirdiği Pamukova düzlüğünde kurulmuşlardır.

İlin başlıca gölleri Sapanca, Taşkısığı, Poyrazlar, Akgöl, Gökçeören ve Acarlar' dır. Akarsuları 159 km. uzunluktaki Sakarya nehri ile ona karışan Mudurnu Çayı ve Sapanca Gölü' nün ayağını teşkil eden Çark suyudur.



Şekil 1.1 Çalışma Alanı Yer Bulduru Haritası

Adapazarı; Akova adı ile anılan düzlükte, Sakarya Havzası' nın aşağı kısmındadır. Doğudan Çamdağı, güney ve güneydoğudan Samanlı dağları, kuzeyden Karadeniz ile sınırlanan Adapazarı' nın batıda belirgin bir sınırı yoktur.

1.2.2. Literatürde Adapazarı zeminin genel özellikleri

Tchihatcheff (1867-1869) Düzce ile Adapazarı arasındaki Hendek oluşunu ele alarak bu kısmı eski bir vadi tabanı olarak açıklamış ve burada bulunan çakıllı depoların Kuvaterner yaşlı olduklarını ileri sürmüştür. Tchihatcheff, Sapanca' dan çıkıp Beşköprü vadisini takip eden Çark suyunun vadi ile ilgili problemlerine değinmiş ve eski tarihçilerin bilgilerini nakletmiştir.

İlk kez Andrussow (1980, Bol, 2003' e göre) tarafından ileri sürülen Karadeniz' in Pleyistosen devrinin farklı dönemlerinde "İzmit Kanalı" olarak adlandırılan su yolu ile Aşağı Sakarya Vadisi – Sapanca Gölü – İzmit Körfezi boyunca Marmara Denizi' ne bağlı olduğu görüşü, 1990-1995 yılları arasında yapılması planlanan İzmit Köprüsü nedeniyle deniz ve karada yapılmış 9 sondajdan derlenen 168 örneğin incelenmesi sonucu destek kazanmıştır (Meriç, 1997).

Peck (1918), İzmit – Sapanca oluşuna temas etmekte ve burada yerli kayanın yükselmesiyle meydana gelmiş bir eşğin gölü İzmit Körfezi' nden ayırdığını söylemektedir. Peck' te bu eşğin Kuvaterner' de oluştuğunu ileri sürmektedir.

Phannenstiel (1944), İzmit Körfezi ile Karadeniz arasında uzanan Sapanca oluşu – Adapazarı Havzası – Aşağı Sakarya Vadisi' ni takiben alçak bir bağlantı sahasının Kobelt (1898) tarafından tespit edildiğini öne sürmüştür. Bu araştırmacıya göre Sapanca oluşu ve Adapazarı depresyonu hatta eşik sahasındaki ovalar muhtemelen çeşitli faylardan oluşan kenarlarla sınırlanmış çöküntü sahası durumundaydı. Daha sonra Üst Diluvium (Pleistosen)' da bu sahalar boyunca bağlantı kesilmiş ve Sapanca gölü kalıntı bir deniz parçası halinde oluşmuştur. Yöredeki Kuvaterner Holosen ve Pleistosen' i içermekte ancak bunlar karşılıklı olarak alüvyum ve dilüvyum olarak adlandırılmaktadır.

Lahn (1948), Rish (1909)' in önerisini hemen hemen tamamen benimsemektedir. Ona göre Sapanca Gölü, Neojen sonlarına doğru veya Kuvaterner başlarında oluşmakta olan çökmelerle ilgili olarak doğuya doğru uzanan deniz kolunun, kuzey ve güneydeki yüksek sahalardan gelen akarsuların alüvyonları ile bölünmesi sonucu oluşmuş bir baraj gölüdür. Gölün bulunduğu alan bir graben sahasıdır. Bu araştırmacıya göre bölgeye giren deniz kolu muhtemelen Adapazarı ovasını da kapsamaktaydı. Böylece Sakarya Nehri İzmit Körfezi' ne akıyordu. Sapanca Gölü' nün Körfez' den ayrılmasından sonra da Sakarya' nın buraya aktığını daha sonra Sapanca doğusunun alüvyonla dolması ve Karadeniz' in Adapazarı Havzası' nı kapaması sonucu Sakarya' nın Karadeniz' e kadar uzandığı sonucuna varmıştır. Sapanca Gölü' nden çıkan Çarksuyu, Sakarya' nın alüvyonları sebebiyle ancak 30 km. sonra kuzeyde bu nehirle birleşmektedir.

Erinç (1949), Sapanca Gölü' nün derinlik haritasını ilk defa yapmış ve morfometrik özelliklerini ortaya çıkarmıştır. Buna göre yüzölçümü 46,9 km² olan Sapanca Gölü' nün en fazla derinliği 61 m.dir. Göl tabanı, kuzeydoğu ve özellikle batıda eş derinlik eğrilerinin gidişinde girinti ve çıkıntılarının bulunmasıyla burada sular altında kalmış bir vadi görünümü sergilemektedir.

İnandık (1952-1953)' a göre Adapazarı ovası ve Sapanca Gölü' ne karşılık gelen sahalar bölgenin en alçak kısımlarını teşkil ediyordu. Bu çukur alanlarda çevredeki yüksek alanlardan gelen materyallerin biriktirildiği sığ tatlı su gölleri bulunuyordu. Bu araştırmacıya göre daha önce batıya akmakta olan Sakarya Nehri' nin yatağı sonradan alüvyonlarla dolmuştur. Sakarya Nehri de alüvyonlaşmanın akışı önlemesiyle, kuzeydeki bir vadiden istifade ederek Karadeniz' e yönelmiştir.

Tanoğlu ve Erinç (1956)' e göre Pleistosen sırasında Sakarya Nehri, Karadin Vadisi' ni takiben İznik Havzası' na ve bu havzayı takiben de batıya Gemlik Körfezi' ne doğru akıyordu. Ancak bu çalışmadan iki yıl sonra Erinç (1958), yapmış olduğu Karadeniz denizaltı morfolojisine dair yazısında, Sakarya' nın denizaltı vadisi üzerinde durarak, bu akarsuyun daha önce de Karadeniz' e aktığı görüşüne katılmıştır. Ancak Bilgin (1967), Samanlı dağları ile ilgili yaptığı çalışmada, Sakarya Nehri' nin Tanoğlu ve Erinç (1956)' in dediği gibi Pleistosen' de Gemlik Körfezi' ne boşalıyor olması tezinin kabulü ile Geyve Boğazı ve Adapazarı Ovası' nın oluşum mekanizmasını açıklamanın güç olacağını belirtmiştir.

Bilgin (1984)' e göre Adapazarı Ovası' ndan geçen Sakarya Nehri' nin, Geyve Boğazı' ndan çıktıktan sonraki esas uzanışı kuzeydoğu olan 1.5 km.ye yaklaşan bir menderes kuşağına sahip olduğunu belirtmiş, aynı zamanda Sakarya' nın, özellikle menderes oluşturduğu kısımlarda yakın zamanlarda meydana gelen yatak değişikliklerini göstermiştir. Ancak Sakarya' nın bugünkü ova dolgusunu meydana getirirken ovanın değişen kısımlarından aktığını belirtmiştir. Sakarya ovada bazen menderesler yaparak bazen de çapı 500 m.ye ulaşan büklümler çizerek kuzeye doğru akmaktadır. Nehrin yüksek boşalımı olmasından dolayı ve sellenmeyi önleyecek az miktarda bitki örtüsü bulunması sebebiyle ova aşırı hacimde çökelle doludur. Araştırmacı ayrıca Sakarya Nehri' nin Geyve Boğazı' ndan ani olarak çıkışından

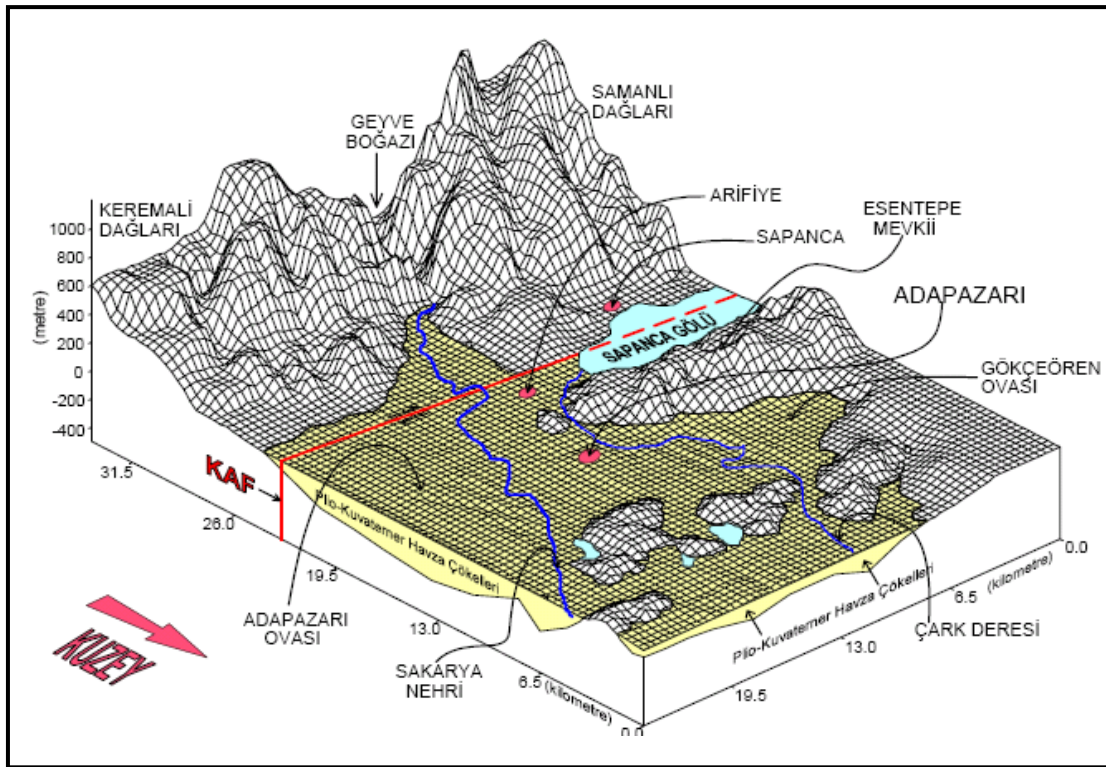
sonra düz olan Adapazarı ovasına ulaşarak hızını kaybettiğini ve bu esnada çakıl, kum, kil ve silt malzemeleri ovaya bıraktığını daha sonra yatağın gittikçe dolması sonucu azalan akım hızının ise kil ve silt istiflerinin birikmesine yol açtığını belirtmiştir.

Gökçen (1990), Bilgin (1984)' in görüşünü desteklemiştir. Eski çağlarda ovanın insansız olduğu pek çok araştırmacı tarafından yinelemektedir. Bunun nedeni olarak Sakarya Nehri' nin ilkbaharda karların erimesi ve yağmur sularının fazlalaşması üzerine kabarıp 1965' e kadar ovayı basması gösterilmektedir. Mart ve Nisan aylarında ovadaki taban suyunun da yüksek olması sebebiyle taşkın sularının çekilmesinden sonra bölgede uzun süre su birikintileri ve bataklıklar bulunmaktaydı. Kentte günümüzde bile ilkbahar ve kış aylarında yer altı su seviyesi yer yer yüzeye çıkabilmektedir. Balcıoğlu ayrıca suların bol olduğu mevsimde Karasu ile Adapazarı arasında nehir yoluyla taşımacılık yapıldığı ve bunun 1960' lara kadar sürdüğünü bildirmiştir. Gökçekaya ve Sarıyar barajlarının kurulmasıyla nehrin her iki yanına setler yapılmış ve nehir kontrol atına alınarak ovada alüvyon birikimi kontrol altına alınmıştır. (Sünbül, 2004)

1.2.3. Adapazarı jeomorfoloji ve jeolojisi

Sakarya ili sınırları içerisindeki ovalar genellikle akarsu karakterli alüvyon ile doludur ve morfolojinin %22 sini ovalar oluşturmaktadır.

Adapazarı ovası (Akova), aşağı Sakarya vadisinde, Sapanca Gölü ile Adapazarı merkez ve doğusunda yer alır. Şekil 1.2' de görüldüğü gibi Adapazarı havzasını güneyden sınırlayan yüksek kısımlar genelde E-W uzanımlı olup bu uzanımın batı kısmını Samanlı Dağları, doğu kısmını ise Keremali-Karadağ Dağları oluşturmaktadır. Doğuda Keremali Dağı eteklerine kadar uzanan Akova, Marmara Bölgesi' nin en büyük ovalarından biridir. Yüzölçümü 650 km² olan ovanın batı-doğu yönünde uzunluğu 27 km, kuzey-güney yönünde genişliği ise 23 km.yi bulmaktadır. Yüksekliği yaklaşık olarak 30 m. olan ovaya, çevredeki dağlardan sırtlar sokulmakta ve bazı alanlarda tepelikler oluşturmaktadır (Sünbül, 2004).



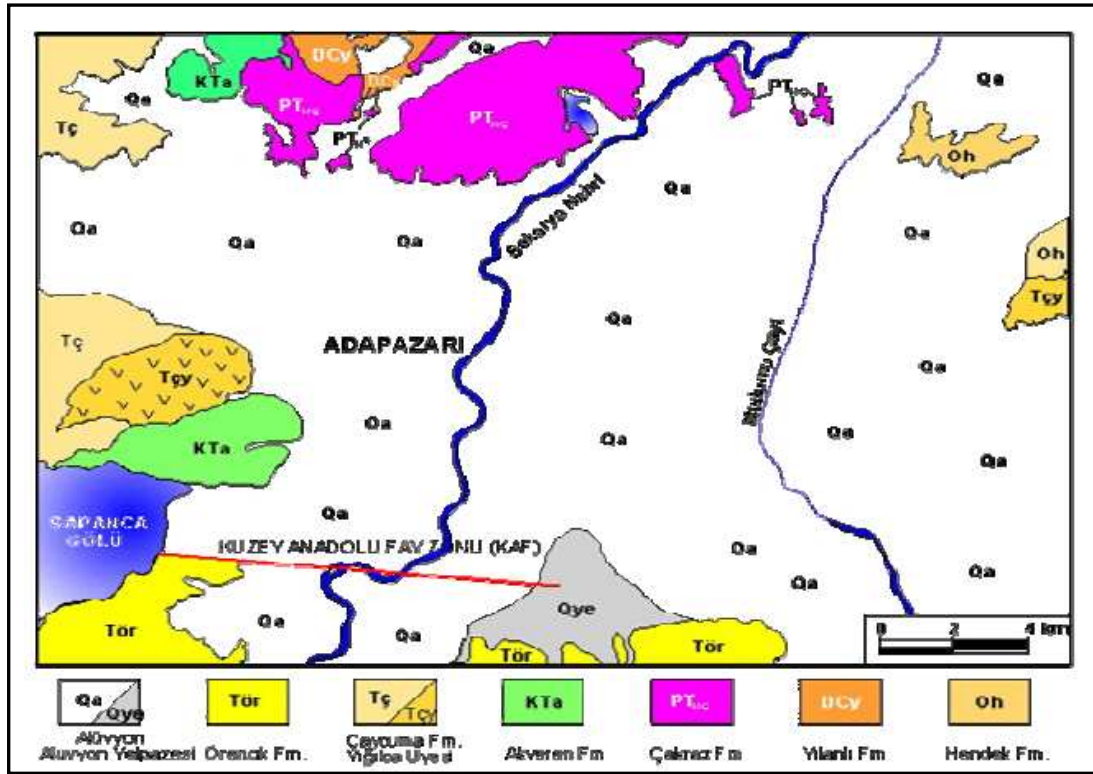
Şekil 1.2. Adapazarı'nın KD-GB uzanımlı morfolojik görünümü (MTA, 1998)

Bunlardan başlıcaları, Adapazarı kent merkezinin güneyindeki Erenler tepesi (75 m), Alibey tepesi (112 m), ve güneydoğusundaki Tersiyer tepesi (85 m)' dir. Ovanın yüksekliği NE istikametinde ‰ 0.5, NW istikametinde ise ‰ 2' lik bir eğimle azalma göstermektedir. Ovası esas olarak güneyden kuzeye doğru akan Sakarya Nehri ve doğudan güneye doğru akan Mudurnu suyu sulamaktadır. Sakarya Nehri ovada kıvrımlar yaparak akmaktadır.

Adapazarı Ova' sını derelerin getirip biriktirdiği kalın alüvyondan ibarettir (Şekil 1.3). Şehrin güneyinde Kretase yaşlı flişler yer almaktadır. Batıda ise bu formasyonlar üzerine Eosen yaşlı kireçtaşlarının geldiği görülmektedir. Ovanın kuzeyindeki tepeler Devonyen yaşlı, kırmızı renkli, killi şist ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Daha yukarılarda bu tabakalar Üst Kretase yaşlı kireçtaşları ile örtülmektedir. Yeraltı suyu alüvyon içinde çok yüksek seviyede, bazı kısımlarda ise bataklık durumundadır (Sünbül, 2004).

Adapazarı eski bir göl yatağı olan sedimanter bir basen kenarında kuruludur. Şehrin güney bölümü sığ ve sert zeminler üzerinde yer alırken kuzeyde yer alan daha büyük

ve nispeten Sakarya Nehri ve kolları tarafından taşınarak derin göl çökelleri üzerine istiflenmiş olan kuvarterner alüvyon zeminler üzerine oturmaktadır. Adapazarı, Akyazı ve Hendek ovalarını oluşturan bu birim tutturulmamış kum, silt, kil ve çakıldan oluşmaktadır. Bölgede bulunan jeolojik birimleri gösteren 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası (MTA, 1998) Şekil 1.3' de verilmiştir.



Şekil 1.3. Adapazarı Merkez Jeoloji Haritası (MTA, 1998)

Ana kaya formasyonu sedimenter zeminler altında kuzey istikametinde alçalarak kent sınırları içerisinde 200 metre civarındaki derinliklere ulaşmaktadır. Kentin derin alüvyonlar üzerinde yer alan kesiminde yüzeyden itibaren yaklaşık 15 metre derinlik içerisinde yer alan zeminler, genel olarak yer yer kil ve çakıl bantları içeren ince kum, silt ve kilin farklı oranlarından oluşmaktadır. Kentin alüvyon zeminler üzerindeki kesiminde yer altı su seviyesi yüksek olup 0,2–3 m arasındaki derinliklerde seyretmektedir. Daha aşağıda ise göl çökellerinin oluşturduğu kalın kil tabakaları yer almaktadır.

Alüvyonu oluşturan gereçler Sakarya Nehri, Çark suyu ve Mudurnu çayı tarafından Kuzey Anadolu Fay Zonu ve güneyindeki kayalardan taşınmıştır. Alüvyon kalınlığı Komazawa ve diğ. (2001), tarafından yapılan gravite ölçümleri sonucunda 1000-1500 m. olarak tespit edilmiş ve yine bu çalışmalar sonucunda kent merkezinde sağlam zeminin yaklaşık olarak 1 km. derinde olduğu belirlenmiştir. MTA, (1998) tarafından yapılan çalışmalarda ise ova kenarlarında düşük olan alüvyon kalınlığının, ovanın ortalarında 150 m. kalınlığa ulaştığı görülmüştür. Yine aynı çalışma kapsamında, DSİ' nin katkılarıyla Yenigün mahallesinde yapılan 200 m.lik sondaj çalışmasında alüvyon içinde kalınmıştır.

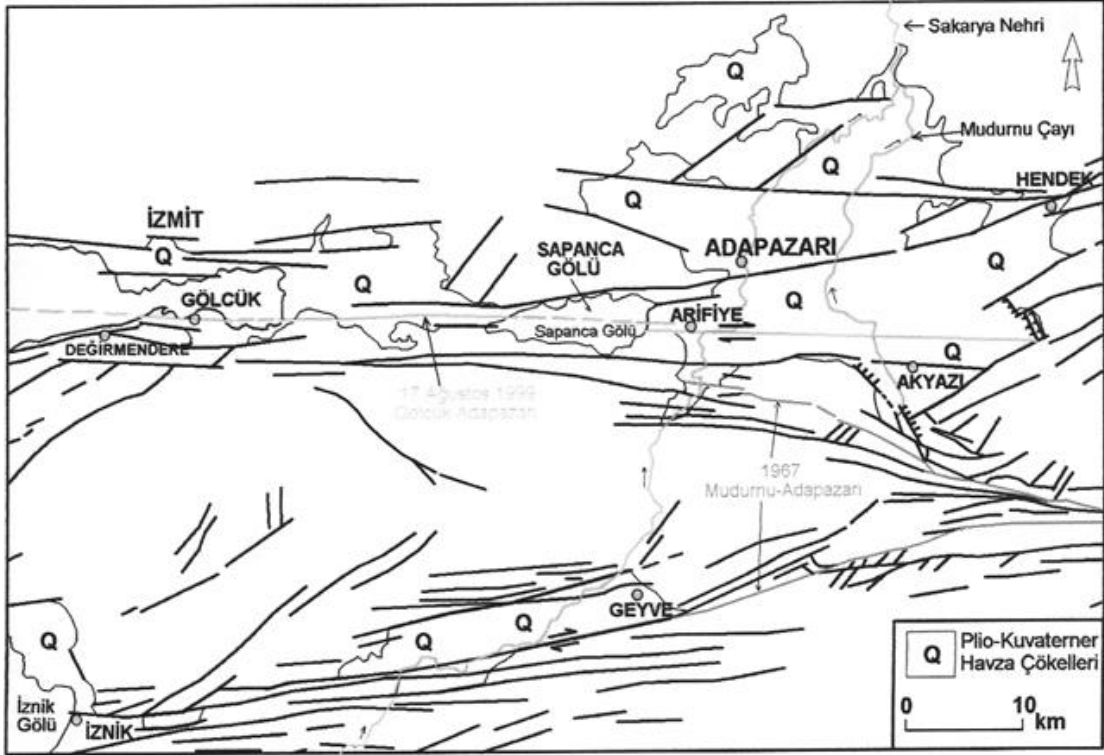
Genellikle akarsu ağızlarında sellenme ile oluşan ve genellikle ovanın güney sınırında Geyve Boğazı çıkışının sağ yamaçlarında yüzeyleyen silt, kum, çakıl ve bloklardan meydana gelen alüvyon yelpazeleri (Qye) bu birimin bir alt üyesi olarak düşünülebilir.

1.2.4. Adapazarı tektoniği ve bölgesel faylar

Bölge doğudan batıya uzanan Kuzey Anadolu Fayı (KAF)' ndan dolayı tektonik açıdan aktif konumdadır. Bu hat üzerinde yer alan Adapazarı ile ilgili deprem kayıtları incelendiğinde bölgenin oldukça yüksek bir sismisiteye sahip olduğu görülmektedir (Eroğlu, 2000).

Ayrıca Adapazarı kenti kalınca bir alüvyal bir dolgu yani zayıf zeminde yer alması nedeniyle muhtelif tarihlerde meydana gelmiş şiddetli depremlerde büyük hasar görmüştür. Jeoloji ve yerel zemin koşullarından dolayı, deprem sırasında sıvılaşma ve zemin büyütmesi açısından büyük potansiyele sahiptir.

Şekil 1.4' de araştırma alanı ve çevresindeki faylar ve Plio-Kuvaterner havza çökellerinin dağılımı gösterilmiş ve son depremlerde kırılan faylar tespit edilmiştir.



Şekil 1.4. Adapazarı ve çevresi neotektonik haritası (Koçyiğit ve diğ., 1999)

Emre ve diğ. (1998), çalışma alanının güneybatısında bulunan İzmit-Sapanca oluşunu ve güneyde bulunan Samanlı Dağları' nı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) olarak nitelendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmaya göre Erken-Orta Miyosende penneplenleşme aşaması geçirmiş, geç Miyosen ve geç Pliyosen arasındaki devrelerde K-G yönlü bir sıkışma ve sürecine girmiş bunun sonucunda da kıvrım ve doğrultu atımlı faylarla bölgesel tümenden yükselme meydana gelmiştir. Geç Pliyosen' in sonlarında KAF' ın belirlenmesi ile günümüze kadar İzmit-Sapanca oluşu doğrultu atım deformasyonlarına, Adapazarı havzası çek-ayır mekanizması sürecine, Samanlı Dağları ise yükselme eğilimine girmişlerdir.

Baykal (1943), Adapazarı kuzeyinde Devonien' e ait tepelerin eteğinden Karaboğaz, Karakamış kuzeyi ve Dağdibi kuzey kenarı boyunca E-W hattında geçen gömülü bir fayın varlığını ileri sürmüşlerdir. DSİ tarafından yapılan rezistivite etüdü sırasında (Doğan, 1968), Sakarya Nehri yatağına paralel olarak uzanan sonra kuzeydoğuya yönelen ve güneyde ise SW istikametine devam eden diğer bir gömülü fayın varlığını saptamışlardır. Keleş (1974), tarafından yapılan rezistivite etüdü sonucunda diğer bir

gömülü fayın Sapanca Oluğu' nun kuzey kenarı boyunca ve Beşköprü vadisinin güneyinde uzanmakta olduğu tespit edilmiştir.

İTÜ (1999), Kuzey Anadolu Fay Zonu' nun kuzeyinde kalan bölgelerin güneye oranla topografik açıdan daha daha yüksekte kaldığını, doğrultu atımlı fay zonlarının karakteristik özelliklerinden olan S biçimli dere yataklarının oluştuğunu derelerin ötelenildiğini, çok sayıda kütleli hareketin ve su kaynağının ortaya çıktığını öne sürmektedir.

1.2.5. Adapazarı zeminlerinin geoteknik özellikleri

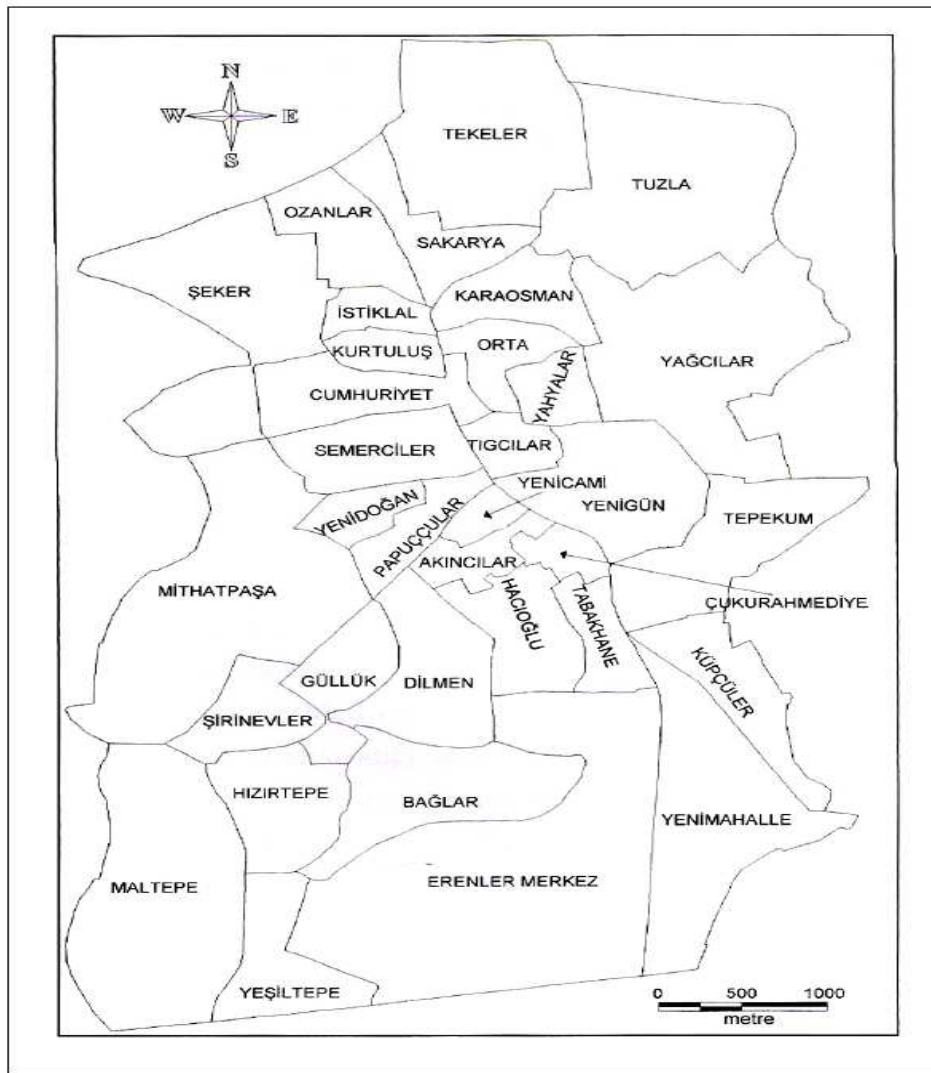
17 Ağustos 1999 Marmara depremi öncesinde çok fazla bilimsel veriye sahip olmayan Adapazarı, deprem sonrası yapılan birçok çalışma sonucunda geçerli verilere sahip olmuştur.

Genel yapı itibarıyla Adapazarı zeminleri 17 Ağustos 1999 depreminde sıvılaşmış ve taşıma gücü kayıplarına uğramıştır (Erken, 2001). Sıvılaşma ile yapılarda dönmeler, batmalar ve ötelenmeler meydana gelmiştir. Zayıf zeminler üzerine kurulu olan Adapazarı' nda en büyük hasar ilçe merkezinde meydana gelmiştir. Sıvılaşma potansiyeli yüksek olan, konsolidasyon süreçlerini tamamlamamış ve ince tane oranı yüksek olan Adapazarı zeminleri $M_w= 7.5$ büyüklüğündeki 17 Ağustos 1999 depremini büyük şiddetli olarak yaşamıştır. Bu da büyük yıkımlara neden olmuştur. Adapazarı' na komşu ilçeler Sapanca ve Arifiye KAF' a yakın olmasına rağmen depremden daha az etkilenmiştir. Bunun nedeni bu bölgelerin havza tabanı topoğrafyasının yüksek tepeliklerden olması ve gevşek çökellerin çok ince olmasıdır. Adapazarı' nda zemin özelliklerinden dolayı binalarda 2 m ye kadar varan oturmalar gözlenmiştir. Cadde ve sokaklar boyunca gömülü olan kanalizasyon boruları zemin yüzeyine doğru harekete zorlanmıştır. Aynı zamanda da binalar kanalizasyon boşluklarına hareket etmişlerdir.

Adapazarı ilçesi Sakarya havzası içerisinde bulunmaktadır. Havzadaki alüvyonlar jeolojik süreç içerisinde Sakarya Nehri ve Çark Suyu tarafından taşınmıştır. Siltli ve killi tabakaların kalınlığı 3 m' den başlayıp ilçenin çeşitli yerlerinde 15 m' yi

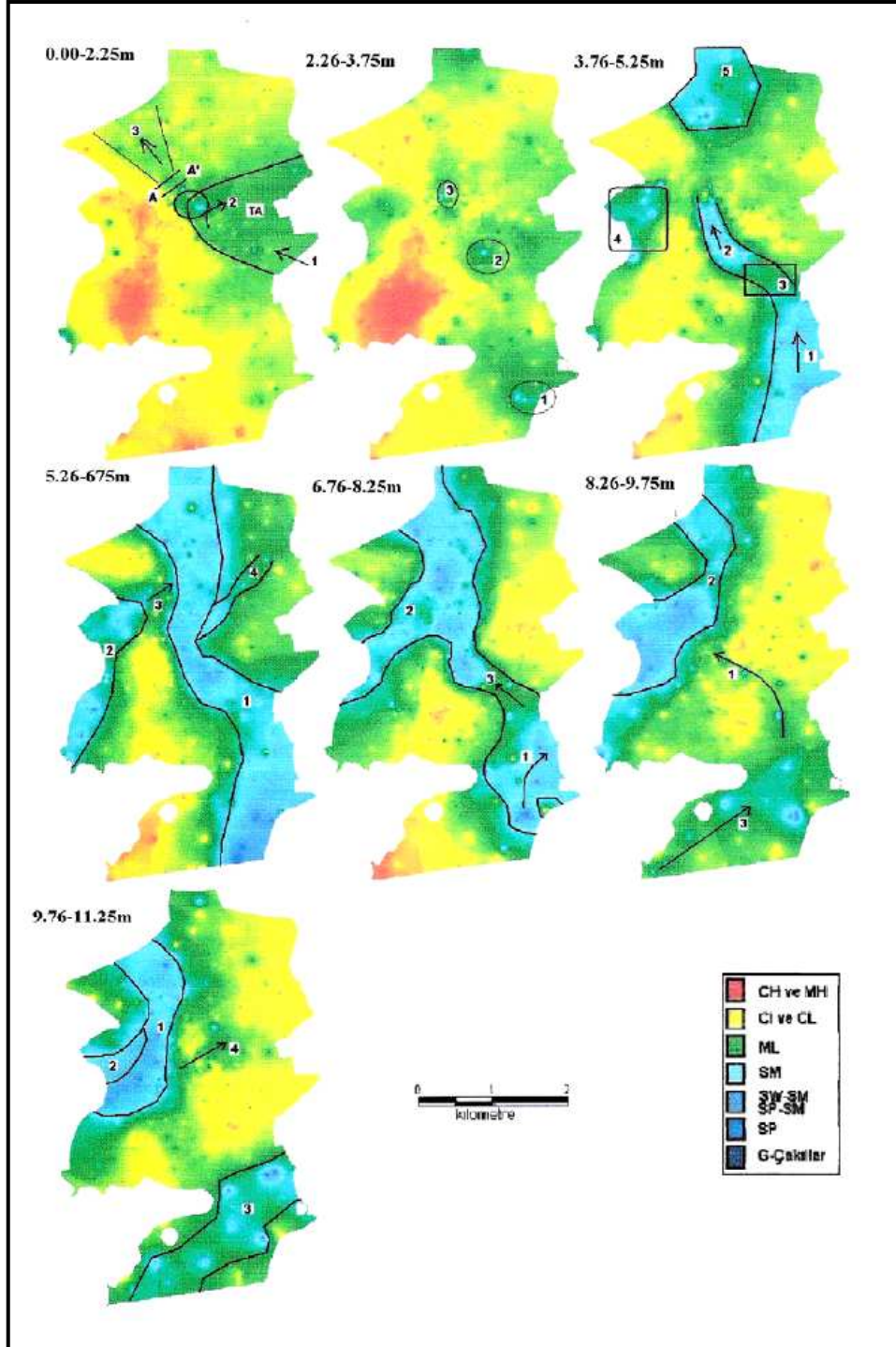
aşmaktadır. Depremden sonra zorunlu hale getirilen parsel bazında zemin etütlerinin yapılmasıyla ilçenin birçok bölgesinde sondajlar yapılmıştır.

Bol (2003), Adapazarı zeminleriyle ilgili kapsamlı bir araştırma yaparak belli derinliklerde Adapazarı ve Erenler Belediyesini kapsayan 34 mahallede zeminleri TS 1500/2000 hükümlerine göre 15.75 metreye kadar sınıflandırmıştır. Zemin yapısı yorumlanmadan önce, bu 34 mahallenin sınırlarını gösteren bir sayısal harita oluşturulmuştur (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Adapazarı Mahalle Haritası (Bol, 2003)

Sayısal haritada görülen, Kent merkezinin Güney Doğusunda bulunan Maltepe, Yeşiltepe' nin kuzeyi, Hızırtepe, Bağlar ve Güllük Mahallesinin güney ucu ana kaya üzerindedir. Şekil 1.6 Bol (2003)' un yapmış olduğu zemin özelliklerinin 11.25 metre derinliğine kadar sınıflandırılmasını göstermektedir.



Şekil 1.6. Belli derinliklerde Adapazarı zemin haritası (Bol, 2003)

Şekil 1.6' daki haritalar yorumlandığında aşağıdaki sonuçlar verilebilir.

Yüzeyden 3.75 metreye kadar olan zemin özellikleri birbirine benzer yapıdadır. Bu tabakalarda kırmızı ile gösterilen CH sınıfı zeminler Adapazarı merkezinde bulunan tepelik sahanın kuzeyinde ve güneyinde ilçe merkezinde büyük bir alana yayılmıştır. Bu CH sınıfı killer yüzey sularının Adapazarı güneyinin tepelik kısımlarını teşkil eden Akveren formasyonunun (KTa) içerdiği killi kireçtaşı, marn, kil taşı, silt taşı gibi kayaların ayrışma ürünü olan ince malzemeyi tepelerin eteklerine biriktirmesi şeklinde oluşmuşlardır.

Şehrin kuzey ve doğu bölgesinde ML sınıfı killer hakimdir ve kuzey ucunda yer yer CL sınıfında killer göze çarpmaktadır. Tabaka-1 ve Tabaka-2' de kumlar çok kısıtlı bir alanı kaplamaktadır. Kumların kapladığı alan Sakarya Nehri' nin bulunduğu bölgeye yakın olmasından dolayı belli dönemlerdeki taşkınlar sebebiyle bu bölgelerde kum birikmeleri oluşmuş olmalıdır.

Bol (2003)' e göre taşkın suları kentin içine ok1 yönünde girmekte taşkın debisi çok yüksek olmadığı zamanlarda ok2 ile gösterilen doğrultuda bir menderes yaparak bölgeden uzaklaşmaktadır. Ya da A-A' bölgesinde topoğrafik bir engelle karşılaştığından TA bölgesinde birikmekte ve zamanla çekilmekteydi. Taşkın alanı olarak adlandırılan bu alanda yeşil renkle gösterilen ML sınıfı siltlerin egemen olduğu görülmektedir. Kimi zaman ise A-A' engeli aşılmakta ve ok3 yönünde ovanın günümüzde bile diğer yerlere nazaran daha alçak bölgelerine doğru yayılmaktadır. 2.26-3.75 metreleri karakterize eden harita incelendiğinde 1, 2 ve 3 bölgelerinde sellenmeden dolayı kumlanma görülmektedir.

3.26-5.25 metre derinlikte Tabaka-1 ve Tabaka-2 deki CH zeminleri yerini CL sınıfı zeminlerine bırakmıştır fakat CH sınıfı zeminler bu bölgede yer yer kendini göstermektedir. Kuzey uçta yoğun bir şekilde kum tabakası belirmiştir. Doğu ve Kuzeydoğu bölgelerinde ML sınıfı zeminler hakimdir. Bu bölgede de CL sınıfı zeminler yer yer bulunmaktadır. Güneydoğu tarafında ve kentin tam ortasında ise kum tabakası belirmiştir. Bu derinlikte göze çarpan kenti yaklaşık olarak güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda ikiye bölen bir kum tabakasının belirmesidir. Bu kumlar

daha alt tabakalarda belirgin bir şekilde ortaya çıkacak olan bir akarsu yatağının üst kısımlarının belirtisidir. Söz konusu bu kanal geçmişte Sakarya Nehri' nin bu güzargahtan akmış olduğunun göstergesidir. Bu tabakada gösterilen 4 ve 5 nolu bölgeler daha alttaki bir nehir kanalı dolgusunun üst kısımlarını işaret etmektedir.

5.26-6.75 metre derinlikte bir kanal şeklinde kum tabakası belirmektedir. Bu da bu bölgede bir nehir yatağının varlığına işaretidir. Bu kum tabakasının bu derinlikte kent merkezinin içinden geçerek güneydoğu – kuzeybatı istikametinde belirlediği söylenebilir. Bu derinlikte de Kuzeydoğu bölgelerinde ML sınıfı zeminler hakimdir ve yer yer CL sınıfı zeminler görülmektedir. Akarsu bu derinlikte kanal malzemesini teşkil eden kum ve iri kum boyutundaki malzemeyi bu kısma depolamıştır. Aynı zamanda 2 nolu bölge olarak gösterilen kısımda da bir nehir kanalının faaliyeti sonucu yığılmış olduğu kumlar belirmekte, kumların yayılımından bu kısımda etkin olan nehrin güneyden kuzeye doğru akan bir nehir olduğu bununla birlikte 1 nolu kanalla devamlı bir bağlantısı olmadığı söylenebilir. Ancak 2 nolu nehir kolu yüksek debili olduğu zamanlarda ok3 ile gösterilen kısım ile 1 nolu nehir kanalına bağlandığı yorumlanabilir. Bununla birlikte 4 nolu bölgede 1 nolu nehrin küçük bir uzantısının olduğu gözlemlenmiştir.

6.76-8.25 metre derinlikte, kuzeydoğu bölgelerinde CL tipi zeminler belirginleşmekte ve yer yer CH tipi zeminler görülmektedir. Bu tabakada kum, kil, silt cinsi zeminler belli bölgelerde yoğun olarak bulunmaktadır. Bu derinliklerde batıda görülen kanalın sürekliliği göze çarpmaktadır. 1 nolu kanal güneyden gelmekte ve bir menderes büklümünü yaparak doğuya doğru yönelmektedir. Taşkın anlarında ise ok3 yönüyle gösterilen kanal yardımıyla fazla sularını 1 nolu kanala aktarmaktadır. Bu şekilde bir diğer özellik olarak 1 ve 2 nolu kanallar arasında kalan bölgenin, 2 nolu bölgenin batıyı çevrelediği düşünülürse CH ve CI killerin egemen olduğu bir ada şeklinde kalmış olması açıklanabilir.

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

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

9.76-1.25 metre derinlikte ise batıdaki kanal devamlılığını korumaktadır. Doğudaki hakim CL sınıfı zeminlere ML türü zeminler sokulmakta ve CH türü zeminler varlığını kaybetmektedir. Bu seviyede güneydeki kanal kendini iyice belli etmiş ve kuzeydoğu istikametine yönelmiştir. Bu arada ok4 ile gösterilen doğrultuda killerin arasında bir kanal şeklinde siltler belirmiş, doğuya doğru ise bu silt kanalı genişleyerek sınırları yaklaşık belli olan bir bölge haline gelmiştir.

17 Ağustos 1999 Depremi' nden sonra Adapazarı şehrinde yapılan çalışma ile depremden etkilenerek zarar gören hasarlı yapılar; tam hasarlı, yarı hasarlı, az hasarlı ve hasarsız ya da çok az hasarlı olmak üzere dört hasar sınıfında listelenmiştir. Yapılan listeleme sonunda meydana gelen toplulaşmaya bağlı olarak mahalle ve semtler aynı hasar tanımlaması ile gruplandırılmıştır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Adapazarı Kenti Hasar Durumu (Turoğlu, 2004)

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

17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nde Adapazarı kentinde yıkımların yoğun olarak yaşandığı ve çalışmada örnek bölge olarak seçilen Yenigün mahallesi ile ilgili TS 1500/2000 hükümlerine göre hazırlanan zemin sınıflaması Tablo 1.2 de verilmiştir (Öztürk, 2006).

Tablo 1.2. TS 1500/2000 Hükümlerine göre örnek bölgelerdeki mevcut zemin sınıfı (Öztürk, 2006)

Mahalle	Hakim Zemin Sınıfı TS (1500/2000)				Ortalama YASS (m)	Ortalama σ (kg/cm ²)
	0.00-2.50 m.	2.60-5.00 m.	5.10-7.50 m.	7.60-10.00 m.		
Yenigün	CL/ML	ML/SM	SM	SM/CL	1.93	0.71

Tabloda kırmızı ile gösterilen ilk simgeler; o derinlikteki hakim zemin sınıfını, ikinci simgeler; ikinci dereceden hakim zemin sınıfını, toplam şeklinde yazılan simgeler ise; ilki diğerine göre daha hakim fakat birbirine yakın yoğunluktaki zemin sınıflarını göstermektedir. Çift simgeli, örneğin; SP-SM, SW-SM gibi zeminler mevcut derinliklerde bulunmaktadır fakat yoğunluğu az olduğu için SM zemin sınıfına dahil edilmiştir.

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

BÖLÜM 2. ZEMİN SIVILAŞMASI

2.1. Giriş

Depremler sırasında hasara neden olan en önemli faktörlerden biri suya doymun, gevşek ve kohezyonsuz zeminlerde statik ya da dinamik yüklerin etkisiyle zeminin sıvılaşması olayıdır. Sıvılaşma; genel olarak zemine uygulanan dinamik yüklerin etkisi ile zemindeki boşluk suyu basıncının artışına bağlı olarak efektif gerilmelerin sıfıra düşmesi ve zeminin dayanımını yitirmesi olarak algılanabilir.

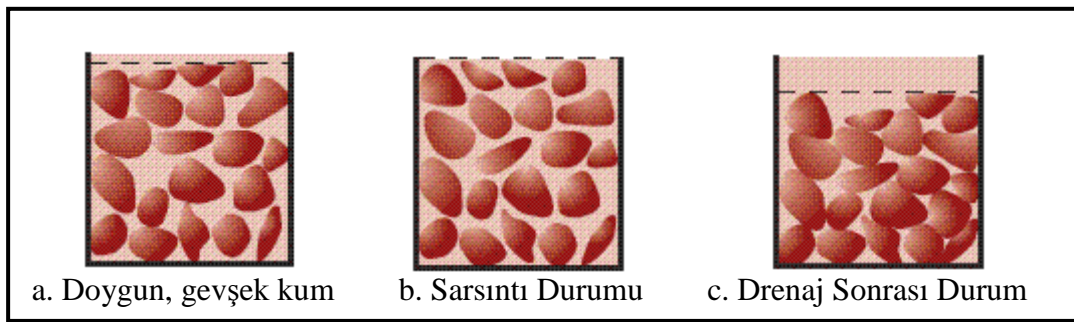
Depremde kumların sıvılaşması tarih boyunca kaydedilmiş ancak 1950' li yıllara kadar bilimsel olarak ele alınmamıştır. Aynı şekilde birçok yayında sıvılaşma dolaylı olarak tanımlanmış ancak bu tanımlamalara direkt olarak sıvılaşma denilmemiştir (Hazen, 1920; Terzaghi, 1925).

Sıvılaşma terimi, bilimsel literatürde ilk olarak Mogami ve Kubo (1953) tarafından kohezyonsuz zeminlerde drenajsız şartlar altındaki tekrarlı örselenmelerden kaynaklanan zemin deformasyonlarını tanımlamak amacıyla kullanılmıştır (Kramer, 1996)

Yine benzer bir tanımlamayla sıvılaşma olayı, suya doymun ince taneli kumlu ve siltli zeminlerin, deprem titreşimleri sırasında boşluk suyu basıncı değerinin artması ile efektif gerilmenin sıfır olması sonucu, zeminin bir sıvı haline dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır (Youd, 1995.). Doymun ve gevşek bir kum depoziti, deprem gibi bir dinamik yük ya da herhangi bir zemin titreşimine bağlı olarak daha sıkı duruma geçme eğilimi gösterir. Drenajsız koşulda gerçekleşecek olan bu hacimsel azalma daneler arasındaki su tarafından engellenmeye çalışılmakta ancak suyun sıkışabilme özelliği düşük olduğundan boşluk suyu basıncı hızla artmaktadır. Boşluk suyu

basıncının artmasıyla daneler birbirinden ayrılma eğilimi göstermekte ve boşluk suyu içinde askıda kalan daneler nedeniyle zemin bir sıvı gibi davranmaktadır.

Zeminde sıvılaşmaya neden olan etkiler, sismik dalgalar olup özellikle de makaslama dalgalarıdır (Youd, 1992). Bu dalgalar suya doymun taneli tabakalardan geçerken oluşturdukları ilave su basıncı ile tanecikli yapıyı bozar ve zeminin dayanımını yitirmesine neden olurlar. Bir sarsıntı sonucunda zemin tanelerinde meydana gelen değişme Şekil 2.1' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Sarsıntı sonucunda zemin numunelerinde meydana gelen değişme (Bhattacharya, 2007)

Zemini oluşturan bütün taneler birbiri ile temas halindedir ve taneler arasındaki bu temas yüzeylerinde temas kuvvetleri mevcuttur. Taneler arasındaki bu boşluklar, suya doymun zeminlerde su ile doludur (Şekil 2.1.a). Boşluklar arasındaki bu suyun tanelere yaptığı basınç boşluk suyu basıncı olarak tanımlanmaktadır. Normal şartlarda taneler birkaç noktadan birbiri ile temas içindedir ve taşıma gücü de yüksektir. Zeminin taşıma gücü, tanelerin temas noktalarının fazlalığıyla doğru orantılıdır. Özellikle deprem gibi olaylar, taneler arasındaki boşluk suyu basıncını artırır ve taneler arasındaki temas kuvveti zayıflar. Deprem sırasında taneler arasında yer alan bu suyun drene olması için yeterli süre olmadığından, zemin sismik dalgalar öncesindeki denge durumuna kavuşmadan boşluk suyu basıncında ani bir artış meydana gelir. Buna bağlı olarak ta basınç altındaki su, birbirinden ayrılan taneler arasından yüzeye doğru yükselir. Bu koşullar altında gözenekli zemin, deprem öncesinde gösterdiği katı malzeme davranışı yerine, geçici olarak bir sıvı gibi davranarak yüzeye doğru hareket eder. İşte bu durum sıvılaşma olarak tanımlanır.

2.2. Kumların Yükleme Altındaki Davranışı

1964 Niigata ve Alaska depremlerinde kumlarda görülen sıvılaşma ile birlikte bu konuyla ilgili çalışmalar başlamıştır. 1960' lı yılların başlarında Seed ve Lee (1966) sıvılaşma davranışını gözlemlemek için deneyler yapmış ve sıvılaşma çalışmalarında ilk olarak dinamik üç eksenli deneyi kullanmışlardır. Lee ve Seed (1967) dinamik üç eksenli deney sonuçlarından olayın bugün içinde gerçekçi olan sonuçlarını özetleyen şu bulguları vermişlerdir. 1. tekrarlı yük uygulamaları suya doymuş kumlarda geniş bir birim hacim ağırlık aralığında kısmi veya tam sıvılaşma oluşturur. 2. Çevrimsel gerilmenin veya birim deformasyonun düzeyi arttıkça yenilme veya sıvılaşma için gerekli çevrim sayısı azalır. 3. kumun altında bulunduğu çevre basıncı ne denli düşükse sıvılaşma için gerekli çevrim sayısı onunla orantılı biçimde azalır. 4. değişmez genlikte çevrimsel gerilme alan gevşek kumlarda sıvılaşmanın hemen ardından büyük şekil değiştirmeleri belirir. 5. Sıkı kumlar bir efektif çevre gerilmesinde deformasyona karşı direnç gösterirken deformasyon genliğinin belirli aralıklarında kısmi sıvılaşmaya uğrayabilir. Bu durum aynı büyüklükte olmasa da başka birim deformasyonlarda da belirebilir. Böylece, bu tür ortamda kısmi sıvılaşma ve yenilme tarifinin açık biçimde yapılması bir zorunluluktur. 6. başlangıçta gerilme altında olmayan kum elemanının yenilme veya sıvılaşması için gerekli çevrim sayısı gerilme altında olana oranla çok daha düşüktür.

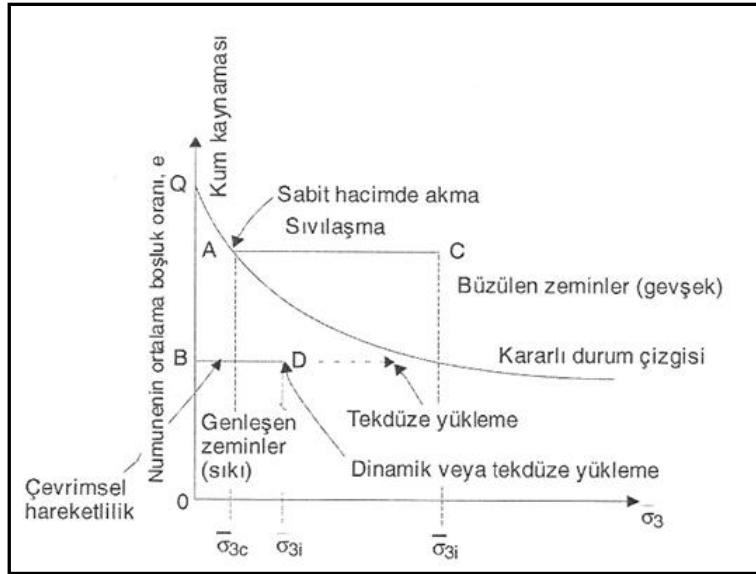
Seed ve Idriss (1967), Lee ve Seed (1967) laboratuarda temiz kum numuneleri üzerinde tekrarlı yükler altında yapılan drenajsız deneylerde sıklığa bağlı olarak iki tür davranış gözlemlemiştir. Gevşek kumlarda tekrarlı yükler altında boşluk suyu basıncı ani artış göstererek efektif gerilmeye eşit olmuş zemin sıvılaştığı için büyük şekil değiştirme göstererek kayma mukavemetini kaybetmiştir. Suya doymuş sıkı kumlarda ise yükleme çevriminin bir aşamasında boşluk suyu basıncının efektif gerilmeye eşit değere ulaşmasına karşın zeminin genişlemeye çalışması ile boşluk suyu basıncı azalarak numune tekrarlı yüke karşı bir dayanım kazanmakta ve bu olaya da ön sıvılaşma denmektedir.

Seed ve Lee (1966) sıvılaşma, başlangıç sıvılaşması, sınırlı deformasyon sıvılaşması, çevrimsel hareketlilik veya çevrimsel sıvılaşma terimlerinin tanımını yapmıştır.

Sıvılaşmayı bir zemini sabit düşük bir kalıntı direnç durumunda deformasyon alması halinde aşırı boşluk suyu basıncının oluşması ve bundan dolayı efektif çevre basıncının düşmesi olarak tanımlarlar. Bu tüp sıvılaşma statik ya da dinamik yüklemeyle oluşabilmektedir. Araştırmacılar başlangıç sıvılaşmasını dinamik yükleme sırasında boşluk suyu basıncının uygulanan çevre basıncına eşit olması durumu olarak tanımlarlar. Sınırlı deformasyon sıvılaşması çevrimsel hareketlilik ya da çevrimsel sıvılaşma ise dinamik yüklemenin uygulanmasıyla oluşan başlangıç sıvılaşmasının ardından oluşan sınırlı deformasyonların gelişmesidir. Sınırlı deformasyonun nedeni olarak da deformasyona direnmek için zeminde hala direncin mevcut olması ya da zeminin genişmesi nedeniyle boşluk suyu basıncının düşmesi ve uygulanan yükleme altında zeminin direnç kayması gösterilmektedir.

Castro (1975) çalışmasında kumlarda dinamik üç eksenli deney sonuçları ile arazide ölçülen standart penetrasyon direncini karşılaştırmıştır. Laboratuarda yapılan deney sonuçlarından iki temel olay ayırtlanmıştır. Birincisi önceden tanımlanan gevşek kumlardaki klasik sıvılaşma ikincisi ise dinamik üç eksenli ve dinamik basit kesme deneyleri sırasında oluşan çevrimsel hareketliliktir. Bu araştırmacı sıvılaşmanın sadece gevşek kumlarda kritik boşluk oranından daha büyük boşluk oranlarında çevrimsel hareketliliğin ise doğal boşluk oranının kritik boşluk oranı değerinin altında olan zeminlerde oluşabileceğini öne sürmüştür. sıvılaşmada dinamik yükleme sırasında hacim azalması nedeniyle gevşek kumlarda boşluk suyu basıncının efektif gerilmeyi sıfıra düşürdüğünü söylemiştir. Çevrimsel hareketlilikte ise dinamik yükleme altındaki sıkı kumlarda kesme sırasında zeminin genişleme eğilimi olduğunu ve bu genişleme eğilimi yüzünden boşluk suyu basıncının düştüğünü şekil değiştirmenin bu nedenle sınırlı olduğunu söylemiştir.

Castro ve Paulos (1977) sıvılaşma ile çevrimsel hareketlilik arasındaki farkı anlatmak için Şekil 2.2' yi vermiştir. Kritik boşluk oranı sabit durum çizgisi ile çizilmiştir. C zeminin boşluk oranı kararlı durum çizgisinin sağında ve üstünde ise hacimsel azalma oluştuğunu dolayısıyla sıvılaşmanın belirlediğini söylemişlerdir.



Şekil 2.2. Kumların Gerilme Altındaki Davranışı (Castro ve Paulos, 1977)

C noktasında olduğu gibi tekdüze ya da dinamik yükleme durumunda pozitif boşluk suyu basıncı oluşmakta ve A noktasına doğru hareket edilmektedir. A noktası akma sıvılaşmasının başladığı yerdir. Öte yandan zeminin boşluk oranı kararlı durum çizgisinin altında ise genleşme oluşmaktadır. Şekil 2.2 de görüldüğü gibi D noktası kararlı durum çizgisinin altında iken drenajsız dinamik yükleme sırasında B noktasına doğru ilerleyecektir. Dinamik yükleme sırasında deformasyonlar gelişecek ve numune yumuşayacaktır. Deformasyonların yeterince büyüdüğü bu duruma çevrimsel hareketlilik denilmektedir. Q noktası ise kum kaynaması durumunu göstermektedir. Bu durum kumun direncinin kalmadığı ve hacimsel değişimin oluşmadığı evreyi göstermektedir.

Taheri (1980) sıvılaşma olasılığının hesaplanması ile ilgili olarak gevşek Ottawa kumunu kullanarak yaptığı dinamik üç eksenli deneylerinde birçok parametrenin zemin sıvılaşmasını kontrol ettiğini gözlemlemiştir. Bunlar zeminin boşluk oranı, uygulanan hücre basıncı, dinamik yük ve çevrim sayısı olarak sıralanabilir. Numunelerin yüksek boşluk oranında kolay sıvılaşacağını, düşük hücre basıncında ise kolay sıvılaşma ihtimali olduğunu deviator gerilme büyüklüğünün sıvılaşma için gerekli çevrim sayısını azalttığını söylemiştir. Ladd (1977), Kramer ve Seed (1988) dinamik üç eksenli deney sonuçlarının relatif sıklık, numune (Ishihara, 1977; 1996),

Youd, 1992) uniformluğu, numunenin örselenme derecesi, numunenin aldığı gerilme ve numunenin içyapısından etkilendiğini gözlemlemiştir.

Koester (1992) sıvılaşma sürecini gevşek iri daneli zeminler tekrarlı yükleme altında daha sıkı bir dizilime geçme eğilimi gösterirler. Ortam doygun ise etkiyen dış gerilmeler bir süre için drenaj koşullarına bağlı olarak zemin iskeletinden boşluk suyuna aktarılır. Yükselmiş boşluk suyu basıncı efektif gerilmeyi düşürdüğünden etkimekte olan gerilmeler büyük şekil değiştirmeler oluşturur şeklinde açıklamaktadır.

Diğer taraftan Singh (1994) plastik siltlerde önemli boşluk suyu basıncı artışlarından önce çevrimsel hareketliliğin geliştiğini öne sürmüştür. Kil içermeyen deney numunelerinde boşluk suyu basıncının oluşmasından sonra çevrimsel hareketliliğin olduğu gözlemlenirken kil yüzdesi %10-16 olan plastik davranış gösteren numunelerde boşluk suyu basıncı oranı %100 değerine ulaşmadan çevrimsel hareketliliğin belirdiğini bildirmiştir.

Pradhan ve diğ. (1995) üç farklı tipte kum numunesi üzerinde drenajsız dinamik üç eksenli deney yapmış ve ince tane içeriğinin sıvılaşma üzerindeki etkisini incelemiştir. Yapılan deney sonuçlarından ince tane içeriğinin %15 e kadar sıvılaşma potansiyeli üzerinde önemli bir değişim göstermediğini; sıklığın bozulmasıyla oluşan akma deformasyonunun boşluk suyu basıncının yüksek olduğu değerlerde görüldüğünü belirtmişlerdir. Ayrıca sıvılaşma süresince kumdaki ince tane yüzdesinin akma deformasyonuna direnç gösterdiğini ve ince tane içeriği fazla olan kumlarda sıvılaşma ile yitirilmiş rijitliğin daha hızlı olarak geri kazanıldığını bildirmişlerdir.

Hussein (1995) sıkı kumlarda kesme sırasında genleşme eğiliminin yani hacim artışının boşluk suyu basıncının azalmasına neden olduğunu ve dolayısıyla efektif gerilmenin arttığını söylemiştir. Sıvılaşma ve çevrimsel hareketliliğin tanımını Castro (1975) ve Castro ve Paulos (1977) ye benzer şekilde vermiştir. Çalışmasında plastik olmayan siltlerin dinamik davranışının kumlara benzediği, plastik siltlerin ise davranışın bakımından çeşitlilik gösterdiği sonucuna varmıştır.

Robertson ve Wride (1998) sıvılaşma terimini akma sıvılaşması ve çevrimsel yumuşama olarak ikiye ayırmıştır. Çevrimsel yumuşamayı ise kendi içinde çevrimsel sıvılaşma ve çevrimsel hareketlilik olarak ayırmıştır. Akma sıvılaşmasını, drenajsız yükleme durumunda deformasyon yumuşaması olarak vermiştir. Bu olayı tekdüze ve dinamik yüklemenin tetikleyebileceğini söylemiştir. Çevrimsel yumuşama, deformasyon yumuşaması ve deformasyon pekleşmesi olarak verilmiştir. Çevrimsel sıvılaşmanın drenajsız dinamik yükleme ile efektif gerilmenin sıfıra ulaşması veya kayma gerilmesinin ters yönde dönmesi durumunda geliştiğini belirtirken diğer yandan çevrimsel hareketliliği drenajsız dinamik yükleme ile kayma gerilmesinin daima sıfırdan büyük veya kayma gerilmesini geri dönmemesi olarak verilmiştir.

Ishihara (1996) sıvılaşma tanımını kohezyonsuz zeminlerde yapmıştır. Gevşek kumlarda oluşan başlangıç sıvılaşması büyük deformasyonların olduğu yumuşama durumunda boşluk suyu basıncı oranı r unun %100 değerine ulaşması sırasında direncin tamamen kaybolması durumu olarak tanımlamıştır. Orta sıkı ve sıkı kumların yumuşaması durumunda görülen sınırlı sıvılaşma, çevrimsel yumuşama veya çevrimsel hareketlilik olayının ayırımı ise $\pm 2,5$ eksenel deformasyon seviyesinin eşlik ettiği, boşluk suyu basıncının %100 değerine ulaştığı ancak büyük deformasyonların oluşmadığı ve direncin tamamının kaybolmadığı durum olarak yapmıştır. Siltli kumlar veya kumlu siltlerde plastik ince tanelerin sıvılaşmaya etkisi olduğunu söylemiştir. Plasitsite göstermeyen siltli zeminlerin temiz kumlar gibi kolaylıkla sıvılaşabildiklerini, kohezyonlu ince tanelerin de siltli zeminlerin dinamik direnci arttırdığını teyit etmiştir. Killi zeminler doymun olsalar dahi bunların dinamik yükleme sırasında dirençlerini yitirmeyebileceklerini, aksine dinamik yükleme sırasında drenajsız dirençlerinin statik koşullardaki dirençten daha yüksek olabileceğini, dinamik yükleme altında killi zeminlerin davranışının da çevrim sayısı ile deformasyon arasındaki ilişkilerin tanımlanabileceğini öne sürmüştür.

Kramer (1996) sıvılaşma olayını basitçe akma sıvılaşması ve çevrimsel hareketlilik olarak ikiye ayırmıştır. Akma sıvılaşmasını, zemin kütlelerinin statik dengesi için gerekli kayma gerilmesinin zeminin sıvılaşmış haldeki kayma dayanımından büyük olduğu; çevrimsel hareketliliğin ise statik kayma gerilmesinin zeminin sıvılaşmış haldeki kayma dayanımından küçük kaldığı durumlar olarak tanımlamıştır. Akma

sıvılaşmasının oluşmasında statik kayma gerilmelerinin rol oynadığını, çevrimsel hareketlilikte hem dinamik hem de statik kayma gerilmelerinin rol oynadığını öne sürmüştür.

Andrews (1997) plastik siltlerdeki boşluk suyu rejiminin ve çevrimsel hareketliliğin plastik olmayan siltlerden farklı olduğunu belirtmiştir. Plastik siltlerde çevrimsel hareketliliğin önemli boşluk suyu basıncı artışından önce geliştiğinin oysa nonplastik siltlerde çevrimsel hareketliliğin temiz kumlardaki gibi fazla boşluk suyu basıncı oluştuktan sonra belirmediğini söylemiştir. Plastik olmayan siltli zeminde boşluk suyu basıncı oranının %100 e ulaşması durumuna sıvılaşma derken plastik siltte gözlenen sıvılaşmayı klasik anlamda sıvılaşma olmadığını daha ziyade %100 boşluk suyu basıncı oranının oluşmaması durumu için çevrimsel hareketlilik olarak tanımlamıştır. Çevrimsel hareketlilik gri bir alandır. Bu olay plastisite gösteren profillerde klasik anlamda sıvılaşma oluşmamasına karşın deprem sırasında önemli deformasyon gösteren zeminlerde gelişebilmektedir.

Polito (1999) laboratuvar deneylerinde en genel tanım olan numunedeki boşluk suyu basıncının öncelikle başlangıçtaki efektif gerilmeye eşit olması hali için sıvılaşma terimini kullanmıştır. Akma sıvılaşması ve çevrimsel hareketliliği ise Castro (1975) gibi tanımlamıştır.

Perlea (2000) zeminin sıvılaşmasını daneler arasındaki temasın kaybolmasıyla danelerin su içinde askıda kalması olarak tanımlamıştır. Bu yüzden sıvılaşma hassaslığının, kohezyonsuz ve düşük plastisiteli zeminlerin bir özelliği olduğunu öne sürmüştür.

Kramer ve Elgamal (2001), zemin sıvılaşmasının karmaşık bir olay olduğunu ve birçok araştırmacının sıvılaşmayı farklı açılardan değerlendirdiğini belirtmiştir. Son yıllarda sıvılaşmayla ilgili terimlerin uyuşmazlıkları yüzünden yayınlarında sıvılaşmayla ilgili terminolojiyi yeniden tanımlamışlardır. Onlara göre akma sıvılaşması; statik dengeyi sağlamak için gerekli gerilmenin zeminin kalıntı direncinden yüksek olduğu durumdur. Akma sıvılaşması bu nedenle sadece düşük kalıntı dirence sahip gevşek zeminlerde oluşabilir. Bu tür sıvılaşma çok büyük

deformasyonlar oluşturabilir. Ancak bu deformasyonların statik kayma gerilmelerince oluşturulduğu unutulmamalıdır. Akma sıvılaşması doğa ve laboratuarda statik ve dinamik yüklemeyle oluşabilir. Laboratuarda akma sıvılaşması deneylerini gerilme kontrollü yükleme ile yapmak uygun olur. Gerilme kontrollü tekdüze yüklemeli bir deneyde artan deviatör gerilmeyle boşluk suyu basıncı da artmaktadır. Deformasyon seviyesinin küçük olduğu durumda deviatör gerilme doruk noktasına ulaşır. Deviatör gerilme doruk noktasına ulaştıktan sonra deformasyon oranı ve boşluk suyu basıncı hızla artmaktadır. Böylece akma sıvılaşmasının deviatör gerilmenin doruk noktasına ulaştığı noktada başladığı söylenebilmektedir. Zemin iskeletin yapısı, mevcut direncin kalıntı dirence eşit olmasına kadar bozulmaktadır. Deviatör gerilmenin kalıntı dirençten daha büyük olması durumunda numune statik dengede kalmayabilir ve sıvılaşma gelişir. Çevrimsel hareketlilik ise statik kayma gerilmesinin kalıntı dirençten küçük olduğu durumda görülebilmektedir. Dinamik kayma gerilmesi uygulandığında ortamda aşırı boşluk suyu basıncı gelişmektedir. Bu olay doğa da sıkça yanal yayılma biçiminde gözlenir. Yanal yayılma süreci deprem sırasında kalıcı deformasyonların yığılımlı birikmesi ile gerçekleşmektedir. Bu deformasyon değerleri gevşek zeminler yanında sıkı zeminlerde de azımsanmayacak değerlere ulaşabilir

Jefferies ve Been (2006) kumlarda sıvılaşma ve çevrimsel hareketlilik terimlerinin tanımlarını vermişler ve statik ve çevrimsel sıvılaşmanın bir bakıma aynı olay olduğunu öne sürmüşlerdir. Plastik birim kayma şekil değiştirmelerinin birikmesi sırasında oluşan fazla boşluk suyu basınçları sönmelenemediğinden plastik birim hacim değişimlerinin hızla büyüdüğünü, bunun etkisiyle efektif gerilmeler azaldığından zeminin rijitlik ve direncinin aynı oranda düştüğünü ifade etmişlerdir. Statik ve çevrimsel etkilerden doğan sıvılaşmada farkın plastik birim hacim değişimlerinin ortaya çıkış biçiminden kaynaklandığını söylemişlerdir. Statik sıvılaşma olayında gerekli koşullardan biri gerilme-birim deformasyon-kabarma sürecinde beliren plastik hacimsel birim deformasyonun (ϵ_v), uygulanmakta olan gerilmeye direnme sırasında zemin iskeletinin pekleşmesi için yapılan işten büyük olmasıdır. Kritik durumdan daha gevşek her zeminde statik deformasyon gelişebilir.

Dinamik yüklemelerde sıvılaşma gelişmesi durumu ise gerilme değişimleriyle sıkılaştıran zeminde plastik hacimsel birim deformasyonlar görülmesi, bunu da zemin danelerinin birbirine daha yakın konuma geçmek istemesi olarak açıklamışlardır. Bu tür sıvılaşmanın sıkı kumlar, hatta aşırı konsolide killerde de görülebileceğini ilave etmişlerdir. Statik ve çevrimsel arasındaki farkı, sıkı zeminde çevrimsel sıvılaşmadan doğan birim deformasyonların sınırlı olmasına bağlamaktadır. Süreç başlar başlamaz sıkı zeminde kayma gerilmesi uygulanmasından doğan genleşmeye bağlı kabarma sahneye çıkar ve sıkılaştırma eğiliminden kaynaklanan fazla boşluk suyu basıncını karşılamaya çalışır. Böylece çevrimsel sıvılaşma sıkı zeminlerde zeminin yumuşaması biçiminde belirirken gevşek zeminlerde açık bir gevrek çökme görülür.

2.3. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

Bir zeminin sıvılaşma potansiyeline sahip olup olmadığı belirlenirken pek çok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörler, zemin özellikleri ve sıvılaşmaya neden olan dış faktörler olmak üzere iki grupta incelenebilir.

2.3.1. Zemin yapısı

2.3.1.1. Relatif sıklık

Kohezyonsuz zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışlarını etkileyen en önemli parametre sıklık derecesidir. Sıklık değeri arttıkça ön sıvılaşmaya ulaşmak için gerekli çevrim sayısının ve uygulanan kayma gerilmesinin artması gerekmektedir (Seed, 1976). Zemin sıklığının artmasıyla kesme sırasındaki hacim azalımı ve boşluk suyu basıncı azalmakta dolayısıyla da sıvılaşma olasılığı azalmaktadır. (Ferrito, 1997)

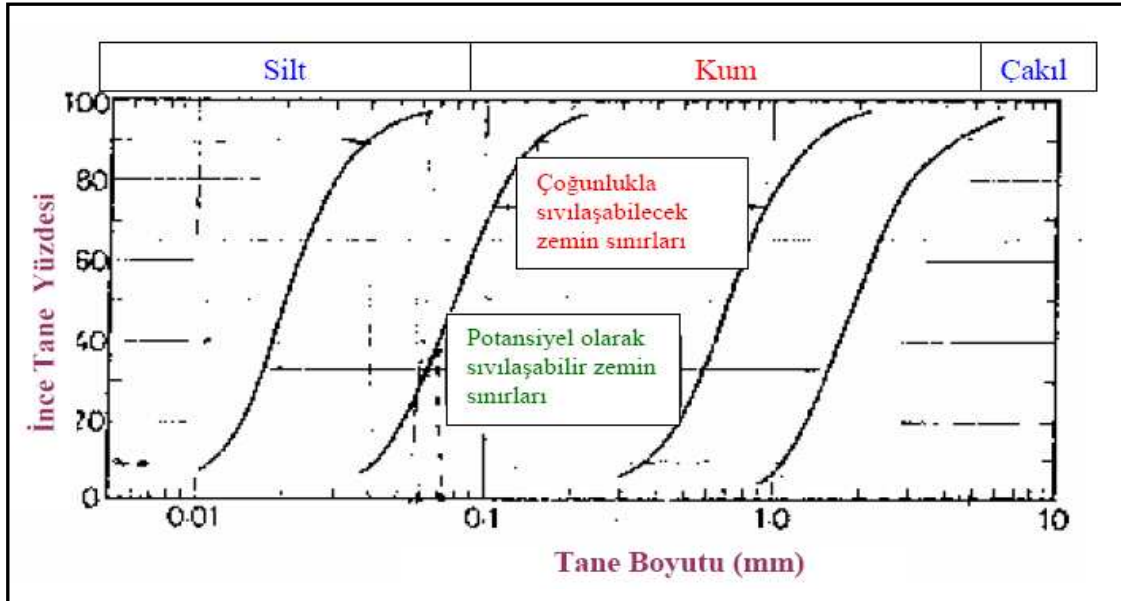
Başlangıç relatif sıklık değeri arttıkça titreşim sırasında oturma ve boşluk suyu basıncının azaldığı bilinmektedir. Buna göre yer ivmesi, relatif sıklık ve sıvılaşma potansiyeli arasındaki ilişkiler Tablo 2.1' de (Şekercioğlu, 1998) verilmiştir.

Tablo 2.1 Maksimum Yer İvmesi, Rölatif Sıkılık ve Sıvılaşma Arasındaki İlişki

Maksimum Yer İvmesi a_{max} (g)	Sıvılaşma Riski		
	Yüksek	Orta	Düşük
0.10	$Dr < 0.33$	$0.33 < Dr < 0.54$	$Dr > 0.54$
0.15	$Dr < 0.48$	$0.48 < Dr < 0.73$	$Dr > 0.73$
0.20	$Dr < 0.60$	$0.60 < Dr < 0.85$	$Dr > 0.85$
0.25	$Dr < 0.70$	$0.70 < Dr < 0.92$	$Dr > 0.92$

2.3.1.2. Dane özellikleri

Dane özellikleri kavramı, dane boyutu, dane şekli ve dane çapı dağılımını içermektedir. Sıvılaşmada dane çapı dağılımının etkisini belirlemek amacıyla Tsuchida (1970) tarafından geçmişte meydana gelmiş depremlerden elde edilen granülometri eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 2.3.) Dane boyutunun küçülmesi granüler zeminlerde sıvılaşma riskini artırmaktadır. Buna göre ince kumlar kaba kumlara kıyasla sıvılaşmaya daha hassastır.



Şekil 2.3 Zeminlerin Granülometri Eğrileri (Tsuchida, 1970)

Dane şekli ve dane dağılımı etkisinin ne yönde olduğuna dair kesin bulgular olmamakla beraber dane şekli açısından bakıldığında; yuvarlak danelere sahip zeminler köşeli danelere sahip zeminlere göre daha kolay sıkışma eğilimi gösterdikleri için daha fazla sıvılaşma tehlikesi taşımaktadır. Dane çapı dağılımının da sıvılaşma durumu üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Örneğin hemen hemen her çap aralığında belirli bir miktar dane bulduran iyi derecelenmiş bir zeminde farklı dane çapları içeren yapı nedeniyle, deprem etkisiyle birlikte daha küçük çaplı daneler büyük çaplı daneler arasındaki boşluklara girmeye çalışacak ve böylece sıkışma eğiliminin azalmasıyla, oluşması muhtemel boşluk suyu basıncı artışları daha sınırlı kalacaktır. Buna göre üniform kumlar sıvılaşmaya karşı oldukça hassas bir yapıya sahiptir.

2.1.1.3. Drenaj şartları

Arazide sıvılaşma oluşumu drenaj şartlarıyla yakından ilişkilidir. Sıvılaşmaya neden olan etken, suyun drene olamaması nedeniyle boşluk suyu basıncında oluşan artışların, efektif gerilmeyi azaltmasıdır. Bu nedenle eğer sıvılaşma riski olan tabakanın üzerinde daha az geçirimli bir tabaka varsa bu durum sıvılaşma riski taşıyan tabakada oluşacak boşluk suyu basıncı artışının sönmülmesi için gerekli olan drenaj süresini uzatacağından tabaka için deprem sırası ve sonrasında sıvılaşma tehlikesi daha fazla olacaktır.

2.3.1.4. İnce tane oranı ve plastisite

Sıvılaşma üzerinde dane çapı dağılımının etkisini belirtmek amacıyla geçmişte oluşan depremlerde, sıvılaşan zeminler incelenmiştir. Böylece ince dane içeren kumların sıvılaşma olasılıkları ince dane içermeyen kumlara oranla daha fazladır (Ishihara, 1985). Ishihara, tarafından tekrarlı üç eksenli deney sisteminde plastik olmayan ve düşük plastisiteli silt içeren sıkı şartlar altındaki kumların dinamik davranışları incelenmiştir. Çalışmasında aynı gerilme seviyelerinde ve aynı çevrim sayılarında hem plastik olmayan hem de düşük plastisiteli silt oranlarının artmasıyla, boşluk suyu basınçlarında ve birim şekil değiştirmelerde büyük artışlar oluştuğunu belirlemiştir.

Prakash (1992) ise çalışmalarında aşağıdaki sonuçları elde etmiştir:

1. Düşük plastisiteli siltlerin sıvılaşma direnci, artan plastisite ile azalır,
2. Kil boyutlu dane yüzdesinin artması, tekrarlı gerilme oranını düşürmektedir,
3. Kil yüzdesi ne kadar fazla ise, %10'a kadar, tekrarlı gerilme oranı da o kadar düşüktür,
4. Düşük plastisiteli siltlerin aksenel deformasyonu, kil yüzdesinin artması ile artar. %5 kil için, ilk sıvılaşma durumuna, %5 göçme sınırından sonra erişilir.

2.3.1.5. Sismik geçmiş

Geçmişte sıvılaşmaya maruz kalmış zeminlerin yeni depremler ile birlikte tekrar sıvılaşma gösterme ihtimalinin büyük olduğu hem laboratuvar çalışmalarından hem de arazi gözlemlerinden bilinmektedir (Ansal ve Ögünç,1981). Bu etkinin hangi yönde olduğunu belirlemek amacıyla aynı özellikte ve aynı sıklıktaki numunelere çok küçük titreşimler uygulanmıştır. Uygulama sonucunda numuneler üzerinde yapılan gerekli gerilme oranlarının, hiç titreşim altında kalmamış numunelere göre % 50'den daha büyük olduğu gözlenmiştir. Daneli bir yapıya sahip olan kumlarda, küçük titreşimler danelerin ve dane yüzeylerindeki pürüzlülüklerin birbirine göre daha iyi yerleşmesine ve bundan dolayı kayma mukavemetini belirleyen iki bileşenden biri olan danelerin kilitletmesinin artmasına neden olduğundan sıvılaşmaya karşı dirençte bir artış görülür.

Sıvılaşmaya karşı en büyük direnci gösteren numuneler, yüksek frekanslı titreşim uygulanmış numunelerdir. En zayıf numunelerse havada ve suda yağmurlama ile hazırlanmış olanlardır. Burada sıvılaşmadan sonra numunenin suda yağmurlama yolu ile hazırlanmış numunelere benzer bir yol izlediği düşünülebilir. Benzer şekilde uzun süre jeolojik yük altında zemin tabakalarında, daneler arasında meydana gelen kaynama ve çimentolaşma sıvılaşma potansiyelini düşürebilir. Seed,1978 yılında yapmış olduğu deneylerde böyle bir durumda sıvılaşmaya karşı dayanımın %75 oranında arttığını göstermiştir.

2.3.1.6. Yatay toprak basıncı ve aşırı konsolidasyon oranı

Sıvılaşmaya etki eden faktörlerden bir diğeri yatay toprak basıncıdır. 1980 yılında Ishihara tarafından aynı tip kum numuneleri kullanarak yapılan burulmalı kesme deneylerinde aşırı yüklenmişliğin etkisi incelenmiş ve deney sonuçlarına göre, aşırı konsolidasyon oranının artmasıyla sıvılaşmaya karşı direncin arttığı belirlenmiştir. Suyu doymuş kohezyonsuz zeminlerde yapılan araştırmalarda uygulanan konsolidasyon basınçları arttıkça, numunelerin dinamik mukavemetleri azalarak sıvılaşabilirliğin artmakta olduğu gözlenmiştir (Castro ve Paulos, 1976).

2.3.1.7. Gerilme altında kalma süresi

Yapılan deneyler sonucunda, sıvılaşmaya etki eden faktörlerden birisinin de zeminin jeolojik yükten kaynaklanan gerilme altında kaldığı sürenin olduğu belirlenmiştir. Bu sürenin etkisinin ölçülebilmesi için benzer şekilde hazırlanmış numuneler 0,01 günden 95 güne kadar değişen zaman dilimleri içinde belirli bir basınç altında bırakılmış ve ön sıvılaşmaya yol açabilecek gerilme oranları arasında %25'e varan farklar bulunmuştur. Daha uzun zaman dilimlerinin etkisini anlayabilmek için araziden alınan örselenmemiş numunelerin davranışı ile aynı tip kum kullanılarak laboratuarda hazırlanmış numunelerin sıvılaşmaya karşı davranışlarının karşılaştırılması gerekmektedir. Böyle bir durumda ise sıvılaşmaya karşı direnç, %75 oranında artabilmektedir. Buna neden olarak da uzun süre yük altında kalmanın bir sonucu olarak, daneler arasında bir kaynamanın ve çimentolaşmanın oluşması gösterilmektedir (Seed, 1976).

2.3.1.8. Kritik boşluk oranı

Farklı kumlu zemin numuneleri üzerinde yapılan drenajlı kesme deneylerinde, kumların sıklık oranlarına göre, hacimsel değişimlerinin farklılık gösterdiği gözlenmiştir. Sıkı kumlarda hacimsel olarak bir artış olurken, gevşek kumlarda hacimsel olarak bir azalma meydana gelir. Bu iki durumun arasında, hacimsel bir değişikliğin olmadığı ve kırılmanın gerçekleştiği boşluk oranı, kritik boşluk oranı, e_{cr} olarak tanımlanmaktadır (Casagrande, 1936). Konsolidasyonlu drenajsız kayma

durumunda, eğer $e_e < e_{cr}$ ise negatif boşluk suyu basıncı eğer $e_o > e_{cr}$ ise pozitif boşluk suyu basıncı oluşmaktadır. Zeminin boşluk oranı kritik boşluk oranından küçük iken zemin için sıvılaşma potansiyeli düşük olarak kabul edilirken, kayma anında drenajın mümkün olmadığı ve zeminin boşluk oranının kritik boşluk oranından büyük olduğu gevşek kumlar için sıvılaşma potansiyeli büyüktür. Kritik boşluk oranı, Casagrande'nin (1936) önerdiği, aşağıdaki eşitlikten bulunabilir (Seed, 1976).

$$e_{cr} = e_{min} + (e_{max} - e_{min}) * e^{[-0.75 a/g]} \quad (2.1)$$

Burada;

e_{min} : Deney sonuçlarından elde edilmiş minimum boşluk oranı, %

e_{max} : Maksimum boşluk oranı, %

a: Maksimum deprem ivmesi, m/sn^2

g: Yerçekimi ivmesi, m/sn^2

Mühendislik uygulamasında, çeşitli gerilmelerde drenajsız yükleme yapılması durumunda ne kadar fazla boşluk suyu basıncı oluşacağını tahmin etmek genellikle gereklidir.

2.3.2. Dış etkenler

Zeminlerde sıvılaşmaya neden olan en önemli etkenlerden biri depremlerdir. Bu nedenle sıvılaşmaya neden olan sebepler incelenirken depremlerin de birtakım özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu özellikler, dış etkenler başlığı altında toplanmış ve özellikleri alt başlıklarda incelenmiştir.

2.3.2.1. Deprem büyüklüğü

Sıvılaşma statik veya dinamik yüklerin (deprem, trafik, patlatma vs) etkisi altında meydana gelebilir. Arazide karşılaşılan durum sıvılaşmanın genellikle deprem etkisiyle olduğu şeklindedir. Bu nedenle sıvılaşmanın meydana gelmesinde depremin şiddetinin önemli bir rol oynadığı açıktır. Depremin şiddetinin yüksek

olması bir başka deyişle maksimum ivmesinin büyük olması sıvılaşma tehlikesini arttıran bir etkidir. Bununla birlikte magnitudü büyük olmayan bir deprem hareketinin yüzeye doğru ilerlerken zemin tarafından büyütülebildiği bilinmektedir. Bu nedenle bu durumun sıvılaşmaya yol açabileceği de ihtimal dahilindedir.

2.3.2.2. Deprem süresi

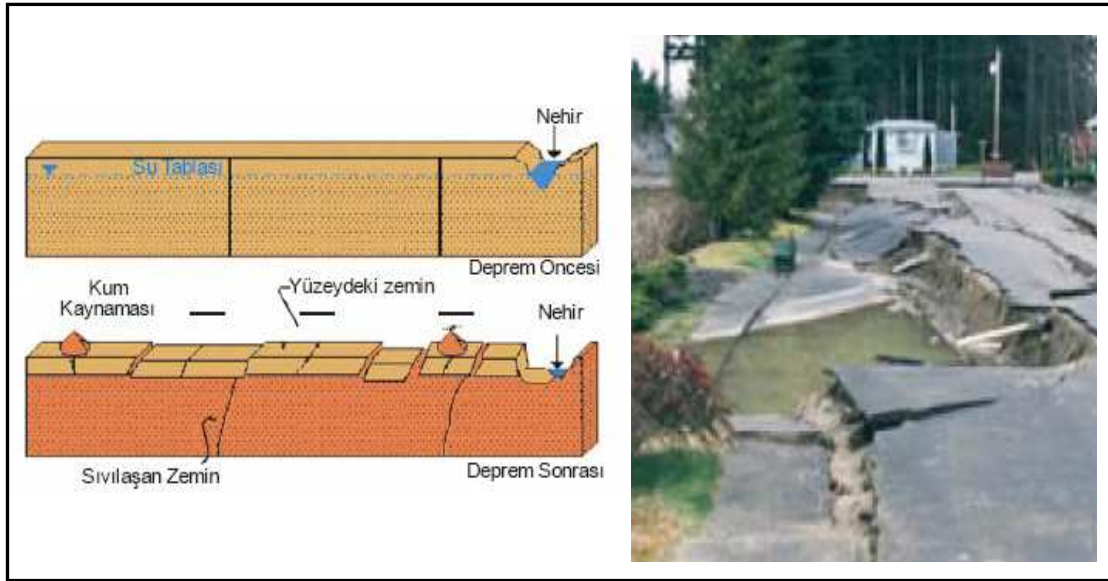
Deprem süresinin uzaması tekrarlı gerilmelerin zemine uygulanma süresini uzatacağından sıvılaşma tehlikesini önemli ölçüde arttıran bir etkidir. Deprem süresinin uzaması tekrarlı gerilmelerin zemine uygulanma süresini uzatacağından sıvılaşma tehlikesini önemli ölçüde arttıran bir etkidir.

2.4. Sıvılaşmanın Neden Olduğu Zemin Problemleri

Sıvılaşma nedeniyle arazide karşılaşılan başlıca zemin problemleri arasında, yanal akma, akma göçmesi, zemin yüzeyinde çökme-ayrılma, istinat yapılarında stabilite sorunları, şev kaymaları, taşıma gücü kaybı, kum kaynaması sayılabilir.

2.4.1. Yanal yayılma

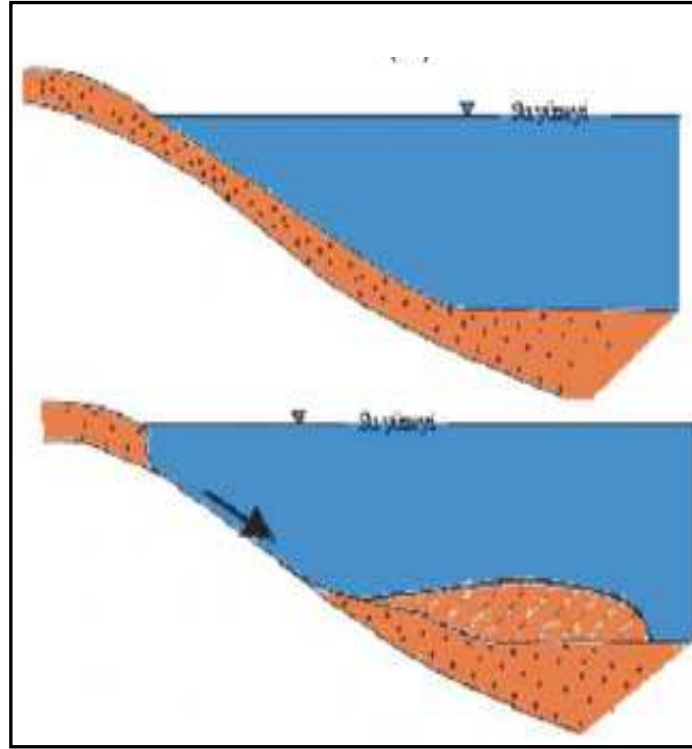
Yanal yayılma olayı genellikle bir su kütlesi yakınında bulunan yaklaşık % 0.3-3 gibi hafif eğimli arazilerde, yüzeye yakın bulunan bir zemin tabakasının (örneğin killi bir zeminin) daha altta yer alan ve sıvılaşma riski taşıyan başka bir tabakanın (örneğin doygun ince bir kum tabakası) sıvılaşması sonucunda sıvılaşan zemin üzerinde eğimli yüzey boyunca bloklara ayrılarak sürüklenmesi olarak tanımlanabilir. Bu hareket birkaç metre ile sınırlı kalabileceği gibi onlarca metre de olabilir. Şekil 2.4' te bir yanal yayılma görülmektedir.



Şekil 2.4. Yanal Yayılmanın Şematik Gösterimi ve Bir Örnek (Ulusay, 2000)

2.4.2. Akma Göçmesi

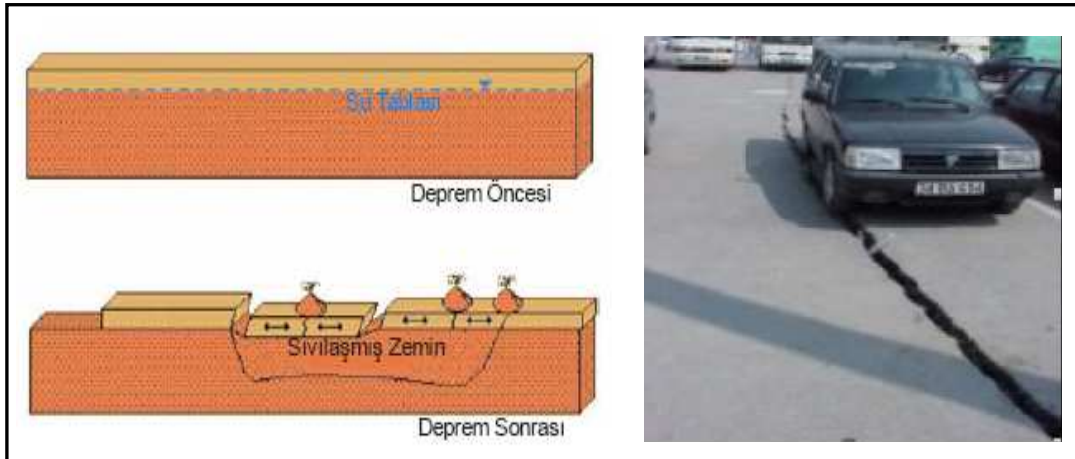
Akma göçmesi daha çok bir su kütlesi yakınında bulunan ve genellikle yaklaşık %3'ten daha yüksek eğime sahip zeminlerde gözlemlenen, sıvılaşmış zeminin ya da sıvılaşmış zemin tabakası üzerinde yer alan zemin kütlelerinin daha çok kendi ağırlığının etkisiyle aşağı doğru adeta bir sıvı gibi hareket etmesi olayıdır. Oluşacak yer değiştirme onlarca metreyi bulabilir. Arazide sık karşılaşılan bir durum olmamakla birlikte, meydana geldiğinde son derece tehlikeli sonuçlara yol açabilir. Şekil 2.5' te akma göçmesi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Akma göçmesi (Ulusay, 2000)

2.4.3. Zemin Yüzeyinde Çökme-Ayrılma

Özellikle eğimin çok az olduğu ya da olmadığı düz yüzeyli arazilerde, sıvılaştıran zemin üzerindeki seviyelerin bloklara ayrılarak ileri ya da geri hareket etmesi şeklinde meydana gelen bir zemin yenilmesidir. Yüzeyde çatlaklar, yarıklar, blok şeklinde çökmeler görülebilir. Şekil 2.6' da zemin yüzeyindeki ayrılma olayına bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.6. Zeminde çökme-ayırılma şematik gösterimi ve bir örnek (Ulusay, 2000)

2.4.4. Taşıma Gücü Kaybı

Zemin tabakası sıvılaştığı zaman makaslama dayanımının azalmasıyla taşıma gücünü tamamen kaybeder ve zemin üzerindeki yapılarda batma, yan yatma veya devrilme gibi durumlar gözlenebilir. Şekil 2.7' de bir binada meydana gelen taşıma gücü kaybı ve olayın şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.7. Taşıma gücü kaybının şematik gösterimi ve bir örnek (Ulusay, 2000)

2.4.5. Zemin Oturması

Sıvılaşma sonucunda zeminin taşıma gücünü yitirmesi, tanelerin bir araya gelme eğilimi nedeniyle zeminin üzerindeki yapılarda oturmaların oluşmasını da beraberinde getirir. Oturma olayı, hem kuru hem de suya doymuş gevşek zeminlerde gözlemlenebilir. Kohezyonsuz kuru zeminlerde meydana gelen oturmalar deprem sonrasında çok çabuk gelişirken, bu süreç kohezyonsuz doymuş zeminlerde, sıvılaşma sırasında oluşan boşluk suyu basıncının sönmelenmesine bağlı olarak, daha yavaş gelişebilir. Taneli doymuş zeminlerde meydana gelen oturmalar, zeminin hidrolik iletkenlik katsayısına, sıkışabilirliğine ve drenaj yolu uzunluğuna bağlıdır (Youd,1984).

2.4.6. Kum Kaynaması

Sıvılaşma sırasında en çok rastlanan olaylardan biri yüzeyde su ve kum birikintisi oluşmasıdır. Deprem sırasında boşluk suyu basıncındaki artış, hidrolik eğimi kritik bir değere ulaştırabilir. Bu durumda efektif gerilme sıfır ya da negatif olur. Hızlı koşul olarak bilinen bu durumda su enerjisi yüksek olan noktadan düşük olan noktaya doğru hareket eder ve beraberinde zemin tanelerini de yüzeye doğru taşır (Şekil 2.8). Yüzeyde görülen “çamurlu sular” bu mekanizmanın sonucunda oluşmakta ve yüzeyde kum öbekleri gözlemlenmektedir.



Şekil 2.8. Kum kaynamasına örnekler (www.ce.washington.edu/~geotech/nisqually/QuakePhotos)

2.5. Bir Zemin Tabakasında Sıvılaşma Potansiyelini Belirleyen Yöntemler

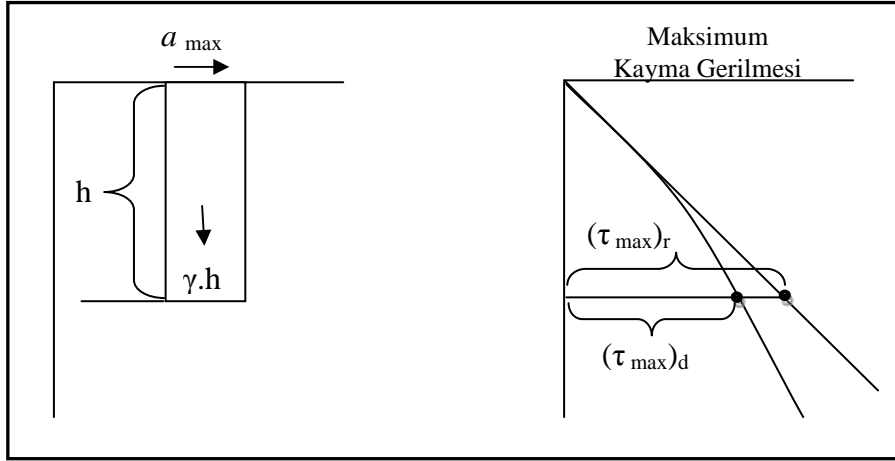
Sıvılaşma potansiyeli yüksek bulunan bir zeminin, olası bir deprem esnasında sıvılaşma potansiyelini belirleyebilmek için sıvılaşma analizinin yapılması gerekmektedir. Zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için Standart Penetrasyon Testi (SPT), Koni Penetrasyon Testi (CPT) gibi arazi deneyleri ya da dinamik basit kesme, dinamik üç eksenli ve sarsma tablası deneyi gibi laboratuvar deneyleri kullanılabilir. Ancak Laboratuvar testlerinin zaman alıcı ve pahalı olması nedeniyle SPT ve CPT verilerinin kullanıldığı yöntemler daha çok tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan veriler jeoteknik sondajlardan elde edilen SPT verilerinden elde edildiği için sadece SPT verisini esas alan analiz yöntemine (Seed ve Idriss, 1971) yer verilmiştir.

Seed ve Idriss (1971), 1964 yılında meydana gelen Niigata ve Alaska depremlerinden sonra SPT verilerini esas alan ve literatürde basitleştirilmiş prosedür olarak bilinen analiz yöntemini geliştirmişlerdir. Yöntem birkaç kez değiştirilmiş son olarak uluslararası geoteknik deprem mühendisliği çalıştayında tartışmaya açılmış ve Youd ve diğ. (2001) tarafından son haliyle kullanıma sunulmuştur.

Yöntemde sıvılaşmaya neden olacak tekrarlı gerilme oranının (CSR) elde edilmesi için, bozulmamış zemin numuneleri üzerinde laboratuvar veya arazi deneylerinin yapılması zorunludur. Bu veriler genellikle uygulanan tekrarlı kayma gerilmesinin, düşey efektif basınca olan oranı şeklinde verilmektedir. Bu oran, sıvılaşmayı oluşturacak gerekli kayma gerilmesi sayısı veya hakim olan tekrarlı birim deformasyon sayısı ile ilişkilendirilmektedir. Sonra bu tekrarlı kayma gerilme oranı değerleri, arazi deneyleri ile ilişkilendirilmektedir.

Yöntem deprem etkisine maruz kalan bir zemin tabakasında oluşan boşluk suyu basıncı artışının tamamen çevrimsel kayma gerilmelerine bağlı olduğu düşüncesinden yola çıkarak, sıvılaşmaya sebep olacak sismik yüklemeyi ve zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gerilme oranı cinsinden karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Sismik yükleme oranının sismik direnç oranından büyük olması zeminin sıvılaşma direncinin aşıldığını ve sıvılaşma riski olduğunu gösterecektir.

Bu yöntemde bir deprem sırasında zemin tabakası içerisinde herhangi bir noktada oluşan kayma gerilmesinin, kayma dalgasının düşey olarak yayılımı nedeniyle meydana geldiği kabul edilir.



Şekil 2.9 Zeminde Oluşan Kayma Gerilmesinin Şematik Gösterimi

H kadar derinde yer alan bir zemin elemanı üzerinde bulunan bir zemin kütlesi rijit bir cisim olarak kabul edilirse zemin elemanı üzerindeki maksimum kayma gerilmesi aşağıdaki eşitlik ile bulunabilir.

$$(\tau_{\max})_r = (\gamma \cdot h / g) \cdot a_{\max} \quad (2.2)$$

a_{\max} = yüzeydeki maksimum ivme

γ = zeminin birim hacim ağırlığı

g = yer çekimi ivmesi

Bununla birlikte zemin deforme olabilen bir malzeme olduğundan dolayı bu değer azaltılmalıdır.

$$(\tau_{\max})_d = r_d (\tau_{\max})_r \quad (2.3)$$

Eşitlik 1 ve 2 bir arada değerlendirildiğinde deprem sırasında, zemin içerisinde herhangi bir noktada meydana gelecek maksimum kayma gerilmesi

$$\tau_{\max} = (\gamma \cdot h / g) \cdot a_{\max} \cdot r_d \quad (2.4)$$

Bu değer tekrarlı yükleme sırasında etkiyecek ortalama kayma gerilmesi cinsinden yazılacak olursa

$$\tau_{av} \approx 0.65(\gamma \cdot h / g) \cdot a_{max} \cdot r_d \quad (2.5)$$

şeklinde elde edilebilir. Bu değer, efektif gerilme ile normalize edilirse eşdeğer çevrimsel kayma gerilmesi elde olunur.

$$CSR_{eq} = \tau_{av} / \sigma_{vo}$$

$$CSR = 0.65 (a_{max}/g)(\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) \cdot r_d \quad (2.6)$$

r_d sayısı; incelenen zemin seviyesinin derinliğine bağlı olarak

$$r_d = 1.0 - 0.00765 z \quad (z \leq 9.15 \text{ m})$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 z \quad (9.15 \text{ m} \leq z \leq 23 \text{ m}) \quad (2.7)$$

eşitliklerinden elde edilebilir.

Aynı ilişki Idriss (1998) tarafından deprem büyüklüğünü dikkate alan bir düzeltme faktörü kullanılarak aşağıdaki formda sunulmuştur.

$$CSR = 0.65 (a_{max}/g)(\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})(r_d/MSF) \quad (2.8)$$

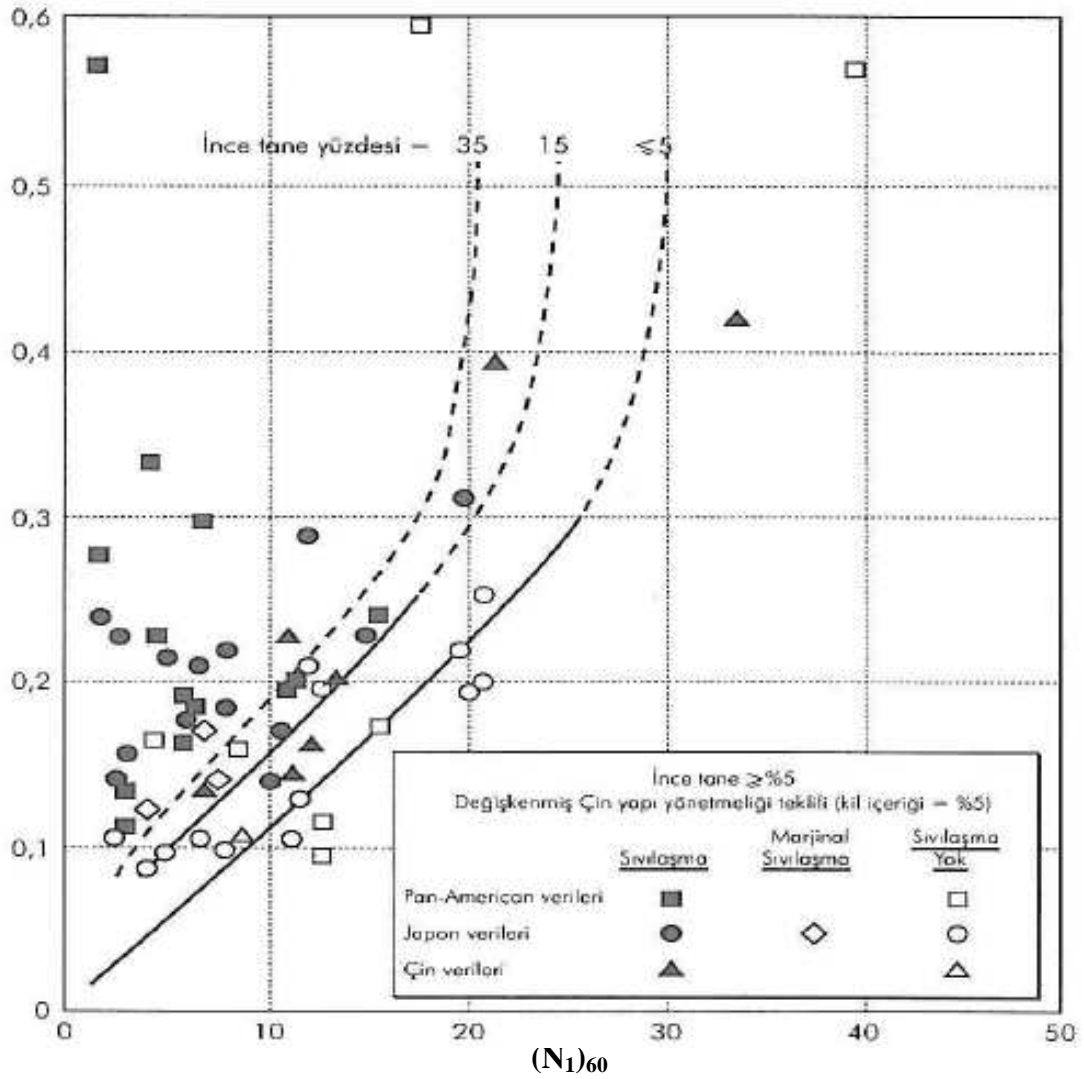
Burada MSF deprem büyüklüğü düzeltme faktörü olup

$$MSF = 37.9 (M_w)^{-1.81} \quad (M_w > 5.75 \text{ ise})$$

$$MSF = 1.625 \quad (M_w \leq 5.75 \text{ ise}) \quad (2.9)$$

şeklinde tanımlanır.

Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen bağıntı ile sismik çevrimsel kayma gerilmesi oranı (CSR) bulunduktan sonra sismik direnç oranı (CRR) elde edilmelidir.



Şekil 2.10. Devirsel direnç oranı (CRR)-düzeltilmiş SPT darbe sayısı ((N1)60) sayısı arasındaki ilişki (Seed ve diğ., 1975)

Bulunan sismik direnç oranı moment magnitudü 7.5 olan bir deprem için alınması gereken bir değerdir. Bu nedenle güvenlik sayısı hesap ederken bu durum göz önünde tutulmalı ve sismik direnç oranı olası deprem büyüklüğü için magnitud ölçekleme parametresi (MSF) kullanılarak düzeltilmelidir. Bu düzeltme için Youd (2001) bir öneride bulunmuştur.

$$MSF = 102.24 / M_w^{-2.56} \quad (2.14)$$

Son aşamada sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının hesabı yapılır.

$$FL = (CRR_{7.5} / CSR) * MSF \quad (2.15)$$

Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının 1'den küçük ve bire eşit değerleri için sıvılaşmanın meydana geleceği, 1'den büyük değerleri için sıvılaşmanın olmayacağı kabul edilir. Ancak doğadaki belirsizliklerden dolayı, sıvılaşma potansiyelini belirlemede, güvenlik katsayısının aşağıda verilen aralıklara göre değerlendirilmesi daha doğru olur (Ulusay ve Tosun, 1999).

$FL \leq 1$	Sıvılaşma var
$1 < FL \leq 1,2$	Potansiyel sıvılaşma
$FL > 1.2$	Sıvılaşma beklenmez.

BÖLÜM 3. YAPAY SINİR AĞLARI

3.1. Giriş

İnsanoğlu yaradılışından beri doğa ile iç içe yaşamış ve ondan esinlenerek karşılaştığı problemler için çözüm yöntemleri geliştirmiştir. Bu yöntemler bilgisayar kullanılarak yapılan sayısal hesaplamaların hızla gelişmesiyle çok ilerleme kaydetmiştir. Geliştirilen yöntemlerin bazıları canlı organizmayı örnek olarak yapılmıştır. Bu yolla geliştirilmiş olan yöntemlere örnek olarak Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Genetik Algoritmalar (GA) gösterilebilir (Şen, 2004).

YSA kavramı beynin çalışma ilkelerinin sayısal bilgisayarlar üzerinde taklit edilmesi fikri olarak ortaya çıkmış ve ilk çalışmalar beyni oluşturan nöronların matematiksel olarak modellenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilmişlerdir. Bu şekilde, insanoğluna özgü yaşayarak öğrenme yeteneğini bilgisayar ortamına taşıyabildiği düşünülen YSA teknolojisi birçok avantaj sunmaktadır (Efe ve Kaynak, 2000).

Yapay sinir ağları, insan beyninden esinlenerek geliştirilmiş, ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla birbirine bağlanan işlem elemanlarından oluşan paralel bilgi işleme yapılarıdır. YSA' ların öğrenme özelliği, araştırmacıların dikkatini çeken önemli özelliklerden birisidir. Çünkü herhangi bir olay hakkında girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi, doğrusal olsun veya olmasın, elde bulunan mevcut örneklerden öğrenerek daha önce hiç görülmemiş olayları, önceki örneklerden çağrışım yaparak ilgili olaya çözümler üretebilme özelliği YSA' lardaki zeki davranışın da temelini teşkil eder.

Yapay sinir ağıları, bir sisteme ilişkin tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile sistemin yine tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanabilen çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir (Efe ve Kaynak, 2000).

3.2. Yapay Sinir Ağı Nedir

Yapay sinir ağlarının tanımı ile ilgili olarak pek çok araştırmacı kendine göre farklı tanımlamalar sunmuştur.

Kohonen (1987) yapay sinir ağlarını, biyolojik sinir sisteminde olduğu gibi gerçek yaşam nesnelileriyle etkileşmeyi amaçlayan basit elemanların ve onların hiyerarşik düzenlemelerinin paralel, içice bağlantılı ağları” şeklinde tanımlamaktadır. (Taşgetiren, 2005)

Haykin (1994), yapay sinir ağlarını bilgiyi depolamak için doğal eğilimi olan basit elemanlardan oluşmuş paralel dağılmış bir işlemci olarak tanımlamıştır.

Zurada ise, yapay sinir ağlarını; deneysel bilgiyi alan, depolayan ve kullanan fiziksel hücreli sistemler olarak tanımlamıştır (Sağıroğlu ve diğ, 2003).

Yapay sinir ağlarını basit olarak tanımlamak gerekirse, birçok basit işlemci elemanından oluşan yapılardır denebilir. Bu elemanlar farklı formda ifade edilebilen nümerik verileri taşıyan bağlantılar veya ağırlıklar ile birbirine bağlıdırlar.

Yapay sinir ağları, basit hesaplama elemanlarının yoğun bağlantılarından meydana gelmiş bilgi işlemem elemanları olarak da tanımlanabilir (Simpson, 1990). Aynı zamanda, bağlantılı ağlar, paralel dağıtılmış ağlar ya da neuroformik sistemler olarak da adlandırılmaktadır. Yapay sinir ağları bilgisayar bilimine de bazı yenilikler getirmiştir. Algoritmik olmayan, adaptif, paralel programlama, dağıtılmış programlama vb. gibi tekniklerin gelişmesine katkıda bulunmuşlardır. Özellikle olaylar hakkında bilgilerin olmadığı fakat örneklerin bulunduğu durumlarda çok

etkin olarak kullanılabilirler bir karar verme aracı ve hesaplama yöntemi olarak görülebilirler (Öztemel, 2003).

Yapay Sinir Ağları, basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini simüle etmek için tasarlanan programlardır. Simüle edilen sinir hücreleri (nöronlar) içerirler ve bu nöronlar çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. Diğer bir ifadeyle, YSA' lar, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. Bir insanın, düşünme ve gözleme yeteneklerini gerektiren problemlere yönelik çözümler üretebilmesinin temel sebebi ise insan beyninin ve dolayısıyla insanın sahip olduğu yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir.

Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik (synaptic) bağlantıların ayarlanması ile olur. Yani, insanlar doğumlarından itibaren bir “yaşayarak öğrenme” süreci içerisine girerler. Bu süreç içinde beyin sürekli bir gelişme göstermektedir. Yaşayıp tecrübe ettikçe sinaptik bağlantılar ayarlanır ve hatta yeni bağlantılar oluşur. Bu sayede öğrenme gerçekleşir. Bu durum YSA için de geçerlidir. Öğrenme, eğitime yoluyla örnekler kullanarak olur; başka bir deyişle, gerçekleşme girdi/çıkı verilerinin işlenmesiyle, yani eğitime algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantı ağırlıklarını (weights of the synapses) bir yakınsama sağlanana kadar, tekrar tekrar ayarlamasıyla olur.

YSA' lar, ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış birçok işlem elemanından (nöronlar) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem elemanı, aslında sık sık transfer fonksiyonu olarak anılan bir denklemdir. Bu işlem elemanı, diğer nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal bir sonuç ortaya çıkartır. Genelde, işlem elemanları kabaca gerçek nöronlara karşılık gelirler ve bir ağ içinde birbirlerine bağlanırlar; bu yapı da sinir ağlarını oluşturmaktadır (Elmas, 2003).

Sinirsel (neural) hesaplamanın merkezinde dağıtılmış, adaptif ve doğrusal olmayan işlem kavramları vardır. YSA' lar, geleneksel işlemcilerden farklı şekilde işlem

yapmaktadırlar. Geleneksel işlemcilerde, tek bir merkezi işlem elemanı her hareketi sırasıyla gerçekleştirir. YSA' lar ise her biri büyük bir problemin bir parçası ile ilgilenen, çok sayıda basit işlem elemanlarından oluşmaktadır. En basit şekilde, bir işlem elemanı, bir girdiyi bir ağırlık kümesi ile ağırlıklandırır, doğrusal olmayan bir şekilde dönüşümünü sağlar ve bir çıktı değeri oluşturur. İlk bakışta, işlem elemanlarının çalışma şekli yanıltıcı şekilde basittir. Sinirsel hesaplamının gücü, toplam işlem yükünü paylaşan işlem elemanlarının birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısından gelmektedir. Çoğu YSA'da, benzer karakteristiğe sahip nöronlar tabakalar halinde yapılandırılırlar ve transfer fonksiyonları eş zamanlı olarak çalıştırılırlar. Hemen hemen tüm ağlar, veri alan nöronlara ve çıktı üreten nöronlara sahiptirler.

YSA'nın ana ögesi olan matematiksel fonksiyon, ağın mimarisi tarafından şekillendirilir. Daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse, fonksiyonun temel yapısını ağırlıkların büyüklüğü ve işlem elemanlarının işlem şekli belirler. YSA'ların davranışları, yani girdi veriyi çıktı veriye nasıl ilişkilendirdikleri, ilk olarak nöronların transfer fonksiyonlarından, nasıl birbirlerine bağlandıklarından ve bu bağlantıların ağırlıklarından etkilenir.

3.3. Yapay Sinir Ağlarının Basit Yapısı

YSA' ların yapısı üç ana eleman içermektedir ve bu elemanlar, temel işlem elemanı olan nöron, girdi ve çıktı yolunu sağlayan bağlantı ve bu bağlantıların sağlamlığını gösteren bağlantı ağırlığıdır (Elmas, 2003).

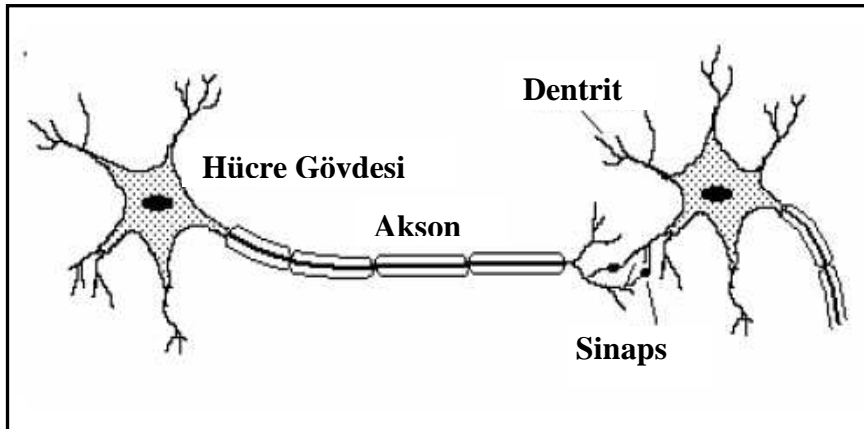
3.3.1. Biyolojik nöron

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler organizma içerisinden ya da dış ortamlardan aldıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri ise, beynin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 3.1'de bir sinir sisteminin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.1 Biyolojik Nöron Yapısının blok diyagramı

Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir. Bu yönüyle biyolojik sinir sistemi, kapalı çevrim denetim sisteminin karakteristiklerini taşır. Merkezi sinir sisteminin temel işletim elemanı, nöron olup insan beynindeki sayısının yaklaşık 10 milyar olduğu tahmin edilmektedir. Sinir hücresi; sinir gövdesi, dentritler ve aksonlar olmak üzere 3 bileşenden meydana gelmektedir (Şekil 3.2). Dentritler, diğer hücrelerden aldığı bilgileri hücre gövdesine bir ağaç yapısı şeklindeki ince yollarla iletir.



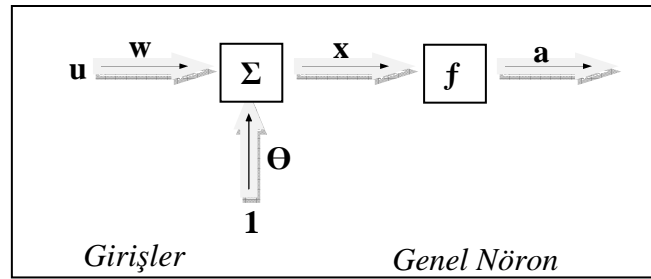
Şekil 3.2 Biyolojik Nöronun Basit Yapısı

Aksonlar ise elektriksel darbeler şeklindeki bilgiyi hücreden dışarı taşıyan daha uzun bir yoldur. Aksonların bitimi, ince yollara ayrılabilir ve bu yollar, diğer hücreler için dentritleri oluşturur. Akson-dentrit arasındaki bağlantıyı sağlayan eleman şekil 3.2’de de görüldüğü üzere, sinaps olarak isimlendirilir. Sinapstan gelen ve dentritler tarafından alınan bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir. Ancak, sinapstaki kimyasal ileticilerden etkilenir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki gösterir. Hücrenin tepkisini artırıcı yöndeki girişler uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak isimlendirilir ve bu etkiyi sinaps belirler (Elmas, 2003).

Yapay sinir ağı insan beyninin yapısı göz önünde bulundurularak oluşturulduğu için aralarında benzerlikler bulunmaktadır. Şöyle ki, gerçek bir insan beyninde bulunan nöron; YSA' daki işlemciyi, dentrit; toplama fonksiyonunu, hücre gövdesi; transfer fonksiyonunu, aksonlar; çıkış elemanını, sinapslar ise ağırlıkları temsil eder.

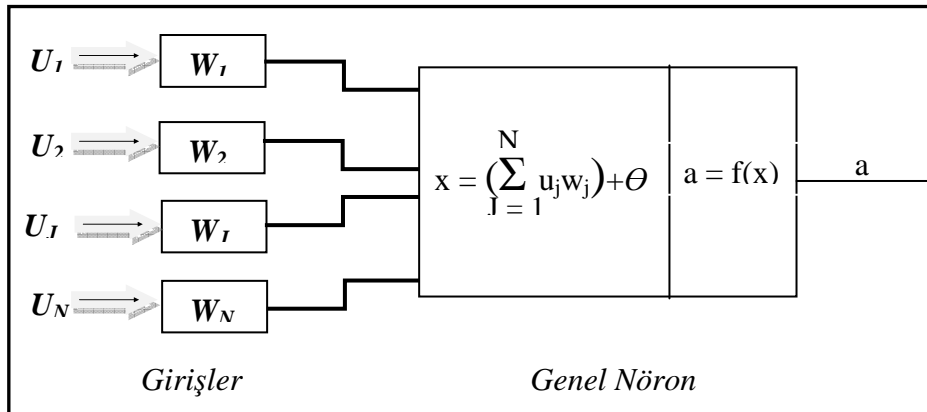
3.3.2. İşlemci (Yapay Nöron)

Bir YSA modelinin temel birimi, işlem elemanı yani nöronlardır. Şekil 3.3' de verilen ağ modeli, bazı küçük değişikliklerle beraber YSA' da geniş olarak kullanılan modellerden biridir.



Şekil 3.3 Tipik Bir Ağ Modeli (Hagan ve diğ, 1999)

Şekil 3.3' te tek girdili bir nöron gösterilmektedir. Bunun haricinde Şekil 3.4' te olduğu gibi gösterimleri de mevcuttur. Tüm yapay sinir ağları bu temel yapıdan üretilmektedir. Bu yapıdaki farklılıklar, yapay sinir ağlarının farklı sınıflandırılmasını sağlar. Bir nöronun öğrenme yeteneği, seçilen algoritma içerisindeki ağırlıkların uygun şekilde seçilmesine bağlıdır (Hagan ve diğ, 1999).



Şekil 3.4 Örnek Bir Sinir Ağı Modeli

Her bir giriş (u), ağırlık (w) ile çarpılarak eşik değeri (Θ) ile toplanır ve sonucu oluşturmak için aktivasyon fonksiyonu (transfer fonksiyonu) ile işlem yapılarak nöron çıkışı (a) üretilir. Nöron çıkışı $a = f(w.u + \Theta)$ şeklinde hesaplanır ve bu çıkış (a), seçilen transfer fonksiyonuna bağlıdır.

3.4. Yapay Sinir Hücresinin Temel Elemanları

Yapay sinir ağlarının temel birimi, işlemci olarak adlandırılan yapay nöronlardır. Yapay bir nöron, biyolojik nöronlara kıyasla daha basit bir yapıda olmasına rağmen, biyolojik nöronların bazı temel işlemlerini taklit eder. Bu işlemler basit olarak 5 başlık altında toplanabilir.

3.4.1. Girişler

Yapay bir sinir hücresinden başka bir sinir hücresine ya da dış dünyadan bilgi alımı işlemi girişler tarafından gerçekleştirilir. Giriş elemanları ağa öğretilmek istenen örnekler tarafından belirlenir.

3.4.2. Ağırlıklar

Bir ağda girişler tarafından alınan bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini belirleyen katsayılar ağırlık olarak tanımlanır. Bir sinir ağında her bir giriş için bir ağırlık vardır. Seçilen ağırlıkların büyüklüğünün ve pozitif ya da negatif olmasının girdilerin önemi ile bir bağlantısı yoktur. Yani küçük bir ağırlık, ona ait girişin önem derecesinin az olduğunu göstermez. Ağırlığın pozitif ya da negatif olması ise giriş değerinin pozitif ya da negatif olduğunu gösterir. Ancak bir ağırlık değerinin sıfır olması ağ için önemlidir (Öztemel, 2003).

3.4.3. Toplama İşlevi

Toplama işlevi, yapay bir nörondaki her bir giriş ile o girişe ait ağırlığın çarpımlarının toplamını ifade eder.

$$\text{Net toplam} = \sum_J^n u_j w_j \quad (3.1)$$

Bununla beraber çoğu uygulamada eşik değeri olan θ 'da bu toplama dahil edilmiştir.

$$\text{Net toplam} = \sum_J^n u_j w_j + \theta \quad \text{Net toplam} = \sum_J^n u_j w_j - \theta \quad (3.2)$$

θ eşik değeri, girişlerden bağımsız olduğu için bütün girişlerin sıfır olması durumunda dahi nöron çıkışının sıfır olma durumunu ortadan kaldırır. Bir sinir ağında eşik değerinin kullanımı, toplama fonksiyonuna +1 ya da -1 değerine sahip sabit bir girişin θ ağırlığına sahip bir bağlantı ile eklendiği şeklinde yorumlanır.

Yapay sinir ağlarında kullanılan her model ve her uygulamam için bu toplama fonksiyonunun kullanılma zorunluluğu yoktur. Oluşturulan bazı modeller, kullanılacak olan toplama fonksiyonunu kendisi belirleyebilir. Bazı durumlarda daha karmaşık ve değişik toplama fonksiyonları kullanılabilir. Genel olarak kullanılan toplama fonksiyonları; çarpım, maksimum toplam, minimum toplam, çoğunluk toplamı ve kümülatif toplam olarak sıralanabilir. Bazı modellerde giriş değerleri önemli olurken, bazı modellerde ise girişlerin sayısı önem arz etmektedir. Yani bir model oluştururken kullanılacak toplama fonksiyonunu belirlemek için bir standart yoktur. En uygun toplama fonksiyonu iteratif yöntemle bulunacaktır (Efe ve Kaynak, 2000).

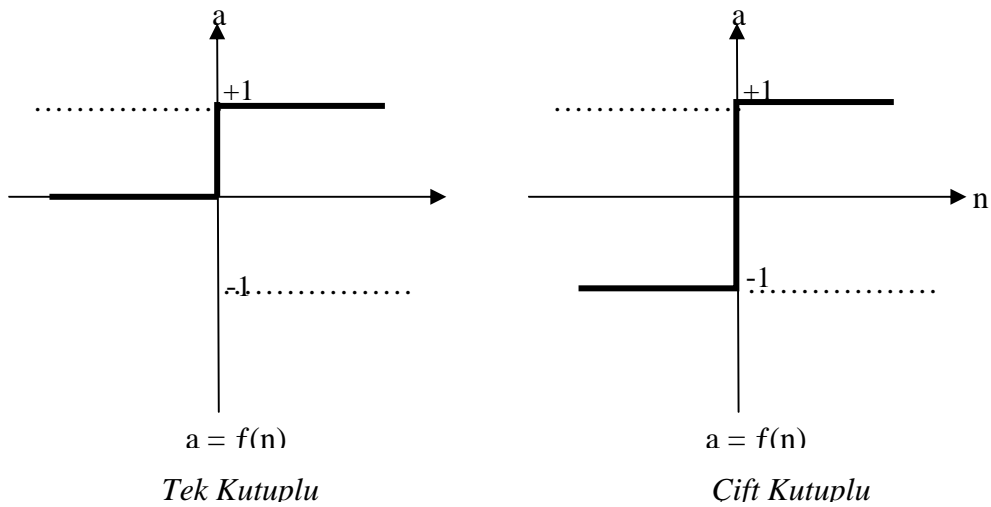
3.4.4. Aktivasyon fonksiyonları

Yapay nöronun davranışını belirleyen önemli etkenlerden biri aktivasyon fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu hücreye toplama fonksiyonunu işleyerek bu hücreye gelen girişlere karşılık olan çıkışı belirler. Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli türlerde aktivasyon fonksiyonu kullanılabilir. En uygun aktivasyon fonksiyonunu belirlemek için geliştirilmiş bir fonksiyon yoktur. Transfer fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili olarak seçilebilir. Doğrusal olmayan fonksiyonların kullanılması yapay sinir ağlarının çok

karmaşık ve farklı problemlere uygulanmasını sağlamıştır. Hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan bazı transfer fonksiyonları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztemel, 2003).

Simetrik eşik transfer fonksiyonu: McCulloch-Pitts modeli olarak bilinen eşik aktivasyon fonksiyonlu hücreler, mantıksal çıkış verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir. Perseptron olarak da bilinen eşik fonksiyonlu hücrelerin matematiksel modeli aşağıdaki şekilde tanımlanır. Tek kutuplu ve çift kutuplu olmak üzere iki çeşidi vardır (Şekil 3.5)

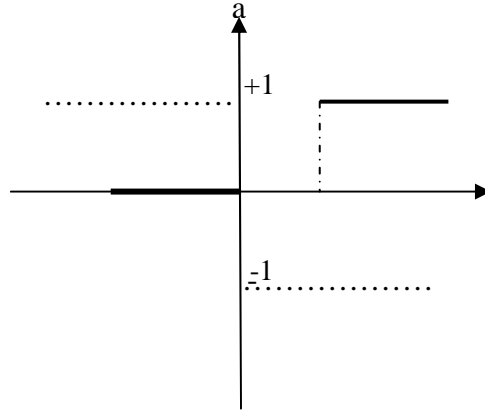
$$a = \begin{cases} 1 & n \geq 0 \\ -1 & n < 0 \end{cases} \quad a = \begin{cases} 1 & n \geq 0 \\ -1 & n < 0 \end{cases} \quad (3.3)$$



Şekil 3.5 Simetrik Eşik Transfer Fonksiyonları (Hagan ve diğ, 1999)

Kutuplamalı eşik transfer fonksiyonu: Kutuplama değeri tek kutuplu (Şekil 3.6) ve çift kutuplu (Şekil 3.7) eşik aktivasyon fonksiyonunun her ikisine de eklenebilir. Aktivasyon fonksiyonu eşik değeri olan θ 'yı aştığı zaman nöron aktif olur. Tek kutuplu eşik fonksiyonu;

$$a = f(n) = \begin{cases} 1 & u.w \geq \theta \\ 0 & u.w < \theta \end{cases} \quad (3.4)$$

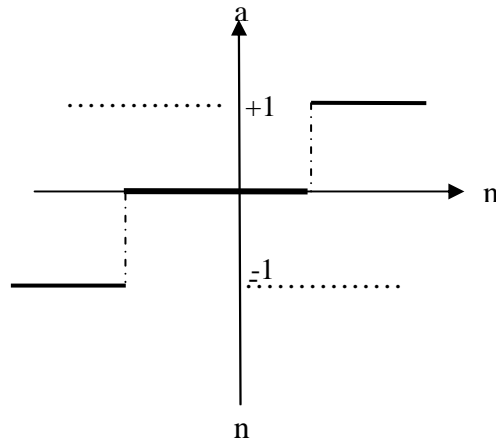


Şekil 3.6 Tek Kutuplu Eşik Transfer Fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999)

Çift kutuplu basamak fonksiyonu ise;

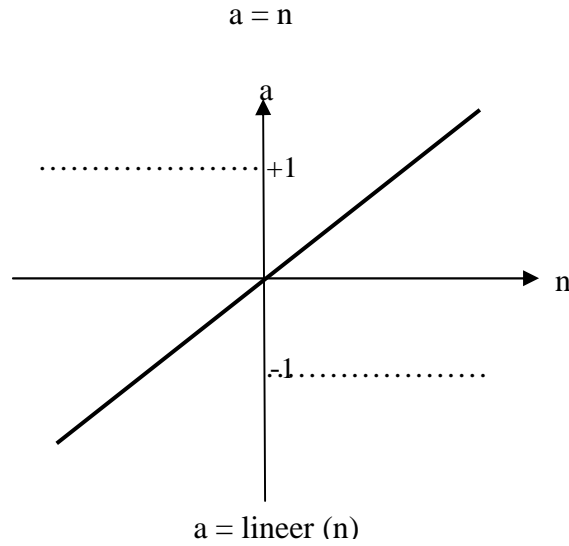
$$a = f(n) = \begin{cases} +1 & u.w \geq \theta \\ -1 & u.w < \theta \end{cases} \quad (3.5)$$

Şeklinindedir.



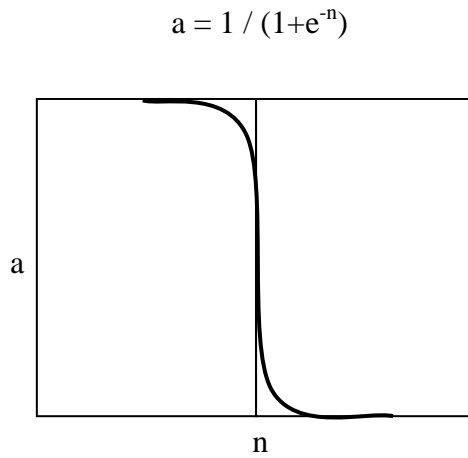
Şekil 3.7 Çift Kutuplu Eşik Transfer Fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999)

Lineer transfer fonksiyonu: Bu transfer fonksiyonunda, fonksiyon çıkışı girişine eşittir. Literatürde Adaline olarak da bilinen model, genellikle klasik işaret işleme ve regresyon analizinde kullanılır.



Şekil 3.8 Lineer Transfer Fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999)

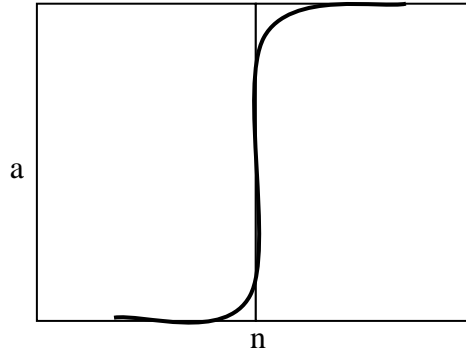
Log-Sigma transfer fonksiyonu: Bu fonksiyon, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılır (Şekil 3.9). Bu transfer fonksiyonu giriş olarak $+\infty$ ile $-\infty$ arasında herhangi bir değer alır ve çıkış değeri 0 ile 1 arasındadır. Literatürde çift kutuplu fonksiyon olarak da adlandırılır.



Şekil 3.9 Log-Sigma Transfer Fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999)

Hiperbolik tanjant transfer fonksiyonu: Bu transfer fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan bir fonksiyondur. Bu transfer fonksiyonunda giriş olarak $+\infty$ ile $-\infty$ arasında herhangi bir değer alır ve çıkış değeri -1 ile 1 arasındadır. Literatürde çift kutuplu fonksiyon olarak da adlandırılır.

$$a = (e^n - e^{-n}) / (e^n + e^{-n})$$



Şekil 3.10 Hiperbolik Tanjant Transfer Fonksiyonu (Hagan ve diğ, 1999)

3.4.5. Çıkış işlevi

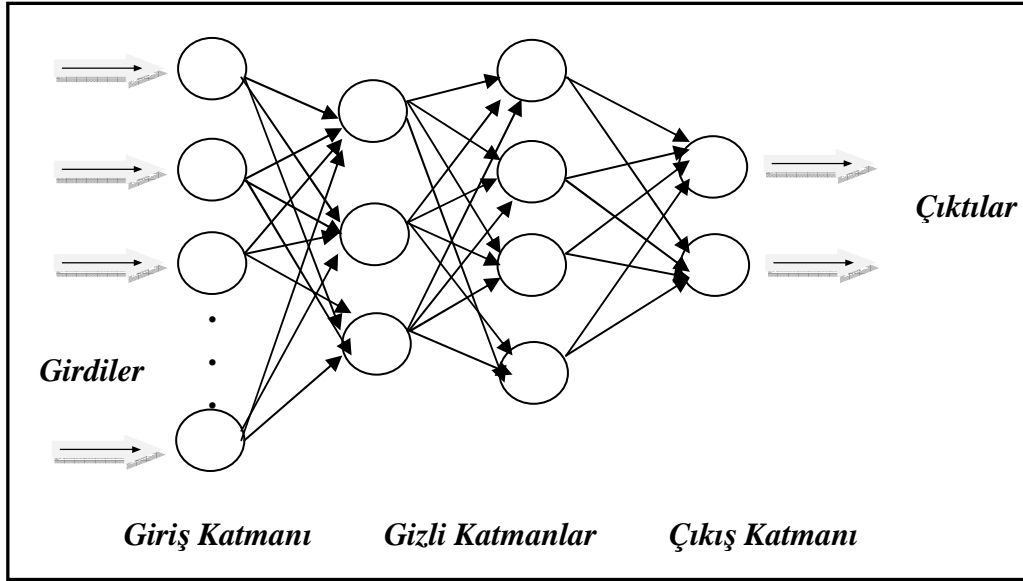
Çıkış $a = f(n)$, aktivasyon fonksiyonunun diğer sinilere gönderilmesi olarak tanımlanır. Bir nöronun çıkışı, kendisine ve kendisinden sonra gelen bir ya da daha fazla nörona giriş olabilir.

Şekil üzerinde bakıldığında, ağda bir nöronun çok sayıda çıkışı var gibi gözükmektedir. Ancak gerçek nöronlarda olduğu gibi bir nöronun birden fazla sayıda girişi olmasına karşılık yalnızca tek bir çıkışı vardır.

3.5. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir ağları, birden fazla yapay sinirin birbirine bağlanması ile meydana gelir. Hücrelerin bağlanma işlemi rastgele olmaz. Ağı oluşturan sinir hücreleri katmanlar içerisine yerleştirilir. Hücreler genellikle üç katman halinde ve katmanlar içinde birbirlerine paralel olacak şekilde ağı oluştururlar. Her katmandaki düğümler yalnızca kendinden önceki katmanda yer alan düğümlerden giriş alabilir. Bir düğüm kendinden sonraki bir sinir hücresine bağlanırken kendine asla bağlanamaz. Son

katmanda yer alan işaretler ağın çıkışını vermektedir. Aşağıda çok katmanlı bir sinir ağı yapısı şematik olarak gösterilmektedir (Şekil 3.11) (Elmas, 2003; Öztemel 2003).



Şekil 3.11 Çok katmanlı bir sinir ağı yapısı (Elmas, 2003)

3.5.1. Katmanlar

Yapay sinir ağlarının oldukça basit bir yapısı vardır. Nöronların bir kısmı girişleri alırken bir kısmı da çıkışlarını verirler. Diğerleri ise görünmediğinden ve dış dünya ile direkt olarak bağlantısı olmadığından gizli katman olarak isimlendirilirler. Yapay sinir ağlarında, nöronlar katmanlarda toplanır ve giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere toplam üç çeşit katman vardır.

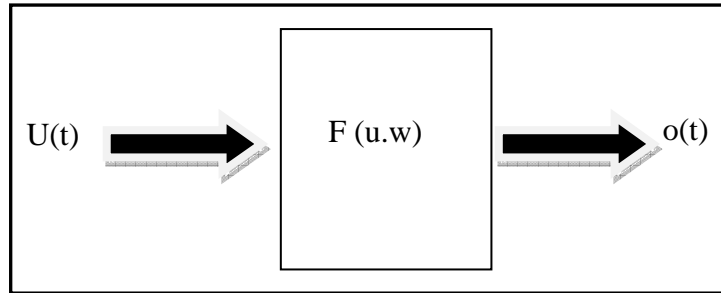
Kısaca açıklamak gerekirse; dış dünyadan girişleri alan sinirlerin bulunduğu katman giriş katmanı, ağın oluşturduğu çıkışı dış dünyaya ileten katman çıkış katmanı, giriş ve çıkış katmanı arasında bulunan katman ise gizli katman olarak tanımlanabilir. Karmaşık problemleri hesaplayabilmek için ağların gizli katmana sahip olması zorunludur. Ancak gizli katmanların sayısı artarsa ağda genelleşme sorunu ortaya çıkar. Bu nedenle ağdaki gizli katman sayısı, en iyi çıkışı verecek şekilde seçilmelidir.

3.6. Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları yapılarına göre iki başlık altında incelenebilir.

3.6.1. İleri beslemeli ağlar

İleri beslemeli ağlarda nöronlar katmanlarda bulunur. Girişler bir katmandan sonraki katmana tek yönlü bağlantı ile gönderilir. Bağlantı tek yönlü olduğu için sonraki katmandan alınan çıkışların geriye giriş olarak dönüşü mümkün değildir. Aynı zamanda statik ağlar olarak da isimlendirilirler. Şekil 3.12’ de ileri beslemeli ağların blok diyagramı görülmektedir.



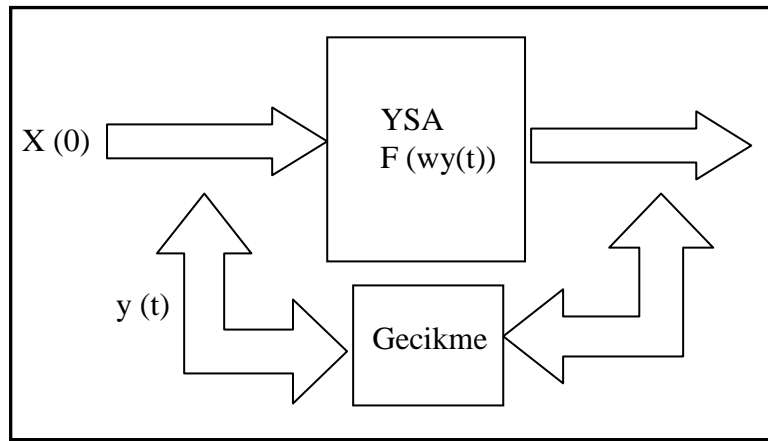
Şekil 3.12 İleri Beslemeli Sinir Ağlarının Basit Yapısı

İleri beslemeli ağlarda ilk katmandaki sinirler için u girişleri ile w ağırlık değerlerinin bir işlevi hesaplanır ve bu sonuç sonraki tüm komşu sinirlere iletilir. İlk gizli katman gibi ikinci gizli katman sinirleri de önceki katmana tam bağlıdır. Buradaki sinirler de aynı şekilde girişler ve ağırlık değerlerinin işlevini alarak sonraki sinirlere gönderirler. Bu işlem arada tüm ara katmanlarda ve çıkış katmanında yapıldıktan sonra tamamlanır. Bu ağlara “Çok Katmanlı İleri Beslemeli Ağlar” da denir (Sağıroğlu ve diğ., 2003).

İleri beslemeli ağların yaygın olarak kullanılan örnekleri Çok Katmanlı Perseptron (MLP) ve Öğrenme Vektör Nicelendirmesi (LVQ) ağları verilebilir.

3.6.2. Geri beslemeli ağlar

Dinamik ağlar olarak da adlandırılan bu tip ağlarda ileri beslemeli ağlardan farklı olarak, katmanlar arası bağlantılar tek yönlü değil çift yönlüdür (Şekil 3.13). Bu nedenle bu tip ağlarda gizli katmanların ya da çıkış katmanının çıkışları bir önceki katmana giriş olarak gönderilmektedir. Böylece bir andaki çıkış hem o andaki giriş hem de bir önceki giriş olarak kullanılır. Bu özelliklerinden dolayı bu tür ağlar tahmin uygulamaları için kullanılmaktadır. Ancak ağdaki bu geri dönüş işlemleri zaman kaybına sebep olabilmektedir. Bu nedenle de daha farklı geri dönüşümlü ağ modelleri geliştirilmektedir (Sağıroğlu ve diğ, 2003).



Şekil 3.13 Geri Beslemeli Sinir Ağlarının Basit Yapısı

Geri beslemeli ağların yaygın olarak kullanılan çeşitleri başta Elman ağı olmak üzere, Hopfield, Uyarlanır Rezonans (ART), Öz örgütlemeli Harita (SOM) Ağları olarak sıralanabilir.

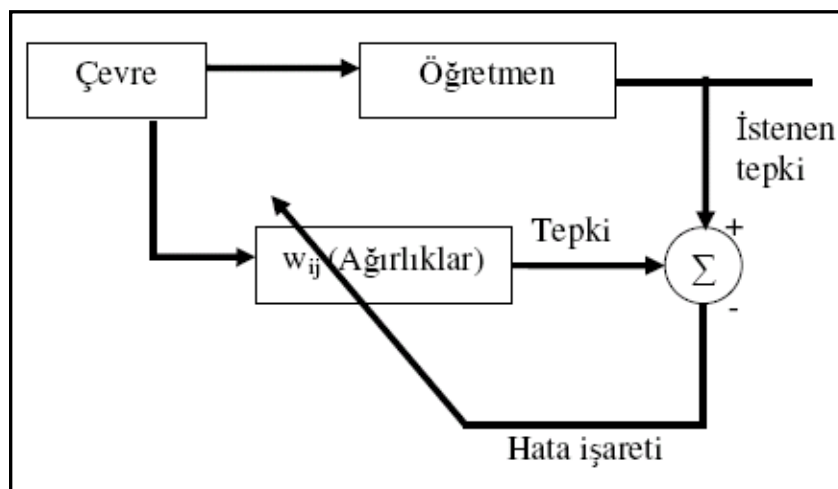
3.7. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

Yapay sinir ağlarında öğrenme, sistemin en önemli parçalarından biridir. Yapay sinir ağlarında bilgi bağlantı ağırlıklarında bulunduğu için ağdaki ağırlıkların uygun değerler alması büyük öneme sahiptir. Ancak yapay sinir ağlarında başlangıçta en uygun ağırlık değerlerinin belirlenmesi için bir yöntem yoktur. Nöronlar zamanla ve iteratif işlemler sonucunda en uygun ağırlığı belirlerler. Bu işlem ağın eğitilmesi

olarak tanımlanır. Yapay sinir ağlarında öğrenme işlemi iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada rastgele ağırlık değerleri alınır ve ağa gösterilen örnek için ağın çıkışı tespit edilir. Elde edilen çıkış değerinin, istenen cevaba uygunluğuna bakılarak diğer aşamaya geçilir. İkinci aşamada, doğru çıktıyı elde edebilecek en iyi ağırlık değerini bulmak için ağa değişik örnekler gösterilerek ağırlık değerleri değiştirilir. Eğitim aşamasında, en az bilgi ile öğrenmeyi sağlayacak örneklerin seçilmesi önemlidir. Eğitim örnekleri seçilirken birbirinden farklı bilgilerin seçilmesi daha iyi sonuçlar üretir. Ağın doğru çıktıyı verecek ağırlıkları bulması, genelleme yeteneğini kazandığını gösterir ve bu durum ağın öğrenmesi olarak tanımlanır. Yapay sinir ağlarında öğrenme temel olarak danışmanlı öğrenme ve danışmansız öğrenme olarak iki başlık altında toplanabilir. Bu öğrenme türlerinden tez çalışmasında kullanılan danışmanlı öğrenme yöntemi üzerinde durulacaktır (Öztemel, 2003).

3.7.1 Danışmanlı öğrenme

Bu öğrenme yönteminde ağın öncelikle eğitilmesi gerekmektedir. Eğitime işlemi giriş bilgileri ile birlikte çıkış bilgilerinin de verilmesiyle gerçekleştirilir. Bu işlemde ağa, gerçek örnek kümesinin verilmesi zorunludur. Bu örnek kümesi ile eğitilen ağ, istenen doğruluktaki çıkışı verdiği eğitim işlemi tamamlanmış olur (Elmas, 2003).

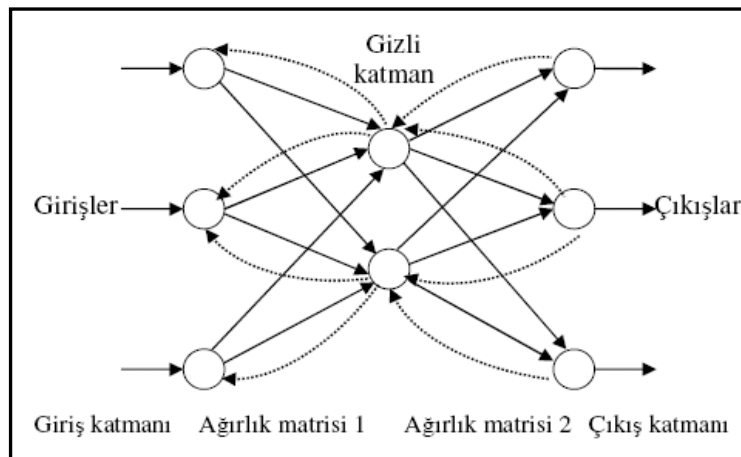


Şekil 3.14 Danışmanlı Öğrenme Sisteminin Şematik Gösterimi

Şekil 3.14' te danışmanlı öğrenme sistemi şematik olarak verilmiştir. Danışmanlı öğrenme sisteminde elde edilen çıkışlarla, aynı girişler için daha önceden elde edilen çıkışlar arasındaki fark bize hatayı verir. Elde edilen hatanın karesi en küçük olacak şekilde bağlantı ağırlıkları yeniden düzenlenir ve en iyi sonucu verecek çıkışa ulaşılmaya çalışılır. Bulunan hatanın, seçilecek hata değerinden küçük olması durumunda ağırlık eğitim işlemi tamamlanmış olur. Bu aşamadan sonra ağırlık verilecek olan bilinmeyen çıkışa sahip girişler için en küçük hataya sahip çıkışı vermesi beklenir. Danışmanlı öğrenme yönteminin en önemli özelliği giriş ve çıkış değerlerinde gerçek verilerin kullanılmasıdır (Kishan ve Chilukuri, 1997). Danışmanlı öğrenmede, öğrenme kuralları Perceptron, Delta, Genişletilmiş Delta ve Geri Yayımlı Öğrenme kuralı olmak üzere dört gruba ayrılabilir. Bu öğrenme kurallarından, yalnızca tez çalışmada kullanılan geri yayımlı öğrenme algoritmasına yer verilmiştir

3.7.1.1. Geri yayımlı öğrenme algoritması

Geri yayılım ağlarında giriş, çıkış ve en az bir tane gizli katman yer almaktadır. Gizli katmandaki düğüm sayısı değişebilir ve düğüm sayısı artarsa ağırlık hatırlama yeteneği de artar. Ancak düğüm sayısının artması, öğrenme süresini uzatır. Bunun tam tersi olarak düğüm sayısının azalmasıyla öğrenme süresi kısalmış ancak hatırlama yeteneği azalır. Bir katmandaki düğümlerin her biri kendinden sonraki katmanda yer alan düğümlerin her birine bağlıdır. Ancak aynı katman içindeki düğümlerin hiçbiri bir diğerine bağlı değildir (Kartalopoulos, 1997)



Şekil 3.15 Geri Yayılım Ağı

Şekil 3.15' te bir geri yayılım ağı görülmektedir. Geri yayılım ağında, hatalar ileri beslemeli ağlar için kullanılan bağlantılar yardımıyla geriye doğru aktarılırlar. Bu yöntemde ağırlık ayarlamaları geriye doğru yapıldığı için geri yayılım olarak isimlendirilmektedir.

Geri yayılım algoritmasında ağ ağırlıkları öncelikle rastgele seçilir. Seçilen bu ağırlıklar yeni girişlerin, çıkışlarının hesaplanmasında kullanılır. Bu ağda iki türlü bağlantı söz konusudur. İlk olarak ileri besleme işlemi ile ağırlıklar kullanılarak girişlere karşılık gelen çıkışlar elde edilir. İkinci olarak geri besleme ile elde edilen çıkışlarla beklenen çıkışlar arasındaki hata değerinin geri yayılması sağlanır. Bu geri yayılma işlemi, en iyi çıkışı verecek en uygun ağırlığı belirleyebilmek için ağdaki tüm katmanlar için gerçekleştirilir. Bu işlem toplam hata minimuma düşürülünceye kadar devam ettirilir.

3.8. Yapay sinir ağlarında test aşaması

Yapay sinir ağlarında en iyi çıkış verisini sağlayan ağırlıklar belirlendikten sonra ağın öğrenme durumunu değerlendirmek için yapılan işlemler ağın test edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu aşamada ağa görmediği örnekler verilerek eğitim sonrasında belirlenen en uygun ağırlık değerleri kullanılması ile çıkış üretilir. Elde edilen bu çıkış ağın öğrenme başarısını ortaya koyar. Sonuç ne kadar başarılı ise, ağın eğitim performansı o kadar iyidir. Yapay sinir ağlarında ağın eğitiminde kullanılan örnek kümeyle eğitim seti, test için kullanılan kümeyle ise test seti adı verilir (Öztemel 2003).

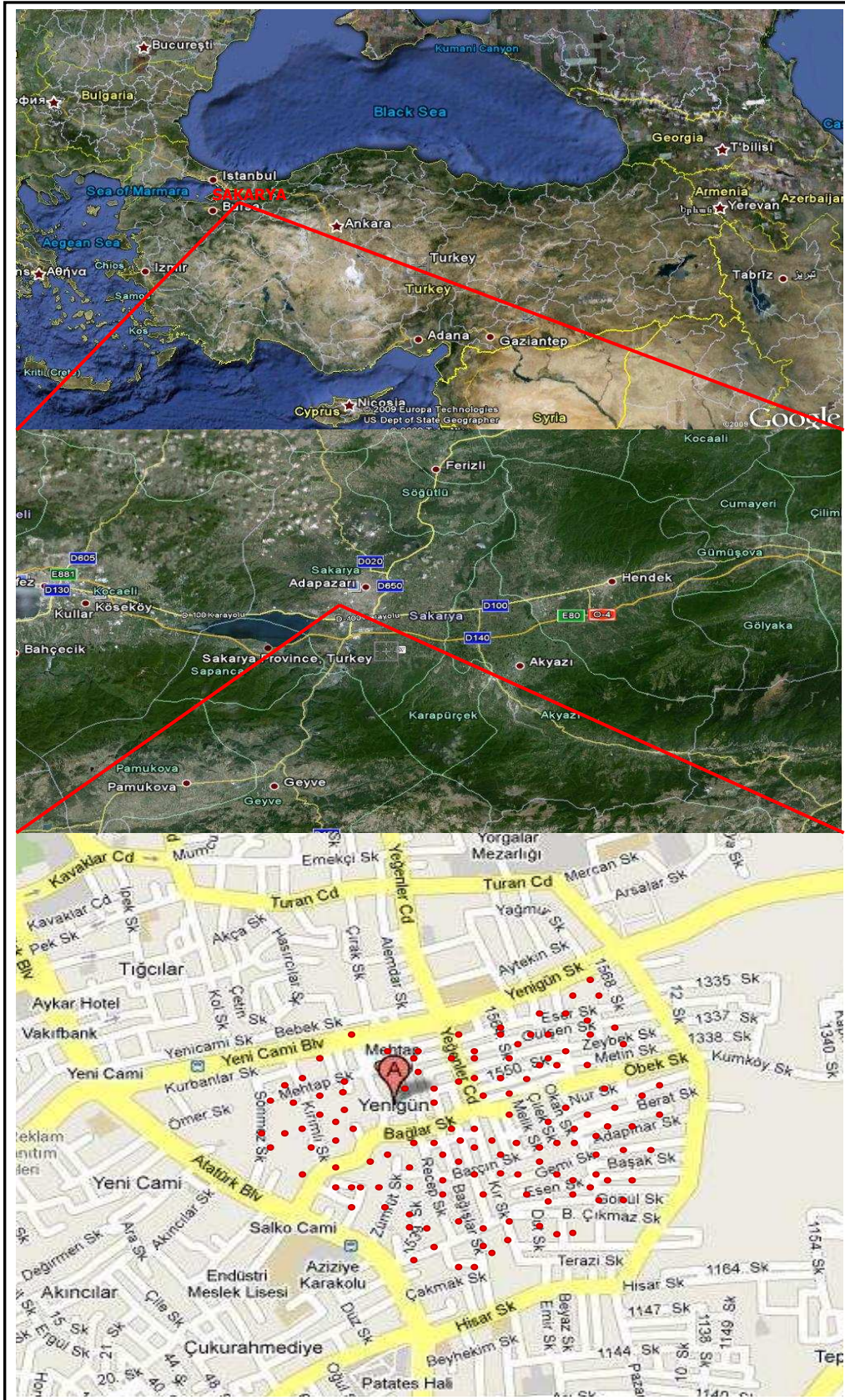
BÖLÜM 4. YAPAY SINIR AĞLARI YÖNTEMİ İLE SIVILAŞMA ANALİZİ

Tez çalışmasının bu bölümünde Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen ve SPT verileri ile laboratuvar deney sonuçlarını girdi parametresi olarak kullanan basitleştirilmiş yöntem kullanılarak Adapazarı ilçesi, Yenigün mahallesinde yer alan kumlu zeminler için sıvılaşma analizi gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

4.1. Veri Tabanının Oluşturulması

Tez çalışmasının amacına yönelik olarak inceleme alanında özel mühendislik büroları tarafından gerçekleştirilen ve Adapazarı Büyükşehir Belediyesi bünyesinde bulunan jeoteknik etüt raporları elde edilmiştir. Bu raporlarda yer alan jeoteknik sondaj logları ve laboratuvar sonuçları incelenmiş ve çalışmanın amacına uygun olarak belirlenen parametreler göz önünde bulundurularak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Derlenen veri tabanında toplam 132 adet sondaj verisi kullanılmış olup bu sondaj verilerinden 385 adet veri seti oluşturulmuştur. Veri tabanında kullanılan sondajların inceleme alanındaki lokasyonlarını ve çalışma alanını gösteren yer bulduru haritası Şekil 4.1' de verilmiştir.

Veri tabanı oluşturulurken analiz yöntemine uyum sağlaması açısından sadece kumlu zeminleri içeren sondajlar dikkate alınmıştır. Bunun haricinde incelenen sondajlarda yer alan silt ve kil içeren derinlikler veri tabanına dahil edilmemiştir. Sıvılaşma analizinde kullanılmak üzere girdi parametresi olarak; SPT deney sonuçları, yer altı su seviyesi, sondaj derinlikleri ve laboratuvar sonuçları derlenmiştir. Yapılan bu derlemeler sonucunda 132 adet sondaj verisinden kumlu seviyeleri içeren toplam 385 adet veri seti oluşturulmuştur.



Şekil 4.1 Çalışma Alanı Yer Bulduru Haritası ve Sondaj Lokasyonları

Oluşturulan bu veri tabanı; sondaj numarası, geçilen seviyelerin derinliği, yer altı su seviyesi, SPT (N) değeri, birim hacim ağırlık ve ince tane içeriği parametrelerini içermektedir. Sondaj ve laboratuvar sonuçları kullanılarak oluşturulan veri seti Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çalışmaya Esas Veri Tabanını Oluşturan Parametreler (Veri tabanını oluşturan parametreler özel mühendislik büroları tarafından yapılan ve Adapazarı Büyükşehir Belediyesi Bünyesinde bulunan jeoteknik etüt raporlarından elde edilmiştir.)

Veri Seti No	Sondaj No	Derinlik (Metre)	Yer altı Su Seviyesi (Metre)	SPT (N)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	İnce Tane Oranı (%)
1	1	9,00	1,50	45,00	19,57	45,00
2	1	10,50	1,50	39,00	19,57	44,00
3	2	12,00	3,00	45,00	20,29	13,20
4	2	14,50	3,00	50,00	20,28	14,20
5	3	12,00	2,00	24,00	19,57	45,00
6	4	1,50	2,10	9,00	19,62	40,00
7	4	3,00	2,10	19,00	19,75	35,00
8	4	7,50	2,10	28,00	19,59	42,00
9	4	12,00	2,10	33,00	19,57	44,00
10	5	7,50	1,50	24,00	19,68	39,00
11	6	3,00	2,00	11,00	19,79	33,00
12	6	4,50	2,00	12,00	20,38	9,00
13	6	6,00	2,00	18,00	20,38	9,00
14	7	9,00	2,50	50,00	20,40	7,80
15	7	12,00	2,50	50,00	20,37	9,60
16	7	14,50	2,50	50,00	20,38	8,50
17	8	1,50	3,20	23,00	19,77	33,91
18	8	3,00	3,20	50,00	19,89	29,29
19	8	4,50	3,20	50,00	19,91	28,38
20	8	6,00	3,20	50,00	20,19	19,20
21	8	7,50	3,20	50,00	20,34	11,01
22	9	7,50	1,50	15,00	19,96	26,00
23	9	10,50	1,50	33,00	19,90	29,00
24	9	15,00	1,50	38,00	19,96	26,00
25	10	7,50	1,80	33,00	19,72	36,00
26	11	14,50	2,50	50,00	20,17	20,30
27	12	6,00	2,00	40,00	19,76	34,35
28	12	9,00	2,00	23,00	19,91	28,82
29	13	9,00	1,75	40,00	20,21	18,18
30	13	12,00	1,75	45,00	20,14	21,53
31	14	1,50	2,10	6,00	17,23	49,00
32	14	4,50	2,10	7,00	19,59	43,00
33	15	9,00	3,00	29,00	19,74	35,40
34	15	12,00	3,00	38,00	19,77	33,90
35	16	4,50	2,30	50,00	19,94	27,00
36	16	6,00	2,30	50,00	20,38	9,00
37	16	7,50	2,30	50,00	20,28	14,00
38	16	9,00	2,30	50,00	20,29	13,00
39	17	6,00	2,00	29,00	20,40	7,53
40	17	9,00	2,00	50,00	20,38	8,79

Tablo 4.1. Devam

Veri Seti No	Sondaj No	Derinlik (Metre)	Yer altı Su Seviyesi (Metre)	SPT (N)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	İnce Tane Oranı (%)
41	17	10,50	2,00	15,00	20,41	6,88
42	18	6,00	2,00	38,00	20,00	23,98
43	18	9,00	2,00	47,00	20,20	18,36
44	18	12,00	2,00	49,00	20,24	16,97
45	18.2	6,00	2,50	30,00	20,31	11,47
46	18.2	9,00	2,50	41,00	20,35	10,95
47	18.2	12,00	2,50	49,00	20,36	9,88
48	19	7,50	1,90	32,00	20,17	20,00
49	19	9,00	1,90	48,00	20,39	8,00
50	20	4,50	2,00	9,00	19,72	36,00
51	21	4,50	1,50	13,00	19,77	34,00
52	21	6,00	1,50	50,00	20,39	8,00
53	21	9,00	1,50	50,00	20,29	13,00
54	21.2	6,00	1,00	50,00	20,43	5,00
55	21.2	9,00	1,00	50,00	20,30	12,00
56	22	1,50	1,90	9,00	20,42	15,00
57	22	3,00	1,90	25,00	20,22	18,00
58	22	6,00	1,90	20,00	19,62	40,00
59	23	3,50	1,70	12,00	19,57	45,00
60	23	6,50	1,70	26,00	19,77	34,00
61	24	3,00	1,70	16,00	20,13	22,13
62	24	4,50	1,70	22,00	20,20	18,53
63	24	6,00	1,70	29,00	20,31	11,44
64	25	10,50	1,40	50,00	19,59	43,00
65	26	3,00	3,00	33,00	19,78	33,50
66	26	4,50	3,00	50,00	19,96	25,80
67	26	6,00	3,00	50,00	19,84	30,70
68	26	7,50	3,00	50,00	20,23	17,20
69	26	9,00	3,00	50,00	19,87	29,90
70	26	12,00	3,00	50,00	20,12	22,80
71	27	6,00	1,50	38,00	19,86	30,16
72	27	12,00	1,50	50,00	20,30	11,92
73	28	6,00	2,70	23,00	20,42	5,29
74	28	7,50	2,70	27,00	20,40	7,75
75	28	12,00	2,70	44,00	20,35	10,83
76	29	3,00	2,00	9,00	20,22	18,00
77	29	12,00	2,00	26,00	20,00	24,00
78	29	14,50	2,00	32,00	20,19	19,00
79	30	1,50	2,50	12,00	19,58	43,79
80	30	12,00	2,50	28,00	20,12	22,63
81	30	14,50	2,50	33,00	19,93	27,68
82	31	6,00	2,00	20,00	19,90	29,00
83	31	7,50	2,00	40,00	20,14	22,00
84	31	12,00	2,00	50,00	20,00	24,00
85	31	14,50	2,00	50,00	20,85	16,00
86	31/2	7,50	2,00	32,00	19,94	27,00
87	31/2	12,00	2,00	44,00	20,85	16,00
88	31/2	14,50	2,00	50,00	20,16	21,00
89	32	3,00	3,00	18,00	19,72	36,00
90	32	4,50	3,00	36,00	19,87	30,00
91	32	6,00	3,00	46,00	19,98	25,00

Tablo 4.1. Devam

Veri Seti No	Sondaj No	Derinlik (Metre)	Yer altı Su Seviyesi (Metre)	SPT (N)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	İnce Tane Oranı (%)
92	32	7,50	3,00	50,00	19,72	36,00
93	33	7,50	2,80	22,00	20,50	1,29
94	33	9,00	2,80	25,00	19,86	30,14
95	33	12,00	2,80	29,00	19,92	27,88
96	33	14,50	2,80	33,00	20,44	4,02
97	34	3,00	2,50	19,00	20,17	20,00
98	34	4,50	2,50	22,00	20,22	18,00
99	34	6,00	2,50	27,00	20,29	13,00
100	34	7,50	2,50	30,00	20,29	13,00
101	35	6,00	3,00	18,00	19,56	45,48
102	35	7,50	3,00	21,00	19,63	39,88
103	35	9,00	3,00	36,00	19,60	41,09
104	35	12,00	3,00	41,00	19,57	45,69
105	35	14,50	3,00	45,00	19,58	43,56
106	35/2	12,00	2,80	39,00	19,55	47,15
107	35/2	14,50	2,80	48,00	19,55	47,88
108	36	7,50	1,00	22,00	19,57	44,31
109	37	1,50	6,15	14,00	17,98	24,00
110	37	3,00	6,15	16,00	17,92	30,00
111	37	4,50	6,15	11,00	17,48	16,00
112	37	6,00	6,15	15,00	20,50	15,00
113	37	7,50	6,15	19,00	20,34	11,00
114	37	9,50	6,15	15,00	20,22	18,00
115	38	3,00	2,15	11,00	19,54	48,13
116	38	6,00	2,15	18,00	19,51	49,84
117	38	7,50	2,15	32,00	19,54	48,59
118	38	9,00	2,15	35,00	19,53	49,28
119	38	12,00	2,15	40,00	19,54	48,22
120	39	9,00	1,78	34,00	20,35	10,65
121	40	3,00	2,00	11,00	20,11	23,00
122	40	4,50	2,00	14,00	19,98	25,00
123	40	12,00	2,00	35,00	19,90	29,00
124	40	15,00	2,00	48,00	20,16	21,00
125	41	3,00	1,70	19,00	20,36	10,00
126	41	4,50	1,70	30,00	20,34	11,08
127	41	6,00	1,70	33,00	20,30	12,05
128	42	6,00	2,35	24,00	19,55	47,96
129	42	12,00	2,35	46,00	19,50	49,92
130	42	14,50	2,35	50,00	19,53	48,80
131	43	1,50	2,00	6,00	17,89	44,00
132	43	7,50	2,00	32,00	20,19	19,00
133	43	12,00	2,00	50,00	20,24	17,00
134	44	9,00	1,60	50,00	19,94	26,86
135	45	9,00	2,00	27,00	19,53	49,21
136	45	12,00	2,00	31,00	19,56	46,63
137	45	14,50	2,00	50,00	19,54	48,27
138	46	1,50	2,30	8,00	20,11	23,09
139	46	3,00	2,30	14,00	19,91	28,71
140	46	14,50	2,30	50,00	19,96	25,84
141	47	1,50	2,00	9,00	20,20	18,53
142	47	3,00	2,00	13,00	20,33	11,18

Tablo 4.1. Devam

Veri Seti No	Sondaj No	Derinlik (Metre)	Yer altı Su Seviyesi (Metre)	SPT (N)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	İnce Tane Oranı (%)
143	47	4,50	2,00	16,00	19,57	45,37
144	47	6,00	2,00	21,00	20,30	12,05
145	47	14,50	2,00	32,00	19,66	39,69
146	48	3,00	2,00	16,00	19,53	49,00
147	48	4,50	2,00	22,00	19,56	47,00
148	49	3,00	1,40	15,00	19,57	44,00
149	49/2	3,00	1,40	16,00	19,62	40,00
150	50	14,50	2,10	50,00	19,87	29,97
151	51	3,00	2,70	37,00	20,39	8,00
152	52	4,50	1,90	19,00	20,36	10,00
153	52	6,00	1,90	27,00	20,34	11,00
154	53	6,00	2,30	29,00	19,61	40,08
155	53	7,50	2,30	32,00	19,57	45,04
156	53	9,00	2,30	37,00	19,74	35,47
157	53	12,00	2,30	42,00	19,60	40,66
158	53	14,50	2,30	48,00	19,59	43,30
159	54	3,00	2,40	17,00	20,33	11,17
160	54	4,50	2,40	24,00	20,15	21,07
161	55	3,00	1,70	10,00	19,62	40,00
162	56	7,50	3,00	33,00	20,17	20,00
163	57	3,00	1,70	18,00	19,70	37,00
164	57	12,00	1,70	36,00	20,30	12,00
165	57	14,50	1,70	50,00	20,30	12,00
166	58	3,00	1,87	20,00	19,57	44,00
167	58	4,50	1,87	27,00	20,16	21,02
168	58	6,00	1,87	31,00	20,18	19,63
169	58	7,50	1,87	50,00	22,12	22,85
170	58	9,00	1,87	50,00	20,10	23,73
171	58	12,00	1,87	50,00	19,97	25,21
172	58	14,50	1,87	50,00	20,18	19,62
173	59	6,00	1,50	31,00	19,79	33,00
174	59	7,50	1,50	35,00	20,17	20,00
175	59	12,00	1,50	42,00	19,83	31,00
176	59	14,50	1,50	50,00	19,94	27,00
177	60	7,50	1,30	50,00	20,30	12,00
178	60	9,00	1,30	50,00	20,46	3,00
179	60	10,50	1,30	50,00	20,48	2,00
180	60	12,00	1,30	50,00	20,48	2,00
181	61	12,00	2,10	38,00	20,33	11,20
182	62	6,00	3,00	38,00	20,19	19,00
183	63	1,50	3,07	10,00	17,85	23,00
184	63	3,00	3,07	12,00	20,50	10,00
185	63	4,50	3,07	21,00	20,17	20,00
186	63	6,00	3,07	10,00	19,87	30,00
187	63	14,50	3,07	24,00	20,24	17,00
188	64	9,50	2,64	30,00	19,53	49,00
189	64	14,50	2,64	50,00	20,22	18,00
190	64/2	14,50	2,07	50,00	20,14	22,00
191	65	7,50	1,71	13,00	19,83	31,00
192	65	9,50	1,71	16,00	19,92	28,00
193	65	12,00	1,71	21,00	20,00	24,00

Tablo 4.1. Devam

Veri Seti No	Sondaj No	Derinlik (Metre)	Yer altı Su Seviyesi (Metre)	SPT (N)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	İnce Tane Oranı (%)
194	66	12,00	2,11	25,00	20,00	24,00
195	66	14,50	2,11	40,00	20,29	13,00
196	67	4,50	2,30	50,00	20,39	8,00
197	67	6,00	2,30	50,00	20,28	14,00
198	67	7,50	2,30	50,00	20,44	4,00
199	67	9,00	2,30	50,00	20,44	4,00
200	67	10,50	2,30	50,00	20,42	6,00
201	67	12,00	2,30	50,00	20,42	6,00
202	68	3,00	2,40	9,00	20,14	22,00
203	68	4,50	2,40	10,00	20,14	22,00
204	68	12,00	2,40	14,00	19,79	33,00
205	69	1,50	6,15	14,00	18,00	24,00
206	69	3,00	6,15	16,00	17,88	30,00
207	69	4,50	6,15	11,00	17,59	16,00
208	69	6,00	6,15	15,00	20,50	15,00
209	69	7,50	6,15	19,00	20,34	11,00
210	69	9,50	6,15	15,00	20,22	18,00
211	70	4,50	1,95	12,00	19,53	49,16
212	70	6,00	1,95	18,00	19,57	46,00
213	70	12,00	1,95	34,00	19,57	45,76
214	70	14,50	1,95	40,00	19,56	46,39
215	71	12,00	2,00	36,00	19,73	35,64
216	71/2	1,50	2,00	8,00	19,46	40,54
217	71/2	3,00	2,00	6,00	19,59	42,36
218	71/2	4,50	2,00	18,00	19,60	40,79
219	71/2	12,00	2,00	40,00	19,67	39,28
220	72	6,00	1,55	25,00	20,32	11,32
221	73	1,50	2,00	10,00	17,43	24,00
222	73	3,00	2,00	11,00	19,92	28,00
223	73	4,50	2,00	34,00	19,96	26,00
224	73	6,00	2,00	38,00	19,90	29,00
225	73	7,50	2,00	44,00	19,90	29,00
226	73	12,00	2,00	50,00	19,87	30,00
227	73/2	1,50	2,00	10,00	17,82	29,00
228	73/2	3,00	2,00	12,00	19,92	28,00
229	73/2	4,50	2,00	36,00	19,92	28,00
230	73/2	6,00	2,00	40,00	19,90	29,00
231	73/2	7,50	2,00	47,00	19,92	28,00
232	73/2	12,00	2,00	50,00	19,92	28,00
233	74	1,50	2,70	6,00	19,58	45,69
234	74	6,00	2,70	13,00	19,55	47,27
235	74	14,50	2,70	28,00	19,68	39,06
236	74/2	3,00	1,45	11,00	19,80	32,87
237	74/2	6,00	1,45	17,00	19,81	32,23
238	74/3	3,00	2,00	9,00	19,54	48,10
239	74/3	6,00	2,00	19,00	19,55	47,60
240	74/3	9,00	2,00	17,00	19,57	45,22
241	75	1,50	1,80	5,00	19,55	47,36
242	75	3,00	1,80	9,00	19,56	45,67
243	75	6,00	1,80	32,00	19,56	46,02
244	75	7,50	1,80	31,00	19,57	45,74

Tablo 4.1. Devam

Veri Seti No	Sondaj No	Derinlik (Metre)	Yer altı Su Seviyesi (Metre)	SPT (N)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	İnce Tane Oranı (%)
245	75	9,00	1,80	27,00	19,57	44,67
246	75	14,50	1,80	34,00	19,57	44,48
247	76	3,00	2,81	9,00	19,98	24,87
248	76	6,00	2,81	23,00	19,88	29,78
249	77	6,00	2,00	36,00	20,46	3,00
250	77	7,50	2,00	40,00	20,48	2,00
251	77	9,00	2,00	46,00	20,44	4,00
252	78	3,00	2,60	7,00	19,55	47,11
253	78	7,50	2,60	27,00	19,59	41,63
254	79	4,50	3,12	12,00	19,95	26,37
255	79	6,00	3,12	21,00	20,43	5,04
256	80	3,00	2,00	32,00	20,00	24,00
257	80	5,00	2,00	34,00	20,14	22,00
258	80	7,00	2,00	37,00	19,98	25,00
259	80	9,00	2,00	42,00	20,43	5,00
260	80	13,00	2,00	50,00	20,42	6,00
261	81	6,00	2,70	19,00	19,52	49,36
262	81	14,50	2,70	38,00	19,54	48,38
263	82	1,50	2,50	13,00	18,00	34,00
264	83	4,50	1,90	12,00	19,56	45,47
265	83	14,50	1,90	32,00	19,58	43,38
266	84	1,50	2,00	11,00	17,59	24,00
267	84	3,00	2,00	8,00	20,11	23,00
268	84	5,00	2,00	31,00	19,77	34,00
269	84/2	1,50	2,00	11,00	19,70	37,00
270	84/2	3,00	2,00	14,00	19,92	28,00
271	85	9,00	1,95	50,00	20,41	6,83
272	85	12,00	1,95	50,00	20,43	4,66
273	86	12,00	2,20	29,00	19,56	46,81
274	86	14,50	2,20	36,00	19,53	48,89
275	87	7,50	1,00	32,00	19,60	41,00
276	87	12,00	1,00	45,00	19,94	27,00
277	87	15,00	1,00	49,00	19,79	33,00
278	87/2	7,50	1,00	32,00	19,87	30,00
279	87/2	12,00	1,00	39,00	19,77	34,00
280	87/2	15,00	1,00	46,00	19,82	32,00
281	88	3,00	1,25	14,00	19,55	48,08
282	88	9,00	1,25	37,00	20,42	5,50
283	88	12,00	1,25	42,00	20,43	4,54
284	89	3,00	1,80	15,00	19,98	25,00
285	89	12,00	1,80	30,00	20,11	23,00
286	90	1,50	4,00	24,00	17,46	3,00
287	90	3,00	4,00	31,00	17,64	4,00
288	90	4,50	4,00	42,00	20,50	4,00
289	90	6,00	4,00	45,00	20,46	3,00
290	90	7,50	4,00	50,00	20,44	4,00
291	91	1,50	2,00	8,00	19,57	44,03
292	91	3,00	2,00	9,00	19,59	42,79
293	91	4,50	2,00	12,00	19,71	36,48
294	91	6,00	2,00	14,00	19,71	36,47
295	91	9,00	2,00	22,00	19,74	35,32

Tablo 4.1. Devam

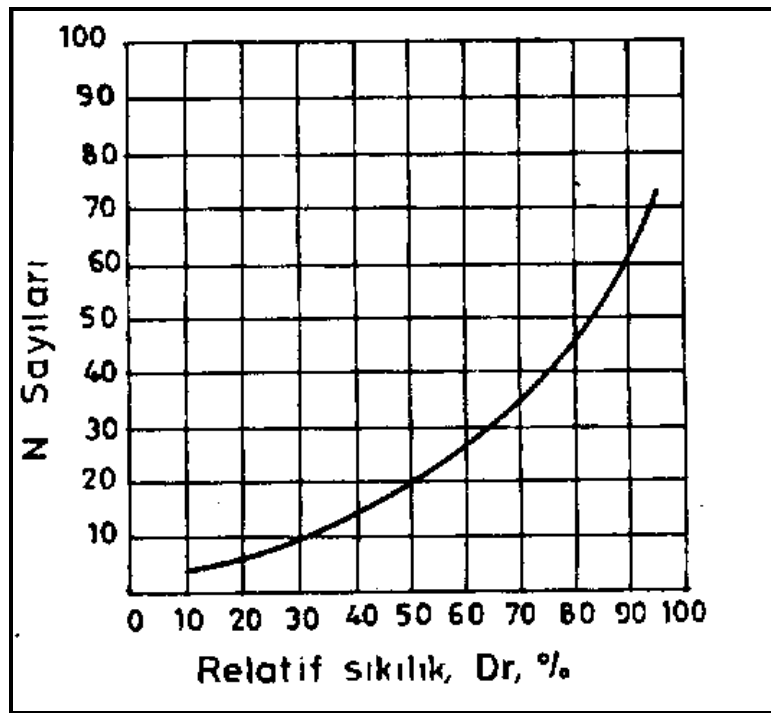
Veri Seti No	Sondaj No	Derinlik (Metre)	Yer altı Su Seviyesi (Metre)	SPT (N)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	İnce Tane Oranı (%)
296	91	12,00	2,00	31,00	19,52	49,55
297	91	14,50	2,00	45,00	19,80	32,65
298	92	1,50	2,00	7,00	17,39	30,00
299	92	3,00	2,00	18,00	19,92	28,00
300	92	5,00	2,00	22,00	19,83	31,00
301	92	7,00	2,00	31,00	20,39	8,00
302	92	9,00	2,00	33,00	20,36	10,00
303	92	13,00	2,00	33,00	20,38	9,00
304	93	9,00	2,44	32,00	20,25	15,85
305	93	12,00	2,44	30,00	20,27	14,43
306	94	3,00	3,00	32,00	19,72	36,00
307	94	5,00	3,00	34,00	19,77	34,00
308	94	7,00	3,00	33,00	19,75	35,00
309	95	1,50	1,80	22,00	19,98	25,00
310	95	3,00	1,80	35,00	20,14	22,00
311	95	4,50	1,80	40,00	20,00	24,00
312	95	6,00	1,80	45,00	19,96	26,00
313	95	7,50	1,80	19,00	20,11	23,00
314	96	3,00	1,90	12,00	19,56	46,66
315	96	4,50	1,90	15,00	19,57	44,08
316	96	6,00	1,90	16,00	19,55	47,97
317	96	9,00	1,90	26,00	19,53	48,62
318	96	14,50	1,90	33,00	19,55	47,21
319	97	9,00	2,00	26,00	20,44	4,00
320	97	12,00	2,00	35,00	20,46	3,00
321	97	14,50	2,00	43,00	20,48	2,00
322	98	1,50	1,78	4,00	17,80	18,00
323	98	3,00	1,78	6,00	20,26	15,00
324	98	4,50	1,78	8,00	20,17	20,00
325	98	14,50	1,78	25,00	20,11	23,00
326	99	1,50	2,44	6,00	19,56	46,42
327	99	3,00	2,44	7,00	19,57	45,08
328	99	6,00	2,44	22,00	19,59	43,27
329	99	7,50	2,44	33,00	19,61	40,29
330	99	9,00	2,44	39,00	19,81	32,22
331	99	14,50	2,44	50,00	19,55	47,96
332	100	12,00	2,00	34,00	19,69	38,00
333	100	15,00	2,00	37,00	19,69	38,00
334	101	3,00	1,90	18,00	19,75	35,18
335	101	4,50	1,90	11,00	19,99	24,15
336	102	3,00	2,20	8,00	19,56	46,36
337	102	4,50	2,20	13,00	19,59	41,44
338	102	9,00	2,20	28,00	19,53	48,67
339	102	14,50	2,20	32,00	19,62	39,98
340	103	7,50	2,00	31,00	19,56	46,00
341	104	12,00	2,10	26,00	20,41	7,00
342	104	14,50	2,10	32,00	20,43	5,00
343	105	1,50	2,80	6,00	17,00	47,00
344	105	3,00	2,80	16,00	20,10	45,00
345	105	14,50	2,80	50,00	20,39	8,00
346	106	14,50	2,50	26,00	20,30	12,00

Tablo 4.1. Devam

Veri Seti No	Sondaj No	Derinlik (Metre)	Yer altı Su Seviyesi (Metre)	SPT (N)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	İnce Tane Oranı (%)
347	107	14,50	2,00	41,00	20,22	17,90
348	108	6,00	2,50	19,00	20,26	15,50
349	108	9,00	2,50	39,00	20,23	17,30
350	108	12,00	2,50	50,00	20,26	14,80
351	108	14,50	2,50	50,00	20,28	13,90
352	109	9,00	1,00	16,00	20,14	22,00
353	109	13,00	1,00	24,00	20,17	20,00
354	110	1,50	1,20	8,00	20,50	10,00
355	110	3,00	1,20	10,00	20,34	11,00
356	110	4,50	1,20	16,00	20,41	7,00
357	110	6,00	1,20	22,00	20,36	10,00
358	111	9,00	2,00	21,00	19,57	44,20
359	112	3,00	2,10	10,00	20,46	3,00
360	112	4,50	2,10	13,00	20,47	2,30
361	112	6,00	2,10	16,00	20,45	3,10
362	112	9,00	2,10	27,00	20,46	3,00
363	112	12,00	2,10	25,00	20,46	2,90
364	112	14,50	2,10	32,00	20,45	3,50
365	113	1,50	2,20	13,00	17,18	49,00
366	113	3,00	2,20	19,00	19,54	48,20
367	113	4,50	2,20	25,00	19,56	47,00
368	114	1,50	2,10	14,00	17,32	49,00
369	114	3,00	2,10	21,00	19,56	47,00
370	114	4,50	2,10	26,00	19,55	48,00
371	115	6,00	2,20	25,00	20,39	8,00
372	115	9,00	2,20	50,00	20,41	7,00
373	115	12,00	2,20	50,00	20,38	9,00
374	115	14,50	2,20	50,00	20,29	13,00
375	116	3,00	1,80	12,00	19,57	45,00
376	117	9,00	3,75	12,00	19,69	38,40
377	117/2	7,50	3,05	38,00	19,83	31,10
378	118	4,50	2,70	44,00	19,58	43,51
379	118	6,00	2,70	50,00	19,65	39,83
380	118	7,50	2,70	50,00	19,77	33,93
381	118	9,00	2,70	50,00	19,85	30,21
382	118/2	4,50	2,70	38,00	19,63	39,88
383	118/2	6,00	2,70	50,00	19,85	30,21
384	118/2	7,50	2,70	50,00	19,92	28,21
385	118/2	9,00	2,70	50,00	20,10	23,59

Tez çalışmasında Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen ve ayrıntıları Bölüm 2' de verilen basitleştirilmiş prosedür kullanılarak tüm kumlu seviyeler için sondajlardan elde edilen SPT değerleri ile güvenlik sayıları (FL) hesaplanmıştır. Analizlerde SPT (N), ince tane oranı, birim hacim ağırlık değerlerinin yanı sıra deprem büyüklüğü (M_w) ve maksimum yatay yer ivmesi (a_{max}) değerleri de kullanılmıştır. Çalışma alanında yapılan analizlerde bölgede yapılmış önceki çalışmalar göz önünde bulundurularak maksimum yatay yer ivmesi $a_{max} = 0.40g$ ve deprem büyüklüğü

$M_w = 7.5$ alınmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen güvenlik sayıları sıvılaşma potansiyeli olan ve olmayan bölgeleri belirlemek için kullanılmıştır. Bölüm 2’ de de belirtildiği gibi güvenlik faktörü 1’ den küçük olan seviyeler sıvılaşır olarak kabul edilirken, 1.2’ den büyük olan seviyeler sıvılaşmaz olarak kabul edilmiştir. 1-1.2 arasındaki değerlere sahip seviyelerin sıvılaşma potansiyeli ise sıklık oranları (D_r) göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede Terzaghi ve Peck (1948) tarafından önerilen SPT- D_r bağıntıları dikkate alınmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 SPT- D_r arasındaki ilişki (Terzaghi ve Peck; 1948)

SPT’ ye bağlı olarak yapılan sıvılaşma analizleri sonucunda toplam 385 adet veriden 145 tanesinin sıvılaşma potansiyeline sahip olduğu 240 tanesinin ise sıvılaşma potansiyeli taşımadığı tespit edilmiştir. Yapılan analiz neticesinde elde edilen sonuçlar Tablo 4.2’ de verilmiştir.

Tablo 4.2. SPT' ye Bağlı Sıvılaşma Analiz Sonuçları (z= derinlik, $(N1)_{60}$ =Düzeltilmiş SPT Değeri, Rd=Derinlik azaltma Faktörü, CSR=Devirsel Gerilme Oranı, CRR=Devirsel Direnç Oranı, FL=Sıvılaşma Güvenlik Sayısını ifade etmektedir.)

Veri Seti No	Z (Metre)	$(N1)_{60}$	Bir.Hacim Ağırlık (kN/m^3)	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Rd	CSR	CRR	FL	Sıvılaşma Durumu
1	9,00	58,30	19,57	176,13	102,56	0,923	0,412	0,494	1,19	YOK
2	10,50	48,30	19,48	205,35	117,06	0,894	0,408	0,489	1,13	YOK
3	12,00	39,40	20,29	243,48	155,19	0,857	0,349	0,419	1,01	VAR
4	14,50	41,00	20,28	294,18	181,36	0,778	0,328	0,393	0,95	VAR
5	12,00	29,60	19,57	234,84	136,74	0,857	0,382	0,444	1,04	VAR
6	1,50	23,40	19,62	29,43	29,43	0,990	0,258	*	*	YOK
7	3,00	37,20	19,75	58,98	50,15	0,979	0,300	0,359	1,20	YOK
8	7,50	39,60	19,59	147,13	94,16	0,943	0,383	0,460	1,20	YOK
9	12,00	38,70	19,57	235,20	138,08	0,857	0,379	0,455	1,07	VAR
10	7,50	35,60	19,68	147,60	88,74	0,943	0,408	0,489	1,20	YOK
11	3,00	23,30	19,79	59,37	49,56	0,979	0,305	0,262	0,86	VAR
12	4,50	15,60	20,38	89,94	65,41	0,969	0,346	0,167	0,48	VAR
13	6,00	20,90	20,38	120,51	81,27	0,958	0,369	0,226	0,51	VAR
14	9,00	46,50	20,40	183,60	119,84	0,923	0,368	0,441	1,12	YOK
15	12,00	42,20	20,37	244,71	151,51	0,857	0,360	0,431	1,02	VAR
16	14,50	38,50	20,38	295,66	177,94	0,778	0,336	0,403	0,95	VAR
17	1,50	51,40	19,77	29,66	29,66	0,990	0,258	*	*	YOK
18	3,00	79,10	19,89	59,49	59,49	0,979	0,255	*	*	YOK
19	4,50	69,80	19,91	89,35	76,60	0,969	0,294	0,353	1,20	YOK
20	6,00	59,40	20,19	119,64	92,17	0,958	0,323	0,388	1,20	YOK
21	7,50	50,60	20,34	150,15	107,96	0,943	0,341	0,409	1,16	YOK
22	7,50	22,10	19,96	149,70	90,84	0,943	0,404	0,243	0,60	VAR
23	10,50	39,00	19,90	209,40	121,11	0,894	0,402	0,482	1,12	YOK
24	15,00	37,40	19,96	299,22	166,78	0,761	0,355	0,426	1,00	VAR
25	7,50	46,30	19,72	147,90	91,98	0,943	0,394	0,473	1,20	YOK
26	14,50	44,60	20,17	292,47	174,75	0,778	0,338	0,406	0,96	VAR
27	6,00	58,50	19,76	118,56	79,32	0,958	0,372	0,446	1,20	YOK
28	9,00	29,80	19,91	178,29	109,62	0,923	0,390	0,452	1,12	YOK
29	9,00	43,80	20,21	181,89	110,77	0,923	0,394	0,473	1,15	YOK
30	12,00	45,10	20,14	242,31	141,76	0,857	0,381	0,457	1,04	YOK
31	1,50	17,20	17,23	25,84	25,84	0,990	0,258	*	*	YOK
32	4,50	15,90	19,59	83,20	59,65	0,969	0,351	0,169	0,48	VAR
33	9,00	36,90	19,74	177,66	118,80	0,923	0,359	0,430	1,13	YOK
34	12,00	41,90	19,77	236,97	148,68	0,857	0,355	0,426	1,04	YOK
35	4,50	72,90	19,94	89,73	68,15	0,969	0,332	0,398	1,20	YOK
36	6,00	56,00	20,38	120,30	84,00	0,958	0,357	0,428	1,20	YOK
37	7,50	54,40	20,28	150,72	99,71	0,943	0,371	0,445	1,20	YOK
38	9,00	50,10	20,29	181,16	115,43	0,923	0,377	0,520	1,13	YOK
39	6,00	32,30	20,40	122,40	83,16	0,958	0,366	0,440	1,20	YOK
40	9,00	47,90	20,38	183,54	114,87	0,923	0,383	0,460	1,13	YOK
41	10,50	13,30	20,41	214,16	130,77	0,894	0,381	0,144	0,35	VAR
42	6,00	51,00	20,00	120,00	80,76	0,958	0,370	0,444	1,20	YOK
43	9,00	50,80	20,20	180,60	111,93	0,923	0,387	0,464	1,15	YOK
44	12,00	46,40	20,24	241,32	143,22	0,857	0,375	0,450	1,04	YOK
45	6,00	34,40	20,31	121,86	87,52	0,958	0,347	0,416	1,20	YOK
46	9,00	39,70	20,35	182,91	119,14	0,923	0,368	0,442	1,12	YOK
47	12,00	41,60	20,36	243,99	150,79	0,857	0,360	0,432	1,02	VAR

Tablo 4.2. Devam

Veri Seti No	Z (Metre)	(N1) ₆₀	Bir.Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Rd	CSR	CRR	FL	Sıvılaşma Durumu
48	7,50	38,80	20,17	151,28	96,34	0,943	0,385	0,462	1,20	YOK
49	9,00	46,20	20,39	181,86	112,21	0,923	0,389	0,467	1,15	YOK
50	4,50	18,50	19,72	88,74	64,21	0,969	0,348	0,197	0,57	VAR
51	4,50	25,00	19,77	88,96	59,54	0,969	0,377	0,291	0,77	VAR
52	6,00	58,60	20,39	119,55	75,40	0,958	0,395	0,474	1,20	YOK
53	9,00	52,00	20,29	180,42	106,84	0,923	0,405	0,486	1,17	YOK
54	6,00	58,30	20,43	122,58	73,53	0,958	0,415	0,498	1,20	YOK
55	9,00	51,90	20,30	183,48	105,00	0,923	0,419	0,503	1,18	YOK
56	1,50	18,50	20,42	30,63	30,63	0,990	0,258	*	*	YOK
57	3,00	40,80	20,22	61,04	50,25	0,979	0,309	0,371	1,20	YOK
58	6,00	31,90	19,62	119,90	79,68	0,958	0,375	0,449	1,20	YOK
59	3,50	25,20	19,57	68,50	50,84	0,976	0,342	0,296	0,86	VAR
60	6,50	39,30	19,77	127,80	80,72	0,953	0,392	0,471	1,20	YOK
61	3,00	29,30	20,13	60,39	47,64	0,979	0,323	0,425	1,32	YOK
62	4,50	32,90	20,20	90,69	63,22	0,969	0,361	0,434	1,20	YOK
63	6,00	34,90	20,31	121,16	78,97	0,958	0,382	0,458	1,20	YOK
64	10,50	60,60	19,59	205,70	116,42	0,89	0,411	0,493	1,13	YOK
65	3,00	55,60	19,78	59,34	59,34	0,979	0,255	0,305	1,20	YOK
66	4,50	69,30	19,96	89,28	74,56	0,969	0,302	0,362	1,20	YOK
67	6,00	66,00	19,84	119,04	89,61	0,958	0,331	0,397	1,20	YOK
68	7,50	54,80	20,23	149,38	105,24	0,943	0,348	0,418	1,18	YOK
69	9,00	57,30	19,87	179,19	120,33	0,923	0,357	0,429	1,11	YOK
70	12,00	48,70	20,12	239,55	151,26	0,857	0,353	0,423	1,02	VAR
71	6,00	55,40	19,86	119,16	75,01	0,958	0,396	0,474	1,20	YOK
72	12,00	45,40	20,30	240,96	137,95	0,857	0,389	0,467	1,05	YOK
73	6,00	24,30	20,42	122,52	90,15	0,958	0,338	0,278	0,82	VAR
74	7,50	26,80	20,40	153,12	106,03	0,943	0,354	0,332	0,92	VAR
75	12,00	37,60	20,35	244,70	153,46	0,857	0,355	0,426	1,01	VAR
76	3,00	16,70	20,22	60,66	50,85	0,979	0,304	0,177	0,58	VAR
77	12,00	28,30	20,00	240,66	142,56	0,857	0,376	0,380	0,89	VAR
78	14,50	29,90	20,19	291,14	168,51	0,778	0,349	0,459	1,10	VAR
79	1,50	29,50	19,58	29,37	29,37	0,990	0,258	*	*	YOK
80	12,00	29,40	20,12	240,09	146,89	0,857	0,364	0,429	1,03	VAR
81	15,00	33,10	19,93	289,92	172,20	0,778	0,340	0,408	0,99	VAR
82	6,00	30,20	19,90	119,40	80,16	0,958	0,371	0,445	1,20	YOK
83	7,50	48,60	20,14	149,61	95,66	0,943	0,384	0,460	1,20	YOK
84	12,00	50,70	20,00	239,61	141,51	0,857	0,377	0,452	1,04	YOK
85	14,50	43,30	20,85	291,74	169,11	0,778	0,349	0,418	0,97	VAR
86	7,50	41,50	19,94	149,55	95,60	0,943	0,384	0,460	1,20	YOK
87	12,00	41,20	20,85	243,88	145,28	0,857	0,373	0,448	1,03	YOK
88	14,50	45,30	20,16	293,77	171,15	0,778	0,347	0,416	0,97	VAR
89	3,00	33,10	19,72	59,16	59,16	0,979	0,255	0,305	1,20	YOK
90	4,50	52,90	19,87	88,96	74,25	0,969	0,302	0,362	1,20	YOK
91	6,00	58,50	19,98	118,94	89,50	0,958	0,331	0,397	1,20	YOK
92	7,50	63,70	19,72	148,51	104,37	0,943	0,349	0,419	1,18	YOK
93	7,50	21,20	20,50	153,75	107,64	0,943	0,350	0,231	0,64	VAR
94	9,00	30,80	19,86	183,54	122,72	0,923	0,359	0,431	1,12	YOK
95	12,00	31,20	19,92	243,30	153,05	0,857	0,354	0,425	1,03	VAR
96	14,50	24,60	20,44	294,40	179,62	0,778	0,331	0,285	0,70	VAR
97	3,00	31,10	20,17	60,51	55,60	0,979	0,277	0,332	1,20	YOK
98	4,50	31,00	20,22	90,84	71,22	0,969	0,321	0,386	1,20	YOK

Tablo 4.2. Devam

Veri Seti No	Z (Metre)	(N1) ₆₀	Bir.Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Rd	CSR	CRR	FL	Sıvılaşma Durumu
99	6,00	31,90	20,29	121,28	86,94	0,958	0,347	0,417	1,20	YOK
100	7,50	32,60	20,29	151,71	102,66	0,943	0,362	0,435	1,19	YOK
101	6,00	28,00	19,56	117,36	87,93	0,958	0,332	0,371	1,12	YOK
102	7,50	29,90	19,63	146,80	102,66	0,943	0,351	0,459	1,30	YOK
103	9,00	44,90	19,60	176,20	117,34	0,923	0,360	0,432	1,13	YOK
104	12,00	45,60	19,57	234,92	146,62	0,857	0,357	0,428	1,05	YOK
105	14,50	46,30	19,58	283,86	171,05	0,778	0,335	0,402	0,99	VAR
106	12,00	44,00	19,55	234,60	144,35	0,857	0,362	0,434	1,05	VAR
107	14,50	49,40	19,52	283,40	168,62	0,778	0,340	0,408	0,97	VAR
108	7,50	34,00	19,57	146,78	83,01	0,943	0,434	0,520	1,20	YOK
109	1,50	30,50	17,98	26,97	26,97	0,990	0,258	*	*	YOK
110	3,00	29,90	17,92	53,85	53,85	0,979	0,255	*	*	YOK
111	4,50	15,70	17,48	80,07	80,07	0,969	0,252	*	*	YOK
112	6,00	17,40	20,50	110,82	110,82	0,958	0,249	*	*	YOK
113	7,50	18,40	20,34	141,35	128,11	0,943	0,271	0,197	0,68	VAR
114	9,00	16,30	20,22	181,79	148,93	0,914	0,290	0,174	0,54	VAR
115	3,00	23,60	19,54	58,62	50,28	0,979	0,297	0,267	0,09	VAR
116	6,00	29,20	19,51	117,15	79,38	0,958	0,367	0,422	1,15	YOK
117	7,50	44,60	19,54	146,46	93,98	0,943	0,382	0,458	1,20	YOK
118	9,00	45,30	19,53	175,76	108,56	0,923	0,389	0,466	1,12	YOK
119	12,00	45,90	19,54	234,38	137,75	0,857	0,379	0,455	1,07	YOK
120	9,00	34,00	20,35	183,15	112,32	0,923	0,391	0,469	1,15	YOK
121	3,00	21,10	20,11	60,33	50,52	0,979	0,304	0,229	0,75	VAR
122	4,50	23,50	19,98	90,30	65,77	0,969	0,346	0,265	0,77	VAR
123	12,00	38,40	19,90	239,55	141,45	0,857	0,377	0,452	1,06	YOK
124	15,00	43,50	20,16	300,03	172,50	0,761	0,344	0,413	0,96	VAR
125	3,00	28,80	20,36	61,08	48,33	0,979	0,322	0,401	1,24	YOK
126	4,50	39,70	20,34	91,59	64,12	0,969	0,360	0,432	1,20	YOK
127	6,00	39,70	20,30	122,04	79,86	0,958	0,381	0,456	1,20	YOK
128	6,00	36,90	19,55	117,30	81,49	0,958	0,358	0,430	1,20	YOK
129	12,00	51,70	19,50	234,30	139,63	0,857	0,374	0,448	1,05	YOK
130	14,50	51,90	19,53	283,12	163,93	0,778	0,349	0,419	0,98	VAR
131	1,50	17,20	17,89	26,84	26,84	0,990	0,258	*	*	YOK
132	7,50	39,10	20,19	146,82	92,87	0,943	0,388	0,465	1,20	YOK
133	12,00	47,80	20,24	237,90	139,80	0,857	0,379	0,455	1,05	YOK
134	9,00	59,10	19,94	179,46	106,87	0,923	0,403	0,483	1,17	YOK
135	9,00	36,30	19,53	175,77	107,10	0,923	0,394	0,472	1,17	YOK
136	12,00	36,90	19,56	234,45	136,35	0,857	0,383	0,459	1,08	VAR
137	14,50	52,30	19,54	283,30	160,67	0,778	0,356	0,428	0,99	VAR
138	1,50	19,00	20,11	30,16	30,16	0,990	0,258	*	*	YOK
139	3,00	19,91	19,91	60,19	53,32	0,98	0,287	0,326	1,13	YOK
140	14,50	19,96	19,96	289,73	170,05	0,778	0,344	0,413	0,97	VAR
141	1,50	19,70	20,20	30,30	30,30	0,990	0,258	*	*	YOK
142	3,00	20,00	20,33	60,73	50,97	0,979	0,304	0,215	0,71	VAR
143	4,50	28,70	19,57	90,08	65,56	0,969	0,346	0,397	1,15	YOK
144	6,00	25,60	20,30	120,54	81,30	0,958	0,369	0,304	0,82	VAR
145	14,50	34,90	19,66	287,64	165,02	0,778	0,352	0,423	1,01	VAR
146	3,00	32,50	19,53	58,59	48,78	0,979	0,306	0,367	1,20	YOK
147	4,50	38,20	19,56	87,93	63,40	0,969	0,349	0,419	1,20	YOK
148	3,00	32,40	19,57	58,71	43,01	0,979	0,348	0,417	1,20	YOK
149	3,00	34,20	19,62	58,86	43,16	0,979	0,347	0,417	1,20	YOK

Tablo 4.2. Devam

Veri Seti No	Z (Metre)	(N1) ₆₀	Bir.Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Rd	CSR	CRR	FL	Sıvılaşma Durumu
150	14,50	49,40	19,87	288,12	166,47	0,778	0,350	0,520	0,98	VAR
151	3,00	49,40	20,39	61,17	58,23	0,979	0,268	0,321	1,20	YOK
152	4,50	24,70	20,36	91,62	66,11	0,969	0,349	0,287	0,82	VAR
153	6,00	31,80	20,34	122,13	81,91	0,958	0,371	0,445	1,20	YOK
154	6,00	43,60	19,61	117,66	81,36	0,958	0,360	0,432	1,20	YOK
155	7,50	44,20	19,57	147,01	96,00	0,943	0,376	0,450	1,20	YOK
156	9,00	47,20	19,74	176,62	110,90	0,923	0,382	0,458	1,15	YOK
157	12,00	47,60	19,60	235,42	140,27	0,857	0,374	0,448	1,05	YOK
158	14,50	49,90	19,59	284,40	164,72	0,778	0,349	0,419	0,98	VAR
159	3,00	25,00	20,33	60,99	54,12	0,979	0,287	0,292	1,02	VAR
160	4,50	35,00	20,15	91,21	69,63	0,969	0,330	0,396	1,20	YOK
161	3,00	22,70	19,62	58,86	46,11	0,979	0,325	0,252	0,77	VAR
162	7,50	38,00	20,17	151,28	107,13	0,943	0,346	0,415	1,17	YOK
163	3,00	36,70	19,70	59,10	46,35	0,979	0,325	0,390	1,20	YOK
164	12,00	32,90	20,30	241,80	140,76	0,857	0,383	0,459	1,06	YOK
165	14,50	41,50	20,30	292,55	166,98	0,778	0,354	0,425	0,98	VAR
166	3,00	39,80	19,57	58,71	47,62	0,979	0,314	0,377	1,20	YOK
167	4,50	40,70	20,16	88,95	63,15	0,969	0,355	0,426	1,20	YOK
168	6,00	41,20	20,18	119,22	78,70	0,958	0,377	0,452	1,20	YOK
169	7,50	59,80	22,12	152,40	97,17	0,943	0,385	0,461	1,20	YOK
170	9,00	56,20	20,10	182,55	112,60	0,923	0,389	0,467	1,14	YOK
171	12,00	51,00	19,97	242,46	143,08	0,587	0,377	0,453	1,04	YOK
172	14,50	45,00	20,18	292,91	169,01	0,778	0,350	0,420	0,97	VAR
173	6,00	47,20	19,79	118,74	74,60	0,958	0,396	0,475	1,20	YOK
174	7,50	43,40	20,17	149,00	90,14	0,943	0,405	0,486	1,20	YOK
175	12,00	46,80	19,83	238,23	135,22	0,857	0,392	0,471	1,06	YOK
176	14,50	49,10	19,94	288,08	160,55	0,778	0,363	0,435	0,99	VAR
177	7,50	55,50	20,30	152,25	91,43	0,943	0,408	0,490	1,20	YOK
178	9,00	48,20	20,46	182,94	107,40	0,923	0,409	0,490	1,17	YOK
179	10,50	45,00	20,48	213,66	123,41	0,894	0,403	0,483	1,10	YOK
180	12,00	42,30	20,48	244,38	139,41	0,857	0,390	0,468	1,05	YOK
181	12,00	33,50	20,33	243,96	146,84	0,857	0,370	0,440	1,05	YOK
182	6,00	46,00	20,19	121,14	91,71	0,958	0,329	0,395	1,20	YOK
183	1,50	22,80	17,85	26,78	26,78	0,990	0,258	*	*	YOK
184	3,00	17,00	20,50	57,53	57,53	0,979	0,255	*	*	YOK
185	4,50	30,00	20,17	87,80	73,77	0,969	0,300	0,360	1,20	YOK
186	6,00	17,00	19,87	117,61	88,86	0,958	0,330	0,180	0,55	VAR
187	14,50	22,10	20,24	289,65	177,52	0,778	0,330	0,243	0,66	VAR
188	9,50	38,10	19,53	185,54	118,24	0,914	0,373	0,448	1,13	YOK
189	14,50	44,10	20,22	286,64	170,29	0,778	0,340	0,408	0,97	VAR
190	14,50	45,80	20,14	292,03	170,09	0,778	0,347	0,416	0,97	VAR
191	7,50	20,50	19,83	148,72	91,93	0,943	0,397	0,222	0,56	VAR
192	9,50	21,80	19,92	188,56	112,15	0,914	0,400	0,238	0,58	VAR
193	12,00	24,00	20,00	238,56	137,62	0,857	0,386	0,273	0,65	VAR
194	12,00	27,30	20,00	240,00	142,98	0,857	0,374	0,348	0,82	VAR
195	14,50	20,29	20,29	290,73	169,18	0,778	0,347	0,417	1,00	VAR
196	4,50	60,70	20,39	91,76	70,17	0,969	0,329	0,395	1,20	YOK
197	6,00	58,40	20,28	122,18	85,88	0,958	0,354	0,425	1,20	YOK
198	7,50	49,60	20,44	152,84	101,82	0,943	0,368	0,442	1,19	YOK
199	9,00	46,10	20,44	183,50	117,77	0,923	0,374	0,448	1,12	YOK
200	10,50	43,50	20,42	214,12	133,68	0,894	0,372	0,447	1,07	YOK

Tablo 4.2. Devam

Veri Seti No	Z (Metre)	(N1) ₆₀	Bir.Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Rd	CSR	CRR	FL	Sıvılaşma Durumu
201	12,00	41,10	20,42	244,76	149,60	0,857	0,364	0,437	1,02	YOK
202	3,00	17,20	20,14	60,42	54,53	0,979	0,282	0,183	0,65	VAR
203	4,50	17,00	20,14	90,63	70,03	0,969	0,326	0,181	0,55	VAR
204	12,00	18,60	19,79	239,05	144,88	0,857	0,367	0,199	0,49	VAR
205	1,50	30,50	18,00	27,00	27,00	0,990	0,258	*	*	YOK
206	3,00	29,90	17,88	53,82	53,82	0,979	0,255	*	*	YOK
207	4,50	15,70	17,59	80,20	80,20	0,969	0,252	*	*	YOK
208	6,00	17,40	20,50	110,96	110,96	0,958	0,249	*	*	YOK
209	7,50	18,40	20,34	141,49	128,25	0,943	0,271	0,197	0,68	VAR
210	9,50	16,30	20,22	181,93	149,07	0,914	0,290	0,174	0,54	VAR
211	4,50	23,20	19,53	87,88	62,87	0,969	0,352	0,259	0,74	VAR
212	6,00	29,50	19,57	117,24	77,51	0,958	0,377	0,438	1,16	YOK
213	12,00	40,00	19,57	234,66	136,07	0,857	0,384	0,461	1,08	VAR
214	14,50	42,90	19,56	283,56	160,44	0,778	0,357	0,429	1,02	YOK
215	12,00	41,70	19,73	236,76	138,66	0,857	0,380	0,456	1,07	YOK
216	1,50	21,30	19,71	29,56	29,56	0,990	0,258	*	*	YOK
217	3,00	15,30	19,59	59,01	49,20	0,979	0,305	0,163	0,53	VAR
218	4,50	32,00	19,60	88,41	63,89	0,969	0,349	0,418	1,20	YOK
219	12,00	45,90	19,67	235,94	137,84	0,857	0,381	0,457	1,07	YOK
220	6,00	30,40	20,32	121,92	78,27	0,958	0,388	0,465	1,20	YOK
221	1,50	23,00	17,43	26,14	26,14	0,990	0,258	*	*	YOK
222	3,00	23,20	19,92	54,78	44,97	0,979	0,310	0,425	0,84	VAR
223	4,50	53,60	19,96	84,72	60,20	0,969	0,355	0,069	1,20	YOK
224	6,00	54,80	19,90	114,57	75,33	0,958	0,379	0,454	1,20	YOK
225	7,50	57,70	19,90	144,42	90,46	0,943	0,391	0,470	1,20	YOK
226	12,00	54,20	19,87	233,83	135,74	0,857	0,384	0,460	1,06	YOK
227	1,50	24,10	17,82	26,73	26,73	0,990	0,258	*	*	YOK
228	3,00	24,80	19,92	55,56	45,75	0,979	0,309	0,287	0,93	VAR
229	4,50	57,10	19,92	85,44	60,92	0,969	0,353	0,424	1,20	YOK
230	6,00	57,20	19,90	115,29	76,05	0,958	0,377	0,453	1,20	YOK
231	7,50	60,60	19,92	145,17	91,22	0,943	0,390	0,468	1,20	YOK
232	12,00	53,20	19,92	234,81	136,71	0,857	0,382	0,459	1,06	YOK
233	1,50	17,20	19,28	28,92	28,92	0,990	0,258	*	*	YOK
234	6,00	22,00	19,58	116,57	84,20	0,958	0,345	0,242	0,70	VAR
235	14,50	30,90	19,68	283,85	168,09	0,778	0,341	0,410	1,00	VAR
236	3,00	24,40	19,80	59,40	44,19	0,979	0,342	0,280	0,82	VAR
237	6,00	28,00	19,81	118,83	74,19	0,958	0,399	0,369	0,93	VAR
238	3,00	20,50	19,54	58,62	48,81	0,979	0,306	0,221	0,72	VAR
239	6,00	30,80	19,55	117,27	78,03	0,958	0,374	0,449	1,20	YOK
240	9,00	24,70	19,57	175,98	107,31	0,923	0,394	0,286	0,71	VAR
241	1,50	15,20	19,55	29,33	29,33	0,990	0,258	*	*	YOK
242	3,00	20,80	19,56	58,66	46,89	0,979	0,319	0,225	0,71	VAR
243	6,00	49,00	19,56	117,34	76,14	0,958	0,384	0,460	1,20	YOK
244	7,50	44,00	19,57	146,70	90,78	0,943	0,396	0,475	1,20	YOK
245	9,00	36,60	19,57	176,05	105,42	0,923	0,401	0,481	1,18	YOK
246	14,50	37,30	19,57	283,69	159,10	0,778	0,360	0,432	1,02	VAR
247	3,00	17,40	19,98	59,94	59,08	0,979	0,263	0,185	0,71	VAR
248	6,00	32,90	19,88	119,58	88,29	0,958	0,337	0,405	1,20	YOK
249	6,00	39,40	20,46	122,76	83,52	0,958	0,366	0,439	1,20	YOK
250	7,50	40,10	20,48	153,48	99,52	0,943	0,378	0,454	1,20	YOK
251	9,00	42,80	20,44	184,14	115,47	0,923	0,383	0,459	1,13	YOK

Tablo 4.2. Devam

Veri Seti No	Z (Metre)	(N1) ₆₀	Bir.Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Rd	CSR	CRR	FL	Sıvılaşma Durumu
252	3,00	16,40	19,55	58,65	54,73	0,979	0,273	0,174	0,64	VAR
253	7,50	37,60	19,59	146,80	98,74	0,943	0,365	0,437	1,20	YOK
254	4,50	19,90	19,95	89,78	76,24	0,969	0,297	0,214	0,72	VAR
255	6,00	21,90	20,43	120,42	92,17	0,958	0,325	0,241	0,74	VAR
256	3,00	24,20	20,00	60,00	50,19	0,979	0,304	0,365	1,20	YOK
257	4,50	48,10	20,14	100,28	70,85	0,965	0,355	0,426	1,20	YOK
258	7,50	47,50	19,98	140,24	91,19	0,949	0,379	0,455	1,20	YOK
259	9,00	39,60	20,43	181,10	112,43	0,923	0,387	0,464	1,14	YOK
260	12,00	40,40	20,42	262,78	154,87	0,827	0,365	0,437	1,01	YOK
261	6,00	29,80	19,52	117,12	84,75	0,958	0,344	0,452	1,31	YOK
262	14,50	40,20	19,54	283,21	167,45	0,778	0,342	0,410	1,00	VAR
263	1,50	31,20	18,00	27,00	27,00	0,990	0,258	*	*	YOK
264	4,50	23,20	19,56	88,02	62,51	0,969	0,355	0,260	0,73	VAR
265	14,50	35,30	19,58	283,82	160,21	0,778	0,358	0,430	1,02	VAR
266	1,50	24,90	17,59	26,38	26,38	0,990	0,258	*	*	YOK
267	3,00	17,10	20,11	55,29	45,48	0,979	0,310	0,182	0,59	VAR
268	4,50	50,50	19,77	94,83	65,40	0,965	0,364	0,437	1,20	YOK
269	1,50	27,40	19,70	29,55	29,55	0,990	0,258	*	*	YOK
270	3,00	27,20	19,92	59,32	49,51	0,979	0,305	0,344	1,13	YOK
271	9,00	47,12	20,41	183,69	114,53	0,923	0,385	0,462	1,14	YOK
272	12,00	41,30	20,43	244,98	146,39	0,857	0,373	0,447	1,03	YOK
273	12,00	34,60	19,56	234,72	138,58	0,857	0,377	0,452	1,07	VAR
274	14,50	38,80	19,53	283,54	162,88	0,778	0,352	0,422	1,01	YOK
275	7,50	47,10	19,60	147,00	83,24	0,943	0,433	0,520	1,20	YOK
276	12,00	49,30	19,94	236,73	128,82	0,857	0,409	0,491	1,08	YOK
277	14,50	50,80	19,79	296,10	158,76	0,761	0,369	0,443	1,00	VAR
278	7,50	44,70	19,87	149,02	85,26	0,943	0,429	0,514	1,20	YOK
279	12,00	45,60	19,77	237,99	130,08	0,857	0,407	0,489	1,09	YOK
280	14,50	47,40	19,82	297,45	160,11	0,761	0,367	0,441	0,99	VAR
281	3,00	31,10	19,55	58,65	41,18	0,979	0,360	0,432	1,20	YOK
282	9,00	36,20	20,42	181,17	105,14	0,923	0,413	0,496	1,18	YOK
283	12,00	35,90	20,43	242,56	137,00	0,857	0,394	0,473	1,06	YOK
284	3,00	28,40	19,98	59,94	48,17	0,979	0,317	0,384	1,21	YOK
285	12,00	31,90	20,11	240,93	140,87	0,857	0,381	0,457	1,06	VAR
286	1,50	40,80	17,46	26,19	26,19	0,990	0,258	*	*	YOK
287	3,00	42,70	17,64	52,65	52,65	0,979	0,255	*	*	YOK
288	4,50	48,30	20,50	80,54	75,64	0,969	0,268	0,322	1,20	YOK
289	6,00	47,00	20,46	111,23	91,61	0,958	0,302	0,363	1,20	YOK
290	7,50	48,20	20,44	141,89	107,56	0,943	0,324	0,388	1,17	YOK
291	1,50	21,30	19,57	29,36	29,36	0,990	0,258	*	*	YOK
292	3,00	20,40	19,59	58,73	48,92	0,979	0,306	0,221	0,72	VAR
293	4,50	23,00	19,71	88,30	63,77	0,969	0,349	0,257	0,74	VAR
294	6,00	23,90	19,71	117,86	78,62	0,958	0,373	0,272	0,73	VAR
295	9,00	30,40	19,74	177,08	108,41	0,923	0,392	0,470	1,17	YOK
296	12,00	36,70	19,52	235,64	137,54	0,857	0,382	0,458	1,07	YOK
297	14,50	46,40	19,80	285,14	162,51	0,778	0,355	0,425	0,99	VAR
298	1,50	18,40	17,39	26,08	26,08	0,990	0,258	*	*	YOK
299	3,00	35,10	19,92	54,70	44,89	0,979	0,310	0,372	1,20	YOK
300	5,00	36,50	19,83	94,36	64,93	0,965	0,365	0,438	1,20	YOK
301	7,00	34,10	20,39	135,14	86,09	0,949	0,387	0,464	0,12	VAR
302	9,00	33,40	20,36	175,86	107,19	0,923	0,394	0,472	1,17	YOK

Tablo 4.2. Devam

Veri Seti No	Z (Metre)	(N1) ₆₀	Bir.Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Rd	CSR	CRR	FL	Sıvılaşma Durumu
303	13,00	28,00	20,38	257,38	149,47	0,827	0,370	0,370	0,87	VAR
304	9,00	33,80	20,25	182,25	117,90	0,923	0,371	0,445	1,13	YOK
305	12,00	28,00	20,27	243,06	149,28	0,857	0,363	0,369	0,88	VAR
306	3,00	54,90	19,72	59,16	59,16	0,979	0,255	0,305	1,20	YOK
307	5,00	50,40	19,77	98,70	79,08	0,965	0,313	0,376	1,20	YOK
308	7,00	44,80	19,75	138,20	98,96	0,949	0,344	0,413	1,20	YOK
309	1,50	46,00	19,98	29,97	29,97	0,990	0,258	*	*	YOK
310	3,00	58,90	20,14	60,13	48,36	0,979	0,317	0,380	1,20	YOK
311	4,50	59,70	20,00	90,13	63,64	0,969	0,357	0,428	1,20	YOK
312	6,00	61,30	19,96	120,07	78,87	0,958	0,379	0,455	1,20	YOK
313	7,50	25,60	20,11	150,24	94,32	0,943	0,391	0,304	0,78	VAR
314	3,00	25,80	19,56	58,68	47,89	0,979	0,312	0,309	0,99	VAR
315	4,50	27,80	19,57	88,04	62,53	0,969	0,355	0,361	1,02	VAR
316	6,00	26,90	19,55	117,36	77,14	0,958	0,379	0,334	0,88	VAR
317	9,00	35,30	19,53	175,95	106,30	0,923	0,397	0,476	1,17	YOK
318	15,00	36,30	19,55	283,48	159,87	0,778	0,358	0,430	1,02	VAR
319	9,00	24,20	20,44	183,96	115,29	0,923	0,383	0,277	0,69	VAR
320	12,00	28,80	20,46	245,34	147,24	0,857	0,371	0,403	0,95	VAR
321	14,50	32,60	20,48	296,54	173,92	0,778	0,345	0,413	0,99	VAR
322	1,50	10,50	17,80	26,70	26,70	0,990	0,258	*	*	YOK
323	3,00	11,90	20,26	56,40	44,43	0,979	0,323	0,131	0,40	VAR
324	4,50	14,80	20,17	86,66	59,97	0,969	0,364	0,158	0,43	VAR
325	14,50	25,60	20,11	287,76	162,97	0,778	0,357	0,304	0,75	VAR
326	1,50	17,20	19,56	29,34	29,34	0,990	0,258	*	*	YOK
327	3,00	16,50	19,57	58,69	53,19	0,979	0,281	0,176	0,63	VAR
328	6,00	34,10	19,59	117,46	82,53	0,958	0,354	0,425	1,20	YOK
329	7,50	45,20	19,61	146,87	97,23	0,943	0,370	0,444	1,20	YOK
330	9,00	48,00	19,81	176,59	112,23	0,923	0,378	0,453	1,15	YOK
331	14,50	51,60	19,55	284,11	165,80	0,778	0,346	0,416	0,98	VAR
332	12,00	39,70	19,69	236,28	138,18	0,857	0,381	0,457	1,07	YOK
333	15,00	39,30	19,69	295,35	167,82	0,761	0,348	0,418	1,00	VAR
334	3,00	36,00	19,75	59,25	48,46	0,979	0,311	0,374	1,20	YOK
335	4,50	19,50	19,99	89,24	63,73	0,969	0,353	0,209	0,59	VAR
336	3,00	18,50	19,56	58,68	50,83	0,979	0,294	0,197	0,67	VAR
337	4,50	24,30	19,59	88,06	65,50	0,969	0,339	0,278	0,82	VAR
338	9,00	37,10	19,53	175,95	109,24	0,923	0,386	0,464	1,16	YOK
339	14,50	35,10	19,62	283,86	163,20	0,778	0,352	0,422	1,01	VAR
340	7,50	43,60	19,56	146,70	92,74	0,943	0,388	0,465	1,20	YOK
341	12,00	21,70	20,41	244,92	147,80	0,857	0,369	0,238	0,56	VAR
342	14,50	24,20	20,43	296,00	174,35	0,778	0,343	0,277	0,67	VAR
343	1,50	17,20	17,00	25,50	25,50	0,990	0,258	*	*	YOK
344	3,00	32,20	20,10	51,62	49,66	0,979	0,265	0,318	1,20	YOK
345	14,50	39,00	20,39	286,10	171,33	0,778	0,338	0,405	0,97	VAR
346	14,50	21,70	20,30	294,35	176,63	0,778	0,337	0,238	0,61	VAR
347	14,50	36,70	20,22	293,19	170,56	0,778	0,348	0,417	1,00	VAR
348	6,00	24,00	20,26	121,56	87,22	0,958	0,347	0,274	0,79	VAR
349	9,00	41,10	20,23	182,25	118,49	0,923	0,369	0,443	1,12	YOK
350	12,00	45,20	20,26	243,03	149,84	0,857	0,361	0,433	1,05	YOK
351	14,50	41,40	20,28	293,73	176,01	0,778	0,337	0,405	0,96	VAR
352	9,00	21,20	20,14	181,26	102,78	0,923	0,423	0,231	0,54	VAR
353	13,00	25,20	20,17	261,94	144,22	0,827	0,390	0,296	0,69	VAR

Tablo 4.2. Devam

Veri Seti No	Z (Metre)	(N1) ₆₀	Bir.Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Rd	CSR	CRR	FL	Sıvılaşma Durumu
354	1,50	14,80	20,50	30,75	27,81	0,990	0,285	0,158	0,55	VAR
355	3,00	16,80	20,34	61,26	43,60	0,979	0,358	0,178	0,50	VAR
356	4,50	21,00	20,41	91,88	59,50	0,969	0,389	0,229	0,59	VAR
357	6,00	26,80	20,36	122,42	75,33	0,958	0,405	0,332	0,82	VAR
358	9,00	5,00	29,30	176,13	107,46	0,923	0,393	0,426	1,06	VAR
359	3,00	13,80	20,46	61,38	52,55	0,979	0,297	0,148	0,50	VAR
360	4,50	15,70	20,47	92,08	68,54	0,969	0,339	0,167	0,49	VAR
361	6,00	17,40	20,45	122,76	84,50	0,958	0,362	0,185	0,51	VAR
362	9,00	25,00	20,46	184,14	116,45	0,923	0,379	0,292	0,73	VAR
363	12,00	20,50	20,46	245,52	148,40	0,857	0,368	0,222	0,52	VAR
364	14,50	24,20	20,45	296,64	175,00	0,778	0,343	0,277	0,66	VAR
365	1,50	31,50	17,18	25,77	25,77	0,990	0,258	*	*	YOK
366	3,00	38,80	19,54	53,43	45,58	0,979	0,299	0,358	1,20	YOK
367	4,50	43,70	19,56	82,77	60,20	0,969	0,346	0,416	1,20	YOK
368	1,50	33,60	17,32	25,98	25,98	0,990	0,258	*	*	YOK
369	3,00	42,50	19,56	53,98	45,15	0,979	0,304	0,365	1,20	YOK
370	4,50	45,40	19,55	83,30	59,76	0,969	0,351	0,421	1,20	YOK
371	6,00	27,70	20,39	122,34	85,06	0,958	0,358	0,361	1,01	VAR
372	9,00	46,80	20,41	183,57	116,86	0,923	0,377	0,452	1,13	YOK
373	12,00	42,30	20,38	244,71	148,57	0,857	0,367	0,440	1,02	YOK
374	14,50	41,10	20,29	295,43	174,77	0,778	0,342	0,410	0,96	VAR
375	3,00	26,00	19,57	58,71	46,94	0,979	0,319	0,313	0,98	VAR
376	9,00	17,80	16,69	177,21	125,71	0,923	0,338	0,190	0,53	VAR
377	7,50	47,90	19,83	148,72	105,07	0,943	0,347	0,416	1,18	YOK
378	4,50	67,90	19,58	88,11	70,45	0,969	0,315	0,378	1,20	YOK
379	6,00	70,00	19,65	117,58	85,21	0,958	0,344	0,412	1,20	YOK
380	7,50	64,30	19,77	147,24	100,15	0,943	0,361	0,432	1,20	YOK
381	9,00	58,60	19,85	177,02	115,21	0,923	0,369	0,442	1,13	YOK
382	4,50	59,20	19,63	88,34	70,68	0,969	0,315	0,378	1,20	YOK
383	6,00	67,10	19,85	118,11	85,74	0,958	0,343	0,411	1,20	YOK
384	7,50	61,30	19,92	147,99	100,90	0,943	0,360	0,431	1,20	YOK
385	9,00	55,30	20,10	178,14	116,34	0,923	0,367	0,441	1,13	YOK

4.2. Yapay Sinir Ağı Yöntemi İle Sıvılaşma Analizi

Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen basitleştirilmiş prosedür ile yapılan SPT' ye bağlı analiz işleminden sonra, Tablo 4.1' ve Tablo 4.2' de sunulan veri tabanları kullanılarak Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile sıvılaşma analizi işlemine geçilmiştir. SPT verileri için en iyi sonucu verecek ağ sonuçları sunulmaya çalışılmıştır. Analiz için derlenen veriler ağa sunulmadan önce, her bir parametre minimum ve maksimum değerleri göz önünde bulundurularak normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Normalizasyon işlemi sonrasında veri tabanında yer alan her bir parametre (+1) ile (-1) arasında değerlere sahip olmuştur. Sistemin çıkışını

oluşturan sıvılaşma durumu ise sıvılaşabilir durumlarda 1, sıvılaşmaz durumlarda ise -1 değerini almıştır. Tablo 4.3' te veri tabanını oluşturan parametrelerin normalizasyon işlemi sonrasında elde edilen değerleri görülmektedir.

Tablo 4.3. Normalizasyon İşlemi Sonrası Elde Edilen Veri Tabanı (Sıvılaşma durumunun -1 olması sıvılaşma potansiyelinin mevcut olduğunu, -1 olması ise sıvılaşma potansiyelinin olmadığını ifade etmektedir). Çalışmada kullanılan toplam 385 adet veriden 285 adeti eğitim fazında, 100 adeti (sarı renkle belirtilenler) ise test fazında kullanılmıştır.

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oran (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu
1	0,11	-0,81	0,80	-0,54	0,44	0,0974	-0,011	-1
2	0,33	-0,8	0,76	-0,55749	0,17	0,3102	0,175	-1
3	0,56	-0,2	-0,51	-0,42902	-0,07	0,588	0,664	1
4	0,93	-0,2	-0,47	-0,43061	-0,03	0,9574	1	1
5	0,56	-0,6	0,8	-0,54322	-0,34	0,5251	0,427	1
6	-1	-0,6	0,59	-0,53529	-0,5	-0,9714	-0,95	-1
7	-0,78	-0,6	0,39	-0,51467	-0,13	-0,7561	-0,684	-1
8	-0,11	-0,6	0,67	-0,54005	-0,07	-0,1139	-0,119	-1
9	0,56	-0,6	0,76	-0,54322	-0,09	0,5277	0,445	1
10	-0,11	-0,8	0,55	-0,52577	-0,17	-0,1105	-0,189	-1
11	-0,78	-0,6	0,3	-0,50833	-0,51	-0,7533	-0,691	1
12	-0,56	-0,6	-0,68	-0,41475	-0,71	-0,5305	-0,488	1
13	-0,33	-0,6	-0,68	-0,41475	-0,57	-0,3078	-0,284	1
14	0,11	-0,4	-0,73	-0,41158	0,12	0,1518	0,211	-1
15	0,56	-0,4	-0,66	-0,41634	0	0,597	0,617	1
16	0,93	-0,4	-0,7	-0,41475	-0,1	0,9682	0,956	1
17	-1	-0,1	0,34	-0,51115	0,25	-0,9697	-0,947	-1
18	-0,78	-0,1	0,15	-0,49247	1	-0,7524	-0,564	-1
19	-0,56	-0,1	0,11	-0,48929	0,75	-0,5348	-0,344	-1
20	-0,33	-0,1	-0,26	-0,44489	0,47	-0,3142	-0,144	-1
21	-0,11	-0,1	-0,6	-0,42109	0,23	-0,0919	0,058	-1
22	-0,11	-0,8	0,02	-0,48136	-0,54	-0,0952	-0,162	1
23	0,33	-0,8	0,14	-0,49088	-0,08	0,3397	0,227	-1
24	1	-0,8	0,02	-0,48136	-0,13	0,9941	0,813	1
25	-0,11	-0,7	0,43	-0,51943	0,11	-0,1083	-0,147	-1
26	0,93	-0,4	-0,22	-0,44806	0,07	0,9449	0,915	1
27	-0,33	-0,6	0,36	-0,51308	0,44	-0,322	-0,309	-1
28	0,11	-0,6	0,13	-0,48929	-0,33	0,1131	0,079	-1
29	0,11	-0,7	-0,31	-0,44171	0,05	0,1393	0,094	-1
30	0,56	-0,7	-0,17	-0,45282	0,08	0,5795	0,492	-1
31	-1	-0,6	0,96	-0,91435	-0,67	-0,9975	-0,996	-1
32	-0,56	-0,6	0,72	-0,54005	-0,71	-0,5796	-0,562	1
33	0,11	-0,2	0,4	-0,51626	-0,14	0,1085	0,197	-1

Tablo 4.3. Devam

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oran (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu
34	0,56	-0,2	0,34	-0,5115	-0	0,5406	0,581	-1
35	-0,56	-0,5	0,06	-0,48454	0,83	-0,5321	-0,453	-1
36	-0,33	-0,5	-0,68	-0,41475	0,38	-0,3094	-0,249	-1
37	-0,11	-0,5	-0,48	-0,43061	0,33	-0,0877	-0,048	-1
38	0,11	-0,5	-0,52	-0,42902	0,22	0,134	0,154	-1
39	-0,33	-0,6	-0,74	-0,41158	-0,26	-0,2941	-0,26	-1
40	0,11	-0,6	-0,69	-0,41475	0,16	0,1513	0,147	-1
41	0,33	-0,6	-0,77	-0,40999	-0,78	0,3744	0,351	1
42	-0,33	-0,6	-0,07	-0,47502	0,24	-0,3116	-0,291	-1
43	0,11	-0,6	-0,3	-0,4433	0,24	0,1299	0,109	-1
44	0,56	-0,6	-0,36	-0,43695	0,12	0,5723	0,511	-1
45	-0,33	-0,4	-0,58	-0,42585	-0,21	-0,298	-0,204	-1
46	0,11	-0,4	-0,6	-0,41951	-0,06	0,1468	0,202	-1
47	0,56	-0,4	-0,65	-0,41792	-0,01	0,5917	0,608	1
48	-0,11	-0,7	-0,23	-0,44806	-0,09	-0,0837	-0,091	-1
49	0,11	-0,7	-0,72	-0,41316	0,11	0,1391	0,113	-1
50	-0,56	-0,6	0,43	-0,51943	-0,64	-0,5393	-0,503	1
51	-0,56	-0,8	0,35	-0,5115	-0,46	-0,5377	-0,563	1
52	-0,33	-0,8	-0,72	-0,41316	0,45	-0,3148	-0,36	-1
53	0,11	-0,8	-0,52	-0,42902	0,27	0,1286	0,044	-1
54	-0,33	-1	-0,85	-0,40682	0,44	-0,2928	-0,384	-1
55	0,11	-1	-0,56	-0,42744	0,27	0,1509	0,02	-1
56	-1	-0,7	-0,44	-0,40841	-0,64	-0,9626	-0,934	-1
57	-0,78	-0,7	-0,31	-0,44013	-0,03	-0,7411	-0,682	-1
58	-0,33	-0,7	0,59	-0,53529	-0,27	-0,3123	-0,305	-1
59	-0,7	-0,7	0,8	-0,54322	-0,45	-0,6867	-0,675	1
60	-0,26	-0,7	0,35	-0,5115	-0,07	-0,2547	-0,291	-1
61	-0,78	-0,7	-0,14	-0,4544	-0,34	-0,7458	-0,716	-1
62	-0,56	-0,7	-0,29	-0,4433	-0,25	-0,5251	-0,516	-1
63	-0,33	-0,7	-0,58	-0,42585	-0,19	-0,3031	-0,314	-1
64	0,33	-0,8	0,72	-0,54005	0,5	0,3128	0,167	-1
65	-0,78	-0,2	0,32	-0,50991	0,37	-0,7535	-0,566	-1
66	-0,56	-0,2	0,01	-0,48136	0,74	-0,5354	-0,37	-1
67	-0,33	-0,2	0,21	-0,5004	0,65	-0,3185	-0,177	-1
68	-0,11	-0,2	-0,35	-0,43854	0,34	-0,0975	0,023	-1
69	0,11	-0,2	0,18	-0,49564	0,41	0,1197	0,217	-1
70	0,56	-0,2	-0,12	-0,45599	0,18	0,5594	0,614	1
71	-0,33	-0,8	0,19	-0,49722	0,36	-0,3177	-0,365	-1
72	0,56	-0,8	-0,56	-0,42744	0,09	0,5697	0,443	-1
73	-0,33	-0,3	-0,84	-0,40841	-0,48	-0,2932	-0,17	1
74	-0,11	-0,3	-0,73	-0,41158	-0,41	-0,0703	0,033	1
75	0,56	-0,3	-0,61	-0,41951	-0,12	0,5969	0,642	1
76	-0,78	-0,6	-0,31	-0,44013	-0,68	-0,7439	-0,675	1
77	0,56	-0,6	-0,07	-0,47502	-0,37	0,5675	0,502	1

Tablo 4.3. Devam

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oran (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu
78	0,93	-0,6	-0,27	-0,44489	-0,33	0,9352	0,835	1
79	-1	-0,4	0,75	-0,54163	-0,34	-0,9718	-0,95	-1
80	0,56	-0,4	-0,12	-0,45599	-0,34	0,5633	0,558	1
81	1	-0,4	0,09	-0,48612	-0,24	0,9263	0,882	1
82	-0,33	-0,6	0,14	-0,49088	-0,32	-0,3159	-0,299	-1
83	-0,11	-0,6	-0,15	-0,45282	0,18	-0,0958	-0,1	-1
84	0,56	-0,6	-0,07	-0,47502	0,23	0,5598	0,489	-1
85	0,93	-0,6	-0,4	-0,34021	0,03	0,9396	0,843	1
86	-0,11	-0,6	0,06	-0,48454	-0,01	-0,0963	-0,1	-1
87	0,56	-0,6	-0,4	-0,34021	-0,02	0,5909	0,537	-1
88	0,93	-0,6	-0,19	-0,44964	0,09	0,9544	0,869	1
89	-0,78	-0,2	0,43	-0,51943	-0,24	-0,7548	-0,568	-1
90	-0,56	-0,2	0,18	-0,49564	0,29	-0,5377	-0,374	-1
91	-0,33	-0,2	-0,02	-0,47819	0,44	-0,3193	-0,179	-1
92	-0,11	-0,2	0,43	-0,51943	0,58	-0,1039	0,012	-1
93	-0,11	-0,3	-1	-0,39572	-0,56	-0,0657	0,054	1
94	0,11	-0,3	0,19	-0,49722	-0,3	0,1513	0,248	-1
95	0,56	-0,3	0,09	-0,48771	-0,29	0,5867	0,637	1
96	0,93	-0,3	-0,89	-0,40523	-0,47	0,959	0,978	1
97	-0,78	-0,4	-0,23	-0,44806	-0,3	-0,7449	-0,614	-1
98	-0,56	-0,4	-0,31	-0,44013	-0,3	-0,524	-0,413	-1
99	-0,33	-0,4	-0,52	-0,42902	-0,27	-0,3022	-0,212	-1
100	-0,11	-0,4	-0,52	-0,42902	-0,26	-0,0805	-0,01	-1
101	-0,33	-0,2	0,82	-0,54481	-0,38	-0,3308	-0,199	-1
102	-0,11	-0,2	0,59	-0,5337	-0,33	-0,1163	-0,01	-1
103	0,11	-0,2	0,64	-0,53846	0,08	0,0979	0,178	-1
104	0,56	-0,2	0,83	-0,54322	0,1	0,5257	0,554	-1
105	0,93	-0,2	0,74	-0,54163	0,11	0,8822	0,868	1
106	0,56	-0,3	0,89	-0,54639	0,05	0,5233	0,525	1
107	0,93	-0,3	0,92	-0,55115	0,2	0,8788	0,837	1
108	-0,11	-1	0,77	-0,54322	-0,22	-0,1165	-0,262	-1
109	-1	1	-0,07	-0,7954	-0,31	-0,9893	-0,981	-1
110	-0,78	1	0,18	-0,80492	-0,33	-0,7935	-0,636	-1
111	-0,56	1	-0,4	-0,8747	-0,71	-0,6024	-0,3	-1
112	-0,33	1	-0,44	-0,39572	-0,67	-0,3784	0,095	-1
113	-0,11	1	-0,6	-0,42109	-0,64	-0,156	0,317	1
114	0,11	1	-0,31	-0,44013	-0,7	0,1386	0,584	1
115	-0,78	-0,6	0,93	-0,54798	-0,5	-0,7587	-0,682	1
116	-0,33	-0,6	1	-0,55274	-0,35	-0,3323	-0,309	-1
117	-0,11	-0,6	0,95	-0,54798	0,07	-0,1188	-0,121	-1
118	0,11	-0,6	0,97	-0,54956	0,09	0,0947	0,066	-1
119	0,56	-0,6	0,93	-0,54798	0,1	0,5217	0,44	-1
120	0,11	-0,7	-0,62	-0,41951	-0,22	0,1485	0,114	-1
121	-0,78	-0,6	-0,11	-0,45757	-0,57	-0,7463	-0,679	1

Tablo 4.3. Devam

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oranı (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu
122	-0,56	-0,6	-0,02	-0,47819	-0,5	-0,5279	-0,483	1
123	0,56	-0,6	0,14	-0,49088	-0,1	0,5594	0,488	-1
124	1	-0,6	-0,19	-0,44964	0,04	1	0,886	1
125	-0,78	-0,7	-0,64	-0,41792	-0,36	-0,7408	-0,707	-1
126	-0,56	-0,7	-0,6	-0,42109	-0,06	-0,5185	-0,504	-1
127	-0,33	-0,7	-0,56	-0,42744	-0,06	-0,2967	-0,302	-1
128	-0,33	-0,5	0,92	-0,54639	-0,14	-0,3312	-0,282	-1
129	0,56	-0,5	1	-0,55432	0,26	0,5211	0,465	-1
130	0,93	-0,5	0,95	-0,54956	0,27	0,8768	0,776	1
131	-1	-0,6	0,76	-0,80967	-0,67	-0,9902	-0,983	-1
132	-0,11	-0,6	-0,27	-0,44489	-0,08	-0,1162	-0,136	-1
133	0,56	-0,6	-0,35	-0,43695	0,16	0,5474	0,467	-1
134	0,11	-0,8	0,05	-0,48454	0,46	0,1216	0,044	-1
135	0,11	-0,6	0,97	-0,54956	-0,16	0,0947	0,047	-1
136	0,56	-0,6	0,86	-0,54481	-0,14	0,5222	0,422	1
137	0,93	-0,6	0,93	-0,54798	0,28	0,8781	0,735	1
138	-1	-0,5	-0,1	-0,45757	-0,62	-0,9661	-0,94	-1
139	-0,78	-0,5	0,13	-0,48929	-0,6	-0,7473	-0,643	-1
140	0,93	-0,5	0,01	-0,48136	-0,6	0,925	0,855	1
141	-1	-0,6	-0,29	-0,4433	-0,6	-0,965	-0,938	-1
142	-0,78	-0,6	-0,59	-0,42268	-0,6	-0,7433	-0,673	1
143	-0,56	-0,6	0,81	-0,54322	-0,36	-0,5295	-0,486	-1
144	-0,33	-0,6	-0,56	-0,42744	-0,44	-0,3076	-0,284	1
145	0,93	-0,6	0,58	-0,52895	-0,19	0,9097	0,79	1
146	-0,78	-0,6	0,96	-0,54956	-0,26	-0,7589	-0,701	-1
147	-0,56	-0,6	0,88	-0,54481	-0,1	-0,5452	-0,514	-1
148	-0,78	-0,8	0,76	-0,54322	-0,26	-0,7581	-0,775	-1
149	-0,78	-0,8	0,59	-0,53529	-0,21	-0,757	-0,773	-1
150	0,93	-0,6	0,18	-0,49564	0,2	0,9132	0,809	1
151	-0,78	-0,3	-0,72	-0,41316	0,2	-0,7401	-0,58	-1
152	-0,56	-0,7	-0,64	-0,41792	-0,47	-0,5183	-0,479	1
153	-0,33	-0,7	-0,6	-0,42109	-0,28	-0,296	-0,276	-1
154	-0,33	-0,5	0,6	-0,53688	0,04	-0,3286	-0,283	-1
155	-0,11	-0,5	0,8	-0,54322	0,06	-0,1148	-0,095	-1
156	0,11	-0,5	0,41	-0,51626	0,14	0,1009	0,096	-1
157	0,56	-0,5	0,62	-0,53846	0,15	0,5293	0,473	-1
158	0,93	-0,5	0,73	-0,54005	0,21	0,8861	0,786	1
159	-0,78	-0,5	-0,59	-0,42268	-0,46	-0,7414	-0,633	1
160	-0,56	-0,5	-0,19	-0,45123	-0,19	-0,5213	-0,434	-1
161	-0,78	-0,7	0,59	-0,53529	-0,52	-0,757	-0,736	1
162	-0,11	-0,2	-0,23	-0,44806	-0,11	-0,0837	0,047	-1
163	-0,78	-0,7	0,47	-0,5226	-0,14	-0,7552	-0,732	-1
164	0,56	-0,7	-0,56	-0,42744	-0,25	0,5758	0,479	-1
165	0,93	-0,7	-0,56	-0,42744	-0,01	0,9455	0,815	1

Tablo 4.3. Devam

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oran (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu
166	-0,78	-0,7	0,76	-0,54322	-0,06	-0,7581	-0,716	-1
167	-0,56	-0,7	-0,19	-0,44964	-0,04	-0,5378	-0,517	-1
168	-0,33	-0,7	-0,25	-0,44647	-0,02	-0,3172	-0,317	-1
169	-0,11	-0,7	-0,11	-0,13878	0,48	-0,0755	-0,08	-1
170	0,11	-0,7	-0,08	-0,45916	0,38	0,1441	0,118	-1
171	0,56	-0,7	-0,02	-0,47978	0,24	0,5806	0,509	-1
172	0,93	-0,7	-0,25	-0,44647	0,08	0,9481	0,842	1
173	-0,33	-0,8	0,3	-0,50833	0,14	-0,3207	-0,37	-1
174	-0,11	-0,8	-0,23	-0,44806	0,04	-0,1003	-0,171	-1
175	0,56	-0,8	0,22	-0,50198	0,13	0,5498	0,408	-1
176	0,93	-0,8	0,06	-0,48454	0,19	0,9129	0,733	1
177	-0,11	-0,9	-0,56	-0,42744	0,36	-0,0766	-0,154	-1
178	0,11	-0,9	-0,93	-0,40206	0,17	0,147	0,051	-1
179	0,33	-0,9	-0,97	-0,39889	0,08	0,3708	0,256	-1
180	0,56	-0,9	-0,97	-0,39889	0,01	0,5946	0,462	-1
181	0,56	-0,6	-0,59	-0,42268	-0,23	0,5915	0,557	-1
182	-0,33	-0,2	-0,27	-0,44489	0,11	-0,3032	-0,15	-1
183	-1	-0,2	-0,11	-0,81602	-0,52	-0,9907	-0,984	-1
184	-0,78	-0,2	-0,64	-0,39572	-0,68	-0,7667	-0,589	-1
185	-0,56	-0,2	-0,23	-0,44806	-0,33	-0,5461	-0,381	-1
186	-0,33	-0,2	0,18	-0,49564	-0,68	-0,329	-0,187	1
187	0,93	-0,2	-0,35	-0,43695	-0,54	0,9244	0,951	1
188	0,19	-0,4	0,96	-0,54956	-0,11	0,1659	0,19	-1
189	0,93	-0,4	-0,31	-0,44013	0,06	0,9025	0,858	1
190	0,93	-0,6	-0,15	-0,45282	0,1	0,9417	0,855	1
191	-0,11	-0,7	0,22	-0,50198	-0,58	-0,1023	-0,148	1
192	0,19	-0,7	0,1	-0,48771	-0,55	0,1879	0,112	1
193	0,56	-0,7	-0,07	-0,47502	-0,49	0,5522	0,439	1
194	0,56	-0,6	-0,07	-0,47502	-0,4	0,5627	0,508	1
195	0,93	-0,6	-0,52	-0,42902	-0,59	0,9322	0,844	1
196	-0,56	-0,5	-0,72	-0,41316	0,5	-0,5173	-0,427	-1
197	-0,33	-0,5	-0,48	-0,43061	0,44	-0,2957	-0,225	-1
198	-0,11	-0,5	-0,89	-0,40523	0,2	-0,0723	-0,021	-1
199	0,11	-0,5	-0,89	-0,40523	0,11	0,1511	0,184	-1
200	0,33	-0,5	-0,81	-0,40841	0,04	0,3741	0,388	-1
201	0,56	-0,5	-0,81	-0,40841	-0,03	0,5973	0,592	-1
202	-0,78	-0,5	-0,15	-0,45282	-0,67	-0,7456	-0,627	1
203	-0,56	-0,5	-0,15	-0,45282	-0,68	-0,5255	-0,429	1
204	0,56	-0,5	0,3	-0,50833	-0,63	0,5557	0,532	1
205	-1	1	-0,07	-0,79223	-0,31	-0,9891	-0,981	-1
206	-0,78	1	0,18	-0,81126	-0,33	-0,7937	-0,637	-1
207	-0,56	1	-0,4	-0,85726	-0,71	-0,6015	-0,298	-1
208	-0,33	1	-0,44	-0,39572	-0,67	-0,3774	0,097	-1
209	-0,11	1	-0,6	-0,42109	-0,64	-0,155	0,318	1

Tablo 4.3. Devam

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oran (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu
210	0,19	1	-0,31	-0,44013	-0,7	0,1396	0,586	1
211	-0,56	-0,6	0,97	-0,54956	-0,51	-0,5456	-0,52	1
212	-0,33	-0,6	0,84	-0,54322	-0,34	-0,3317	-0,333	-1
213	0,56	-0,6	0,83	-0,54322	-0,06	0,5238	0,419	1
214	0,93	-0,6	0,85	-0,54481	0,02	0,88	0,732	-1
215	0,56	-0,6	0,41	-0,51784	-0,01	0,5391	0,452	-1
216	-1	-0,6	0,61	-0,52102	-0,56	-0,9704	-0,948	-1
217	-0,78	-0,6	0,69	-0,54005	-0,72	-0,7559	-0,696	1
218	-0,56	-0,6	0,62	-0,53846	-0,27	-0,5417	-0,507	-1
219	0,56	-0,6	0,56	-0,52736	0,1	0,5331	0,442	-1
220	-0,33	-0,8	-0,59	-0,42427	-0,31	-0,2976	-0,323	-1
221	-1	-0,6	-0,07	-0,88263	-0,51	-0,9953	-0,992	-1
222	-0,78	-0,6	0,1	-0,48771	-0,51	-0,7867	-0,75	1
223	-0,56	-0,6	0,02	-0,48136	0,31	-0,5686	-0,555	-1
224	-0,33	-0,6	0,14	-0,49088	0,34	-0,3511	-0,361	-1
225	-0,11	-0,6	0,14	-0,49088	0,42	-0,1336	-0,166	-1
226	0,56	-0,6	0,18	-0,49564	0,33	0,5177	0,415	-1
227	-1	-0,6	0,14	-0,82078	-0,48	-0,991	-0,984	-1
228	-0,78	-0,6	0,1	-0,48771	-0,47	-0,781	-0,74	1
229	-0,56	-0,6	0,1	-0,48771	0,41	-0,5633	-0,545	-1
230	-0,33	-0,6	0,14	-0,49088	0,41	-0,3459	-0,351	-1
231	-0,11	-0,6	0,1	-0,48771	0,5	-0,1282	-0,157	-1
232	0,56	-0,6	0,1	-0,48771	0,3	0,5249	0,427	-1
233	-1	-0,3	0,83	-0,58921	-0,67	-0,9751	-0,956	-1
234	-0,33	-0,3	0,89	-0,54163	-0,54	-0,3365	-0,247	1
235	0,93	-0,3	0,55	-0,52577	-0,3	0,8821	0,83	1
236	-0,78	-0,8	0,3	-0,50674	-0,48	-0,753	-0,76	1
237	-0,33	-0,8	0,27	-0,50515	-0,38	-0,3201	-0,375	1
238	-0,78	-0,6	0,93	-0,54798	-0,58	-0,7587	-0,701	1
239	-0,33	-0,6	0,9	-0,54639	-0,3	-0,3314	-0,326	-1
240	0,11	-0,6	0,81	-0,54322	-0,47	0,0963	0,05	1
241	-1	-0,7	0,89	-0,54639	-0,72	-0,9721	-0,951	-1
242	-0,78	-0,7	0,83	-0,54481	-0,57	-0,7584	-0,726	1
243	-0,33	-0,7	0,84	-0,54481	0,19	-0,3309	-0,35	-1
244	-0,11	-0,7	0,83	-0,54322	0,05	-0,117	-0,162	-1
245	0,11	-0,7	0,78	-0,54322	-0,15	0,0968	0,026	-1
246	0,93	-0,7	0,78	-0,54322	-0,13	0,881	0,714	1
247	-0,78	-0,3	-0,03	-0,47819	-0,67	-0,7491	-0,569	1
248	-0,33	-0,3	0,17	-0,49405	-0,25	-0,3146	-0,194	-1
249	-0,33	-0,6	-0,93	-0,40206	-0,07	-0,2914	-0,255	-1
250	-0,11	-0,6	-0,97	-0,39889	-0,05	-0,0676	-0,05	-1
251	0,11	-0,6	-0,89	-0,40523	0,02	0,1557	0,154	-1
252	-0,78	-0,4	0,88	-0,54639	-0,69	-0,7585	-0,625	1
253	-0,11	-0,4	0,66	-0,54005	-0,12	-0,1163	-0,06	-1

Tablo 4.3. Devam

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oranı (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu
254	-0,56	-0,2	0,03	-0,48295	-0,6	-0,5317	-0,349	1
255	-0,33	-0,2	-0,85	-0,40682	-0,54	-0,3085	-0,144	1
256	-0,78	-0,6	-0,07	-0,47502	-0,48	-0,7487	-0,683	-1
257	-0,56	-0,6	-0,15	-0,45282	0,16	-0,4552	-0,418	-1
258	-0,11	-0,6	-0,02	-0,47819	0,15	-0,1641	-0,157	-1
259	0,11	-0,6	-0,85	-0,40682	-0,07	0,1336	0,115	-1
260	0,56	-0,6	-0,81	-0,40841	-0,04	0,7286	0,66	-1
261	-0,33	-0,3	0,98	-0,55115	-0,33	-0,3325	-0,24	-1
262	0,93	-0,3	0,94	-0,54798	-0,05	0,8775	0,822	1
263	-1	-0,4	0,35	-0,79223	-0,29	-0,9891	-0,981	-1
264	-0,56	-0,7	0,82	-0,54481	-0,51	-0,5445	-0,525	1
265	0,93	-0,7	0,73	-0,54163	-0,18	0,8819	0,729	1
266	-1	-0,6	-0,07	-0,85726	-0,46	-0,9936	-0,989	-1
267	-0,78	-0,6	-0,11	-0,45757	-0,67	-0,783	-0,744	1
268	-0,56	-0,6	0,35	-0,51115	0,23	-0,4949	-0,488	-1
269	-1	-0,6	0,47	-0,5226	-0,4	-0,9705	-0,948	-1
270	-0,78	-0,6	0,1	-0,48771	-0,4	-0,7536	-0,692	-1
271	0,11	-0,6	-0,77	-0,40999	0,14	0,1524	0,142	-1
272	0,56	-0,6	-0,86	-0,40682	-0,02	0,599	0,551	-1
273	0,56	-0,5	0,87	-0,54481	-0,2	0,5242	0,451	1
274	0,93	-0,5	0,96	-0,54956	-0,09	0,8799	0,763	1
275	-0,11	-1	0,63	-0,53846	0,14	-0,1149	-0,259	-1
276	0,56	-1	0,06	-0,48454	0,2	0,5388	0,326	-1
277	0,93	-1	0,3	-0,50833	0,24	0,9714	0,71	1
278	-0,11	-1	0,18	-0,49564	0,07	-0,1001	-0,233	-1
279	0,56	-1	0,35	-0,51115	0,1	0,548	0,342	-1
280	0,93	-1	0,26	-0,50357	0,14	0,9812	0,727	1
281	-0,78	-0,9	0,92	-0,54639	-0,3	-0,7585	-0,799	-1
282	0,11	-0,9	-0,83	-0,40841	-0,16	0,1341	0,022	-1
283	0,56	-0,9	-0,87	-0,40682	-0,17	0,5813	0,431	-1
284	-0,78	-0,7	-0,02	-0,47819	-0,37	-0,7491	-0,709	-1
285	0,56	-0,7	-0,11	-0,45757	-0,27	0,5694	0,48	1
286	-1	0,2	-0,93	-0,87787	-0,03	-0,995	-0,991	-1
287	-0,78	0,2	-0,89	-0,84933	0,02	-0,8022	-0,652	-1
288	-0,56	0,2	-0,89	-0,39572	0,17	-0,599	-0,357	-1
289	-0,33	0,2	-0,93	-0,40206	0,13	-0,3754	-0,152	-1
290	-0,11	0,2	-0,89	-0,40523	0,17	-0,1521	0,053	-1
291	-1	-0,6	0,76	-0,54322	-0,56	-0,9719	-0,95	-1
292	-0,78	-0,6	0,71	-0,54005	-0,58	-0,7579	-0,699	1
293	-0,56	-0,6	0,45	-0,52102	-0,51	-0,5425	-0,509	1
294	-0,33	-0,6	0,45	-0,52102	-0,49	-0,3271	-0,318	1
295	0,11	-0,6	0,4	-0,51626	-0,31	0,1043	0,064	-1
296	0,56	-0,6	0,98	-0,55115	-0,14	0,5309	0,438	1
297	0,93	-0,6	0,29	-0,50674	0,12	0,8915	0,758	1

Tablo 4.3. Devam

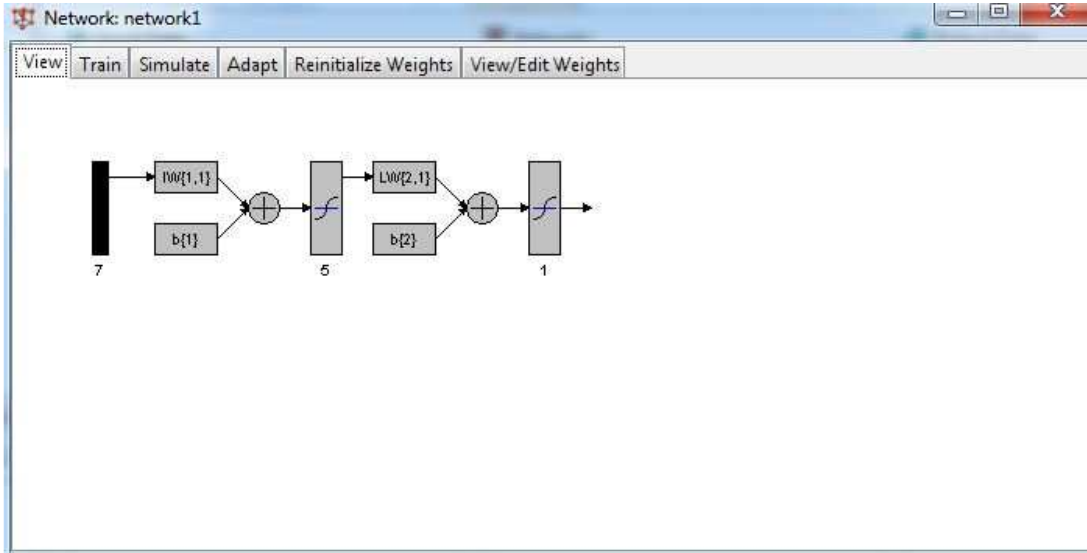
Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oran (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu
298	-1	-0,6	0,18	-0,88898	-0,64	-0,9958	-0,993	-1
299	-0,78	-0,6	0,1	-0,48771	-0,19	-0,7873	-0,751	-1
300	-0,48	-0,6	0,22	-0,50198	-0,15	-0,4983	-0,494	-1
301	-0,19	-0,6	-0,72	-0,41316	-0,21	-0,2013	-0,223	1
302	0,11	-0,6	-0,64	-0,41792	-0,23	0,0954	0,048	-1
303	0,7	-0,6	-0,68	-0,41475	-0,38	0,6893	0,591	1
304	0,11	-0,4	-0,4	-0,43537	-0,22	0,142	0,186	-1
305	0,56	-0,4	-0,46	-0,4322	-0,38	0,585	0,588	1
306	-0,78	-0,2	0,43	-0,51943	0,35	-0,7548	-0,568	-1
307	-0,48	-0,2	0,35	-0,5115	0,23	-0,4667	-0,312	-1
308	-0,19	-0,2	0,39	-0,51467	0,07	-0,179	-0,057	-1
309	-1	-0,7	-0,02	-0,47819	0,11	-0,9674	-0,943	-1
310	-0,78	-0,7	-0,15	-0,45282	0,45	-0,7477	-0,707	-1
311	-0,56	-0,7	-0,07	-0,47502	0,48	-0,5292	-0,511	-1
312	-0,33	-0,7	0,02	-0,48136	0,52	-0,311	-0,315	-1
313	-0,11	-0,7	-0,11	-0,45757	-0,44	-0,0912	-0,117	1
314	-0,78	-0,7	0,87	-0,54481	-0,44	-0,7583	-0,713	1
315	-0,56	-0,7	0,76	-0,54322	-0,38	-0,5444	-0,525	1
316	-0,33	-0,7	0,92	-0,54639	-0,41	-0,3308	-0,337	1
317	0,11	-0,7	0,95	-0,54956	-0,18	0,0961	0,037	-1
318	1	-0,7	0,89	-0,54639	-0,16	0,8794	0,724	1
319	0,11	-0,6	-0,89	-0,40523	-0,48	0,1544	0,152	1
320	0,56	-0,6	-0,93	-0,40206	-0,36	0,6016	0,562	1
321	0,93	-0,6	-0,97	-0,39889	-0,26	0,9746	0,905	1
322	-1	-0,7	-0,31	-0,82395	-0,85	-0,9913	-0,985	-1
323	-0,78	-0,7	-0,44	-0,43378	-0,81	-0,7749	-0,757	1
324	-0,56	-0,7	-0,23	-0,44806	-0,74	-0,5544	-0,558	1
325	0,93	-0,7	-0,11	-0,45757	-0,44	0,9106	0,764	1
326	-1	-0,4	0,86	-0,54481	-0,67	-0,972	-0,951	-1
327	-0,78	-0,4	0,8	-0,54322	-0,69	-0,7582	-0,645	1
328	-0,33	-0,4	0,73	-0,54005	-0,21	-0,3301	-0,268	-1
329	-0,11	-0,4	0,6	-0,53688	0,09	-0,1158	-0,08	-1
330	0,11	-0,4	0,27	-0,50515	0,16	0,1007	0,113	-1
331	0,93	-0,4	0,92	-0,54639	0,26	0,884	0,8	1
332	0,56	-0,6	0,51	-0,52419	-0,06	0,5356	0,446	-1
333	1	-0,6	0,51	-0,52419	-0,07	0,9659	0,826	1
334	-0,78	-0,7	0,39	-0,51467	-0,16	-0,7541	-0,705	-1
335	-0,56	-0,7	-0,06	-0,47661	-0,61	-0,5356	-0,509	1
336	-0,78	-0,5	0,85	-0,54481	-0,64	-0,7583	-0,675	1
337	-0,56	-0,5	0,65	-0,54005	-0,48	-0,5442	-0,487	1
338	0,11	-0,5	0,95	-0,54956	-0,13	0,0961	0,075	-1
339	0,93	-0,5	0,59	-0,53529	-0,19	0,8822	0,767	1
340	-0,11	-0,6	0,84	-0,54481	0,04	-0,117	-0,137	-1
341	0,56	-0,6	-0,77	-0,40999	-0,55	0,5985	0,569	1

Tablo 4.3. Devam

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oranı (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu
342	0,93	-0,6	-0,85	-0,40682	-0,48	0,9706	0,91	1
343	-1	-0,3	0,88	-0,95083	-0,67	-1	-1	-1
344	-0,78	-0,3	0,8	-0,45916	-0,27	-0,8097	-0,69	-1
345	0,93	-0,3	-0,72	-0,41316	-0,08	0,8985	0,871	1
346	0,93	-0,4	-0,56	-0,42744	-0,55	0,9586	0,939	1
347	0,93	-0,6	-0,32	-0,44013	-0,14	0,9502	0,861	1
348	-0,33	-0,4	-0,42	-0,43378	-0,49	-0,3002	-0,208	1
349	0,11	-0,4	-0,34	-0,43854	-0,03	0,142	0,193	-1
350	0,56	-0,4	-0,44	-0,43378	0,09	0,5847	0,596	-1
351	0,93	-0,4	-0,48	-0,43061	-0,02	0,9541	0,931	1
352	0,11	-1	-0,15	-0,45282	-0,56	0,1347	-0,008	1
353	0,7	-1	-0,23	-0,44806	-0,45	0,7225	0,523	1
354	-1	-0,9	-0,64	-0,39572	-0,74	-0,9618	-0,97	1
355	-0,78	-0,9	-0,6	-0,42109	-0,68	-0,7395	-0,768	1
356	-0,56	-0,9	-0,77	-0,40999	-0,57	-0,5164	-0,564	1
357	-0,33	-0,9	-0,64	-0,41792	-0,41	-0,2939	-0,361	1
358	0,11	-0,6	0,76	1	-1	0,0974	0,052	1
359	-0,78	-0,6	-0,93	-0,40206	-0,76	-0,7386	-0,653	1
360	-0,56	-0,6	-0,96	-0,40048	-0,71	-0,515	-0,448	1
361	-0,33	-0,6	-0,93	-0,40365	-0,67	-0,2914	-0,243	1
362	0,11	-0,6	-0,93	-0,40206	-0,46	0,1557	0,167	1
363	0,56	-0,6	-0,93	-0,40206	-0,58	0,6029	0,577	1
364	0,93	-0,6	-0,91	-0,40365	-0,48	0,9753	0,918	1
365	-1	-0,5	0,96	-0,92228	-0,28	-0,998	-0,997	-1
366	-0,78	-0,5	0,93	-0,54798	-0,09	-0,7965	-0,742	-1
367	-0,56	-0,5	0,88	-0,54481	0,04	-0,5828	-0,555	-1
368	-1	-0,6	0,96	-0,90008	-0,23	-0,9965	-0,994	-1
369	-0,78	-0,6	0,88	-0,54481	0,01	-0,7925	-0,748	-1
370	-0,56	-0,6	0,92	-0,54639	0,09	-0,5789	-0,56	-1
371	-0,33	-0,5	-0,72	-0,41316	-0,39	-0,2945	-0,236	1
372	0,11	-0,5	-0,77	-0,40999	0,13	0,1516	0,172	-1
373	0,56	-0,5	-0,68	-0,41475	0,01	0,597	0,579	-1
374	0,93	-0,5	-0,52	-0,42902	-0,03	0,9665	0,915	1
375	-0,78	-0,7	0,8	-0,54322	-0,43	-0,7581	-0,725	1
376	0,11	0,1	0,53	-1	-0,65	0,1052	0,286	1
377	-0,11	-0,2	0,23	-0,50198	0,16	-0,1023	0,021	-1
378	-0,56	-0,3	0,74	-0,54163	0,7	-0,5439	-0,423	-1
379	-0,33	-0,3	0,59	-0,53053	0,75	-0,3292	-0,234	-1
380	-0,11	-0,3	0,34	-0,5115	0,6	-0,1131	-0,042	-1
381	0,11	-0,3	0,19	-0,49881	0,45	0,1039	0,151	-1
382	-0,56	-0,3	0,59	-0,5337	0,46	-0,5422	-0,42	-1
383	-0,33	-0,3	0,19	-0,49881	0,68	-0,3253	-0,227	-1
384	-0,11	-0,3	0,11	-0,48771	0,52	-0,1076	-0,032	-1
385	0,11	-0,3	-0,08	-0,45916	0,36	0,112	0,166	-1

Normalizasyon işleminden sonra girdi ve çıktı parametreleri belirlenerek derinlik, yer altı su seviyesi, ince tane oranı, birim hacim ağırlık, toplam gerilme, efektif gerilme ve SPT $(N1)_{60}$ değerlerinden oluşan 7 girdili ve sınıflama durumunu (var-yok) gösteren tek çıktılı, 5 düğümlü bir ağ modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin şematik gösterimi Şekil 4.3' te verilmiştir.

YSA' da ağdaki gizli katman sayısını belirlemek için önerilen bir kural yoktur. En iyi sonuçlar deneme yanılma yöntemi ile bulunur. Başlangıçta rastgele seçilen ağırlıklar değiştirilerek en iyi sonuca ulaşılmaya çalışılır. Çalışmada en iyi sonuçları veren 5 düğümlü bir ağ modelini elde edebilmek için yaklaşık olarak 30.000 iterasyon yapılmıştır.



Şekil 4.3. Çalışmada Oluşturulan Ağ Modelinin Şematik Gösterimi

Çalışmada sunulan ağ modeli oluşturulurken ileri beslemeli geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Geri yayılım uygulamasında temel olarak iki veri seti kullanılır. Bunlardan ilki ağın öğrenme işleminde yani eğitim fazında kullanılmaktadır. Diğer veri seti ise eğitim işleminin başarısını ortaya koymak için test fazında kullanılmaktadır.

Çalışmanın veri tabanını oluşturan ve Tablo 4.3' te verilen toplam 385 adet veriden 285 adeti eğitim fazında, 100 adeti (sarı renkle belirtilenler) ise test fazında kullanılmıştır.

Test fazında kullanılmak üzere ayrılan 100 adet veri eğitim fazı tamamlanan ağa girdi verisi olarak sunulmuş ve ağın çıkışı ile arasındaki uyum incelenmiştir. Test verilerinin oluşturulan ağ modeline verdiği çıkışlar Tablo 4.4' te görülmektedir.

Tablo 4.4. Oluşturulan YSA Modeline Ait Çıkış Verileri

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oran (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu	YSA Çıkışı
286	-1,00	0,17	-0,93	-0,88	-0,03	-0,99	-0,99	-1	-1
287	-0,78	0,17	-0,89	-0,85	0,02	-0,80	-0,65	-1	-1
288	-0,56	0,17	-0,89	-0,40	0,17	-0,60	-0,36	-1	-0,99987
289	-0,33	0,17	-0,93	-0,40	0,13	-0,38	-0,15	-1	-0,99998
290	-0,11	0,17	-0,89	-0,41	0,17	-0,15	0,05	-1	-1
291	-1,00	-0,61	0,76	-0,54	-0,56	-0,97	-0,95	-1	-0,76728
292	-0,78	-0,61	0,71	-0,54	-0,58	-0,76	-0,70	1	0,74743
293	-0,56	-0,61	0,45	-0,52	-0,51	-0,54	-0,51	1	0,94054
294	-0,33	-0,61	0,45	-0,52	-0,49	-0,33	-0,32	1	0,92275
295	0,11	-0,61	0,40	-0,52	-0,31	0,10	0,06	-1	-0,25391
296	0,56	-0,61	0,98	-0,55	-0,14	0,53	0,44	1	0,64916
297	0,93	-0,61	0,29	-0,51	0,12	0,89	0,76	1	0,99787
298	-1,00	-0,61	0,18	-0,89	-0,64	-1,00	-0,99	-1	-0,99111
299	-0,78	-0,61	0,10	-0,49	-0,19	-0,79	-0,75	-1	-0,9786
300	-0,48	-0,61	0,22	-0,50	-0,15	-0,50	-0,49	-1	-0,99721
301	-0,19	-0,61	-0,72	-0,41	-0,21	-0,20	-0,22	1	-0,99373
302	0,11	-0,61	-0,64	-0,42	-0,23	0,10	0,05	-1	-0,97737
303	0,70	-0,61	-0,68	-0,41	-0,38	0,69	0,59	1	0,5272
304	0,11	-0,44	-0,40	-0,44	-0,22	0,14	0,19	-1	-0,91451
305	0,56	-0,44	-0,46	-0,43	-0,38	0,58	0,59	1	0,87085
306	-0,78	-0,22	0,43	-0,52	0,35	-0,75	-0,57	-1	-0,99991
307	-0,48	-0,22	0,35	-0,51	0,23	-0,47	-0,31	-1	-0,99999
308	-0,19	-0,22	0,39	-0,51	0,07	-0,18	-0,06	-1	-0,99997
309	-1,00	-0,69	-0,02	-0,48	0,11	-0,97	-0,94	-1	-0,99978
310	-0,78	-0,69	-0,15	-0,45	0,45	-0,75	-0,71	-1	-1
311	-0,56	-0,69	-0,07	-0,48	0,48	-0,53	-0,51	-1	-1
312	-0,33	-0,69	0,02	-0,48	0,52	-0,31	-0,32	-1	-1
313	-0,11	-0,69	-0,11	-0,46	-0,44	-0,09	-0,12	1	0,72063
314	-0,78	-0,65	0,87	-0,54	-0,44	-0,76	-0,71	1	0,055238
315	-0,56	-0,65	0,76	-0,54	-0,38	-0,54	-0,52	1	-0,09904
316	-0,33	-0,65	0,92	-0,55	-0,41	-0,33	-0,34	1	-0,18249
317	0,11	-0,65	0,95	-0,55	-0,18	0,10	0,04	-1	-0,8903
318	1,00	-0,65	0,89	-0,55	-0,16	0,88	0,72	1	0,9998
319	0,11	-0,61	-0,89	-0,41	-0,48	0,15	0,15	1	-0,23196
320	0,56	-0,61	-0,93	-0,40	-0,36	0,60	0,56	1	-0,54679
321	0,93	-0,61	-0,97	-0,40	-0,26	0,97	0,90	1	0,99454

Tablo 4.4. Devam

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oranı (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu	YSA Çıkışı
322	-1,00	-0,70	-0,31	-0,82	-0,85	-0,99	-0,98	-1	-0,21985
323	-0,78	-0,70	-0,44	-0,43	-0,81	-0,77	-0,76	1	0,99462
324	-0,56	-0,70	-0,23	-0,45	-0,74	-0,55	-0,56	1	0,99968
325	0,93	-0,70	-0,11	-0,46	-0,44	0,91	0,76	1	0,99664
326	-1,00	-0,44	0,86	-0,54	-0,67	-0,97	-0,95	-1	-0,88308
327	-0,78	-0,44	0,80	-0,54	-0,69	-0,76	-0,64	1	0,71293
328	-0,33	-0,44	0,73	-0,54	-0,21	-0,33	-0,27	-1	-0,99465
329	-0,11	-0,44	0,60	-0,54	0,09	-0,12	-0,08	-1	-0,99997
330	0,11	-0,44	0,27	-0,51	0,16	0,10	0,11	-1	-0,99998
331	0,93	-0,44	0,92	-0,55	0,26	0,88	0,80	1	0,99935
332	0,56	-0,61	0,51	-0,52	-0,06	0,54	0,45	-1	0,14004
333	1,00	-0,61	0,51	-0,52	-0,07	0,97	0,83	1	0,99991
334	-0,78	-0,65	0,39	-0,51	-0,16	-0,75	-0,71	-1	-0,96723
335	-0,56	-0,65	-0,06	-0,48	-0,61	-0,54	-0,51	1	0,997
336	-0,78	-0,53	0,85	-0,54	-0,64	-0,76	-0,67	1	0,74238
337	-0,56	-0,53	0,65	-0,54	-0,48	-0,54	-0,49	1	0,70048
338	0,11	-0,53	0,95	-0,55	-0,13	0,10	0,07	-1	-0,97903
339	0,93	-0,53	0,59	-0,54	-0,19	0,88	0,77	1	0,99989
340	-0,11	-0,61	0,84	-0,54	0,04	-0,12	-0,14	-1	-0,99991
341	0,56	-0,57	-0,77	-0,41	-0,55	0,60	0,57	1	0,4647
342	0,93	-0,57	-0,85	-0,41	-0,48	0,97	0,91	1	0,99886
343	-1,00	-0,30	0,88	-0,95	-0,67	-1,00	-1,00	-1	-0,9951
344	-0,78	-0,30	0,80	-0,46	-0,27	-0,81	-0,69	-1	-0,68887
345	0,93	-0,30	-0,72	-0,41	-0,08	0,90	0,87	1	0,99948
346	0,93	-0,42	-0,56	-0,43	-0,55	0,96	0,94	1	0,99996
347	0,93	-0,61	-0,32	-0,44	-0,14	0,95	0,86	1	0,99868
348	-0,33	-0,42	-0,42	-0,43	-0,49	-0,30	-0,21	1	0,98014
349	0,11	-0,42	-0,34	-0,44	-0,03	0,14	0,19	-1	-0,99919
350	0,56	-0,42	-0,44	-0,43	0,09	0,58	0,60	-1	-0,09456
351	0,93	-0,42	-0,48	-0,43	-0,02	0,95	0,93	1	0,99946
352	0,11	-1,00	-0,15	-0,45	-0,56	0,13	-0,01	1	0,32708
353	0,70	-1,00	-0,23	-0,45	-0,45	0,72	0,52	1	-0,43886
354	-1,00	-0,92	-0,64	-0,40	-0,74	-0,96	-0,97	1	0,69791
355	-0,78	-0,92	-0,60	-0,42	-0,68	-0,74	-0,77	1	0,98668
356	-0,56	-0,92	-0,77	-0,41	-0,57	-0,52	-0,56	1	0,98518
357	-0,33	-0,92	-0,64	-0,42	-0,41	-0,29	-0,36	1	0,47828
358	0,11	-0,61	0,76	1,00	-1,00	0,10	0,05	1	1
359	-0,78	-0,57	-0,93	-0,40	-0,76	-0,74	-0,65	1	0,95978
360	-0,56	-0,57	-0,96	-0,40	-0,71	-0,51	-0,45	1	0,99781
361	-0,33	-0,57	-0,93	-0,40	-0,67	-0,29	-0,24	1	0,99916
362	0,11	-0,57	-0,93	-0,40	-0,46	0,16	0,17	1	-0,33543
363	0,56	-0,57	-0,93	-0,40	-0,58	0,60	0,58	1	0,27457
364	0,93	-0,57	-0,91	-0,40	-0,48	0,98	0,92	1	0,99866
365	-1,00	-0,53	0,96	-0,92	-0,28	-1,00	-1,00	-1	-0,99981
366	-0,78	-0,53	0,93	-0,55	-0,09	-0,80	-0,74	-1	-0,96466
367	-0,56	-0,53	0,88	-0,54	0,04	-0,58	-0,55	-1	-0,99971
368	-1,00	-0,57	0,96	-0,90	-0,23	-1,00	-0,99	-1	-0,99987
369	-0,78	-0,57	0,88	-0,54	0,01	-0,79	-0,75	-1	-0,99218
370	-0,56	-0,57	0,92	-0,55	0,09	-0,58	-0,56	-1	-0,99989

Tablo 4.4. Devam

Veri Seti No	Derinlik (Metre)	YASS (Metre)	İnce Tane Oran (%)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	SPT (N1)60	Toplam Gerilme (kPa)	Efektif Gerilme (kPa)	Sıvılaşma Durumu	YSA Çıkışı
371	-0,33	-0,53	-0,72	-0,41	-0,39	-0,29	-0,24	1	0,55321
372	0,11	-0,53	-0,77	-0,41	0,13	0,15	0,17	-1	-0,99998
373	0,56	-0,53	-0,68	-0,41	0,01	0,60	0,58	-1	-0,5354
374	0,93	-0,53	-0,52	-0,43	-0,03	0,97	0,92	1	0,99848
375	-0,78	-0,69	0,80	-0,54	-0,43	-0,76	-0,72	1	0,10721
376	0,11	0,07	0,53	-1,00	-0,65	0,11	0,29	1	0,1916
377	-0,11	-0,20	0,23	-0,50	0,16	-0,10	0,02	-1	-0,99999
378	-0,56	-0,34	0,74	-0,54	0,70	-0,54	-0,42	-1	-1
379	-0,33	-0,34	0,59	-0,53	0,75	-0,33	-0,23	-1	-1
380	-0,11	-0,34	0,34	-0,51	0,60	-0,11	-0,04	-1	-1
381	0,11	-0,34	0,19	-0,50	0,45	0,10	0,15	-1	-1
382	-0,56	-0,34	0,59	-0,53	0,46	-0,54	-0,42	-1	-1
383	-0,33	-0,34	0,19	-0,50	0,68	-0,33	-0,23	-1	-1
384	-0,11	-0,34	0,11	-0,49	0,52	-0,11	-0,03	-1	-1
385	0,11	-0,34	-0,08	-0,46	0,36	0,11	0,17	-1	-1

Tablo 4.4' te verilen son sütun test verilerinin oluşturulan modele verdiği cevabı, sıvılaşma durumu başlığı altında verilen sütun ise SPT' ye bağlı basitleştirilmiş prosedür ile yapılan sıvılaşma analiz sonuçlarını göstermektedir. Ağın başarısını ortaya koymak için iki analiz yöntemi ile elde edilen sonuçların kıyaslanması gerekmektedir.

Bu işlem için çıkış verilerinde ;

Çıkış ≥ 0 ise = 1

Çıkış < 0 ise = -1

şeklinde bir dönüştürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu dönüştürme işleminden sonra iki analiz sonucu karşılaştırılarak hata oranı tespit edilmiş ve ağın performansı ortaya koyulmuştur. Her iki analiz yöntemi ile elde edilen sonuçlar Tablo 4.5' te sunulmuştur.

Tablo 4.5. Çalışmada Kullanılan YSA Modeline Ait Analiz Performansı Tablosu (Sarı renkli satırlar ağıın verdiği hatalı sonuçları ifade etmektedir)

Veri Seti No	Basitleştirilmiş Yönteme Göre Sıvılaşma Durumu	YSA' ya Göre Sıvılaşma Durumu		Sonuçlar
		Normalizasyon İşlemi Sonrası	Dönüştürme İşlemi Sonrası	
286	-1	-1	-1	Doğru
287	-1	-1	-1	Doğru
288	-1	-0,99987	-1	Doğru
289	-1	-0,99998	-1	Doğru
290	-1	-1	-1	Doğru
291	-1	-0,76728	-1	Doğru
292	1	0,74743	1	Doğru
293	1	0,94054	1	Doğru
294	1	0,92275	1	Doğru
295	-1	-0,25391	-1	Doğru
296	1	0,64916	1	Doğru
297	1	0,99787	1	Doğru
298	-1	-0,99111	-1	Doğru
299	-1	-0,9786	-1	Doğru
300	-1	-0,99721	-1	Doğru
301	1	-0,99373	-1	Yanlış
302	-1	-0,97737	-1	Doğru
303	1	0,5272	1	Doğru
304	-1	-0,91451	-1	Doğru
305	1	0,87085	1	Doğru
306	-1	-0,99991	-1	Doğru
307	-1	-0,99999	-1	Doğru
308	-1	-0,99997	-1	Doğru
309	-1	-0,99978	-1	Doğru
310	-1	-1	-1	Doğru
311	-1	-1	-1	Doğru
312	-1	-1	-1	Doğru
313	1	0,72063	1	Doğru
314	1	0,055238	1	Doğru
315	1	-0,099036	-1	Yanlış
316	1	-0,18249	-1	Yanlış
317	-1	-0,8903	-1	Doğru
318	1	0,9998	1	Doğru
319	1	-0,23196	-1	Yanlış
320	1	-0,54679	-1	Yanlış
321	1	0,99454	1	Doğru
322	-1	-0,21985	-1	Doğru
323	1	0,99462	1	Doğru
324	1	0,99968	1	Doğru
325	1	0,99664	1	Doğru
326	-1	-0,88308	-1	Doğru
327	1	0,71293	1	Doğru
328	-1	-0,99465	-1	Doğru
329	-1	-0,99997	-1	Doğru
330	-1	-0,99998	-1	Doğru
331	1	0,99935	1	Doğru
332	-1	0,14004	1	Yanlış

Tablo 4.5. Devam

Veri Seti No	Basitleştirilmiş Yönteme Göre Sıvılaşma Durumu	YSA' ya Göre Sıvılaşma Durumu		Sonuçlar
333	1	0,99991	1	Doğru
334	-1	-0,96723	-1	Doğru
335	1	0,997	1	Doğru
336	1	0,74238	1	Doğru
337	1	0,70048	1	Doğru
338	-1	-0,97903	-1	Doğru
339	1	0,99989	1	Doğru
340	-1	-0,99991	-1	Doğru
341	1	0,4647	1	Doğru
342	1	0,99886	1	Doğru
343	-1	-0,9951	-1	Doğru
344	-1	-0,68887	-1	Doğru
345	1	0,99948	1	Doğru
346	1	0,99996	1	Doğru
347	1	0,99868	1	Doğru
348	1	0,98014	1	Doğru
349	-1	-0,99919	-1	Doğru
350	-1	-0,094559	-1	Doğru
351	1	0,99946	1	Doğru
352	1	0,32708	1	Doğru
353	1	-0,43886	-1	Yanlış
354	1	0,69791	1	Doğru
355	1	0,98668	1	Doğru
356	1	0,98518	1	Doğru
357	1	0,47828	1	Doğru
358	1	1	1	Doğru
359	1	0,95978	1	Doğru
360	1	0,99781	1	Doğru
361	1	0,99916	1	Doğru
362	1	-0,33543	-1	Yanlış
363	1	0,27457	1	Doğru
364	1	0,99866	1	Doğru
365	-1	-0,99981	-1	Doğru
366	-1	-0,96466	-1	Doğru
367	-1	-0,99971	-1	Doğru
368	-1	-0,99987	-1	Doğru
369	-1	-0,99218	-1	Doğru
370	-1	-0,99989	-1	Doğru
371	1	0,55321	1	Doğru
372	-1	-0,99998	-1	Doğru
373	-1	-0,5354	-1	Doğru
374	1	0,99848	1	Doğru
375	1	0,10721	1	Doğru
376	1	0,1916	1	Doğru
377	-1	-0,99999	-1	Doğru
378	-1	-1	-1	Doğru
379	-1	-1	-1	Doğru
380	-1	-1	-1	Doğru
381	-1	-1	-1	Doğru

Tablo 4.5. Devam

Veri Seti No	Basitleştirilmiş Yönteme Göre Sıvılaşma Durumu	YSA' ya Göre Sıvılaşma Durumu		Sonuçlar
382	-1	-1	-1	Doğru
383	-1	-1	-1	Doğru
384	-1	-1	-1	Doğru
385	-1	-1	-1	Doğru

Tablo 4.5 üç kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda Basitleştirilmiş Yönteme göre sıvılaşma sonuçları yer almaktadır. İkinci kısımda ise Yapay Sinir Ağları tekniğine göre hesaplanmış olan sıvılaşma sonuçları VAR'dır. Bu sonuçlara yukarıda belirttiğimiz şekilde dönüştürme işlemi uygulanarak 0'dan büyük eşit olan çıktılar 1 (sıvılaşma VAR), küçük olan çıktılarsa 0 (sıvılaşma yok) haline getirilmiştir. Son sütunda ise Yapay sinir Ağları tekniği ile Basitleştirilmiş Yöntem sonuçları arasındaki tahminin doğru yada yanlış olduğunu belirten sonuçlar kısmı yer almaktadır. Tablo 4.5'de de görüldüğü üzere 92 adet doğru, 8 adetse hatalı sonuç elde edilmiştir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Son yıllarda büyük gelişim gösteren ve mühendislik alanında da geniş bir uygulama alanı bulan Yapay Sinir Ağları (YSA) yönteminin sıvılaşma potansiyelini belirlemedeki başarısını ortaya koymak amacı ile yapılan bu çalışmada, Adapazarı Büyükşehir Belediyesi bünyesinde bulunan jeoteknik etüt raporlarındaki 132 sondajdan elde edilen toplam 385 adet veri kullanılmıştır

YSA' nın başarısını ortaya koymak amacıyla öncelikle geleneksel yöntemlerle sıvılaşma potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen bağıntılarla çalışma alanındaki kumlu seviyeler için sıvılaşma güvenlik sayıları elde edilmiş ve sıvılaşma potansiyeline sahip bölgeler belirlenmiştir. Analizlerde, bölgede yapılmış önceki çalışmalar göz önünde bulundurularak maksimum yer ivmesi 0.4 g ve deprem büyüklüğü 7.5 alınmıştır.

Sıvılaşma potansiyeli belirlenirken güvenlik faktörü (F_L) 1'den küçük olan seviyeler sıvılaşma potansiyeline sahip, güvenlik faktörü 1.2' den büyük olan seviyeler ise sıvılaşma potansiyeli taşımayan bölgeler olarak değerlendirilmiştir. $1 < F_L < 1,2$ olan seviyelerde sıvılaşma potansiyeli sıklık oranına (D_r) dikkate alınarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda 145 adet veride sıvılaşma potansiyeli gözlenmiştir.

Derlenen veriler, analiz işleminden önce normalize edilmiş ve her bir parametre (+1) ile (-1) arasında değerlere sahip olmuştur. Böylece sistemin çıkışını oluşturan sıvılaşma durumu ise sıvılaşabilir durumlarda 1, sıvılaşmaz durumlarda ise -1 değerini almıştır.

Analizler ileri beslemeli geri yayımlı bir sinir ağı modeli oluşturularak gerçekleştirilmiştir. YSA ile yapılan analizlerde toplam 385 adet verinin 285 adeti eğitim, 100 adeti ise test aşamasında kullanılmış olup elde edilen analiz sonuçları,

sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla kurulan ağ modelinin başarılı olduğunu göstermiştir. Geleneksel yöntemle ve YSA ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde toplam 100 adet test verisinden yalnızca 8 tanesinde uyumsuzluk olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç, oluşturulan modelin tahmin başarısının %92' olduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar YSA yönteminin, sıvılaşma potansiyeline sahip bölgeleri belirlemede, geleneksel yöntemler kadar başarılı sonuçlara ulaşabileceğini ortaya koymaktadır. Böylelikle zor ve pahalı işlemlere gerek kalmadan sıvılaşmayı etkileyen işlemler yerine, oluşturulan uygun modellerle sıvılaşma potansiyeli daha kısa sürede belirlenebilecektir.

KAYNAKLAR

ANDREWS, D.C.A., Liquefaction of Silty Soils: Susceptibility, Deformation, and Remediation, Doktora Tezi, Southern California Üniversitesi, Los Angeles, 1997

ANSAL, A ve ÖĞÜNÇ, G., Dinamik Üç Eksenli Sıvılaşma Deneylemleri ve Tekrar Sıvılaşma, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Cilt 8, No.35, 61-82, 1981

BAYKAL, F., “Adapazarı-Kandıra Bölgesinde Jeolojik Etütler” İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt VIII, Sayı 4, İstanbul, 1943

BHATTACHARYA, S., Seismic Design of Pile-supported Liquefied Natural Gas Tanks in Liquefiable Soils, Hydrocarbon World 2007, Issue II, 2007

BİLGİN, T., Samanlı Dağları Coğrafi Etüd. İ. Ü. Edebiyat Yayını No:1294, Coğrafya Enstitüsü Yay. No:50. İstanbul, 1967

BİLGİN, T., Adapazarı Ovası ve Sapanca Oluğunun Alüvyal Morfolojisi ve Kuvaternerdeki Jeoforfolojik Tekamülü, İst. Üni. Edebiyat Fak. Yayınları, No: 2572, İstanbul, 1984

BOL, E., Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri, Doktora Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003

CASAGRANDE, A., Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Slopes and Earth Fills. Journ. of the Boston Society of Civil Engineers, 1936

CASTRO, G., Liquefaction and Cyclic Mobility of Saturated Sands. Journal of the Geotechnical Engineering, 1975

CASTRO, G. and POULOS, S.J., Factors Affecting Liquefaction and Cyclic Mobility. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 103 (6): 501-516, 1977.

CHRISTIAN, J. T., Statics of Liquefaction and SPT Results. Journal of the Geotechnical Engineering Division , s. 1135-1150, 1975

ÇAVUŞ, U. Ş., Deprem Sebebiyle Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulanık Mantık ile Değerlendirilmesi, Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, 2004

DOĞAN, O., “Sakarya İli ve Çevresi Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu”, DSİ Yer Altı Suları Dairesi Başkanlığı, Arşiv No: 50, Ankara, 1968

EFE, M. Ö., & KAYNAK, O., Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları. İstanbul: Bogaziçi Üniversitesi Yayınları, 2000

ELMAS, Ç., Yapay Sinir Ağları. İstanbul: Seçkin Yayıncılık, 2003

EMRE, Ö., ERKAL, T., TCHEPALYGA, A., KAZANCI, N., KEÇER, M., ÜNAY, E., doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi, MTA dergisi, No:120, Ankara, 1998

ERİNÇ, S., Karadeniz’in Denizaltı Morfolojisi. İst. Üniv. Coğ. Enst. Derg. 9, 103-114, 1958

ERİNÇ, S., Sapanca Gölünün Derinlik Haritası ve Morfometrisi, Türk Coğrafya Dergisi, Sayı XI-XII, Ankara, 1949

ERKEN, A., The Role of Geotechnical Factors on Observed Damage in Adapazarı, XV ICMGE Satellite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, İstanbul, 2001

EROĞLU, T, Sakarya ve Deprem, Sakarya Valiliği Deprem Serisi:1, Sakarya Valiliği, Sakarya, 45-56, 2000

FAUSETT, L., Fundamentals of Neural Networks., New Jersey: Prentice-Hall, 1994

FERRITTO, J.M., Seismic Design Criteria for Soil Liquefaction. Technical Report TR-2077-SHR. Naval Facilities Engineering Service Center, Port Hueneme, California, 58, 1997

FIGUEORA, J. L. , ADEL, S. S., LIANG, L. AND N. DAHISARIA (1994) “The Principles of Energy Convergence in Accordance with the Determination of Liquefaction” Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol 120, pp 1554-1569.

GOH, A. T., Seismic Liquefaction Potential Assessed by Neural Network. Journal of Geotechnical Engineering , ASCE, Vol 119, 1467-1481., 1994

GOH, A. T., Neural Network Applications in Geotechnical Engineering. Scienta Iranica , 1 (8), s. 1-9, 2001

GOH, A. T., Probabilistic Neural Network for Evaluating Seismic Liquefaction Potential. Canadian Geotechnical Journal , 39, 219-232, 2002

GÖKÇEN, R., Sakarya ve Marmara Bölgesi, Özyürek Yayınları, İstanbul, 1990
GÖKTEPE, F., H., A., & DOĞAN, E., Yapay Sinir Ağları ile Adapazarı Killerinin Sınıflandırılmasında İstatiksel Analiz. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2009

HAGAN, M. T., DEMUTH, H. B., BEALE, M., Neural Network Dizayn, Pws, Publishing Company, Boston, 1999

HAYKIN, SIMON, Neural Network, A Comprehensive Foundation. New York: Macmillan College Publishing Company, 1994.

HAZEN, A., Hydraulic Fill of Dams. ASCE Transactions, 83: 1713–1745, 1920

HUSSEIN, A.K., Undrained Cyclic Behaviour of Nonplastic Silt, Doktora Tezi, Cornell University, 1995

ISHIHARA, K., Simple Method of Analysis for Liquefaction of Sand Deposits During Earthquakes, Sil and Foundations , s. 716-735, 1977

ISHIHARA, K., Stability Natural Deposits During Earthquakes. 11th Soil Mechanics and Foundation Conference, (s. 321-376). San Francisco, 1985

ISHIHARA, K., Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics. Oxford, 1996

İNANDIK, H., Adapazarı Ovası ve Çevresinin Joemorfolojik Etüdü, İstanbul, 1953

İTÜ İnşaat Fakültesi Öğretim Üyeleri, İller Bankası 1. Bölge Müd. Adapazarı Kanalizasyon inşaatı Geoteknik raporu, İstanbul, Şubat, 1999

JEFFERIES, M. ve BEEN, K., Soil Liquefaction A Critical State Approach, Taylor ve Francis Group, London and Newyork, 2006

JUANG, C. H., YUAN, H., LEE, D., KU, C., Assessing CPT –Based Methods for Liquefaction Evaluation with Emphasis on the Cases from the Chi-Chi, Taiwan Earthquake. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2001

JUANG, C.H., Chen, C.J., Tien, Y-M., Appraising Cone Penetration Test Based Liquefaction Resistance Evaluation Methods: Artificial Neural Network Approach, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 36 , 443-54, 1999

KARTALOPOULOS, S. V. Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic. NewYork: The Institute of Electrical and Electronics Engineers Press, s. 78-80, 1997

KELEŞ, N., “Adapazarı Ziraî Araştırma Enstitüsü Sahası Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu”, DSİ Genel Müdürlüğü, 1. Bölge, Bursa, 1974

KİSHAN, M., CHİLUKURİ K. M., and SANJAY, R., Elements of Artificial Neural Networks, Londond: Massachusetts Institute of Tecnology, 1997

KOBELT, W., Studien zur Zoogographie 2 Die Fauna Der Meridionalen Subregion - I-X, 1-368. Wiesbaden (Kreidel), 1898

KOÇYİĞİT, A., BOZKURT, E., CİHAN, M., ÖZACAR, A., VE TEKGÖZ, B., 17 ağustos Gölcük-Arifiye Depremi Jeolojik On raporu, ODTÜ jeoloji müh. Bölümü, 1999

KOESTER, J.P., Cyclic Strength and Pore Pressure Generation Characteristics of Fine-Grained Soils, Doktora Tezi, Colorado Üniversitesi, 1992

KOHONEN T., State Of The Art In Neural Computing', IEEE First International Conference on Neural Networks, 1, 79-90, 1987

KOMAZAWA VE DIĞ., " Bedrock structure in Adapazarı-Turkey a possible cause of severe damage by the 1999 Kocaeli Earthquake" Journal of SDDE, Philadelphia, USA, 2001

KRAMER S.L. and ELGAMAL, A.W., Modelling Soil Liquefaction Hazards for Performance-Based Earthquake Engineering, PEER Report 2001, Pacific Earthquake Engineering Research Center Collage of engineering university of California, Bekeley, 2001

KRAMER, S.L. and SEED, B.H., Initiation of Soil Liquefaction Under Static Loading Conditions. Journal of Geotechnical Engineering, 114(4), 1988

KRAMER, S.L., Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, New York, 348-417, 1996

LADD, R. S., "Specimen Preparation and Cyclic Stability of Sands", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 103 (GT6): 535-547, 1977

LAHN, E., Türkiye Göllerinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi Hakkında Bir Tür Etüt, MTA Enst. Yayınları, Seri B, No: 12, Ankara, 1948

LEE, K.L., and SEED, H.B., Cyclic Stress Conditions Causing Liquefaction of Sand. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 93 (SM1): 47-70, 1967

LIAO, S., VENEZIANO, P., AND WHITMAN, R., "Regression Model for Evaluating Liquefaction Probability," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 114, No.4, 389-409, 1988

MERİÇ, E., Marmara Denizi Araştırmaları, Workshop-III, Deniz Jeolojisi Ulusal Araştırma Programı, Tübitak-MTA, 1997

MOGAMI, T., and KUBO, K., The Behaviour of Soil During Vibration. Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1: 152-153, 1953

MTA, Sakarya İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 1998

- ÖZTEMEL, E., Yapay Sınır Ağları. İstanbul: Papatya Yayıncılık, 2003
- ÖZTÜRK, E., Adapazarı Ovasındaki Zeminlerin Genel Dağılımı ve Uygun Zemin İyileştirme Yöntemlerinin Belirlenmesi, SAÜ, Yüksek Lisans Tezi, 2006
- PECK, W., Die Tectonischen Grundzüge Westkleinasiens, Stuttgart, 1918
- PERLEA, V.G., Liquefaction of Cohesive Soils, Geotechnical Special Publication, Soil Dynamics and Liquefaction, ASCE No: 107, 58-76, 2000
- PFANNENSTIEL, M., Die diluvialen Entwicklungsstadien und die Urgeschichte von Dardanellen, Marmarameer und Bosphorus, Diluvial-Geologie und Klima, Geologische Rundschau, Band 3/4, Helf 7/8, Stuttgart, 1944
- POLITO, C.P., The Effects of Non-Plastic and Plastic Fines on the Liquefaction of Sandy Soils. Ph.D. Dissertation, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, 274, 1999
- PRADHAN, T. B. S., KIKU, P. Ve SATO, K., Effects of Fines Content on Behaviour of Sand During the Process to Liquefaction, First Int. Conf. Earthquake Geotechnical Engineering, Tokyo, Vol.1, 823-828, 1995
- PRAKASH, S., Liquefaction of Low Plasticity Silts. Soil Dynamics and Earthquake Engineering , 373-379, 1992
- RISH, C., Der Sabandjasee und Seine Umgebund, Gotha, 1909
- ROBERTSON, P.K. and WRIDE, C.E., Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using the Cone Penetration Test”, Canadian Geotech. Journal, Ottawa, 35(3), 442-459, 1998
- SAĞIROĞLU, S., BESDOK, E., & ERLER, M., Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları. Kayseri, 2003
- SEED, H.B., LEE, K.L., Liquefaction of Saturated Sands During Cyclic Loading. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 92 (SM6): 105-134, 1966
- SEED, H.B., IDRİSS I. M., Analysis of Soil liquefaction-Niigata Earthquake, ASCE, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 93: 83-108, 1967
- SEED, H. B., & IDRİSS I. M., Simplified Procedure For Evaluating Soil Liquefaction Potential . Journal of the Soil Mechanics and Division, ASCE 97(SM9), 1249-1273, 1971
- SEED, H.B., ARANGO, I., and CHAN, C.K., Evaluation of Soil Liquefaction Potential During Earthquakes. Report No. EERC 75-28, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 1975

SEED, H.B., Some Aspects of Sand Liquefaction Under Cyclic Loading. Conference on Behavior of Off-Shore Structures, The Norwegian Institute of Technology, Norway, 1976

SEED, H. B., Moduli and Damping Factors for Dynamic Analyses of Cohesionless Soils,. Geotechnical Testing Journal, 1985

SIMPSON, P. K., Neural Networks Theory, Technology and Applications, NewYork: The Institute of Electrical and Electronics Engineers Press, 1990

SİNGH, S., “ Liquefaction Characteristics of Silt”, Ground Failures Under Seismic Conditions, Geotechnical Special Publication No.44, Editors; Prakash, S. and Dakoulas, P., ASCE, 105-116, 1994

SÜNBUİL, A. B., Adapazarı Zeminlerinde Sıvılaşma Unsurlarının Belirlenmesi ve Sıvılaşmanın Önlenebilmesi için Çözümler Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004

ŞEKERCİOĞLU, E., Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No.28, 49-60, Ankara, 1998

ŞEN, Z., Yapay sinir Ağları ve İlkeleri, İstanbul: Su Vakfı Yayınları, 2004

TAHERI, S. D. M., Liquefaction of Soil, Yüksek Lisans Tezi, Texas Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Mayıs 1980

TANOĞLU, A., ERİNÇ, S., Garsak Boğazı ve Eski Sakarya, İÜ. Coğr. Enst. Der. No: 7 s: 17-30. İstanbul, 1956

TAŞGETİREN, M.F., “Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları”, <http://bilim.ficicilar.name.tr/fatihatasgetiren>, 2005

TCHIHATCHEFF, P., Asie Mineure, Geologie, I, II, III, Paris, 1867-1869

TERZAGHI, K., Erdbaumechnik Auf Bodenphysikalischer Grundlage. Vienna, Deuticke, 1925

TERZAGHI, K., PECK, R.B., Soil Mechanics in Engineering Practice, Second Edition, A Wiley International Edition, New York, 1948

TEZCAN, S.S., ÖZDEMİR, Z. " Liquefaction Risk Analysis and Mapping Techniques", Yüksek Öğretim Eğitim ve Araştırma Vakfı Yayınları , ISBN: 975-93005-1-6, İstanbul, 2004

TOLL, D., Artificial Intelligence Systems for Geotechnical Engineering with Specific Reference to the Ground Improvement, 10th European Young Geotechnical Engineers Conference, İzmir, 1996

TSUCHIDA H, Prediction and Countermeasure Against Liquefaction in Sand Deposits, Seminar of the Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport, Yokosuka, Japan, 3.1-3.33, 1970

TUROĞLU, H., Zemin Sıvılaşmasının 17 Ağustos 1999 Depreminde Adapazarındaki Hasara Etkisi, İST. ÜNİ., Edebiyat Fak., Coğrafya Bölümü, Coğrafya Dergisi, Sayı 12, İstanbul, 2004

ULUSAY, R., and Tosun, H., Assessment of Geomechanical Properties and Liquefaction Susceptibility of Foundation Soils at a Dam Site, Southwest Turkey. Turkish Earthquake Foundation, Report No. TDV/TR 020-34, 63, 1999

ULUSAY, R., AYDAN, Ö., KUMSAR, H., ve TUNCAY, E., Liquefaction Phenomenon in the Earthquakes of Turkey, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Eng., New Zealand, 2000

ULUSAY, R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 2001

URAL. D, SAKA H., Liquefaction Assesment by Artificial Neural Networks, EJGE, Volume 3, 130-135, 1998

URAL, N., İnce Daneli Zeminlerde Kil Oranının Sıvılaşmaya Etkisi, Doktora Tezi, SAU, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003

WANG, J., RAHMAN, M. S., A neural Model for Liquefaction-Induced Horizontal ground displacement. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, , 555-568, 1999

YOUD, T. L., Geological Effects-Liquefaction and Associated Ground Failure. Geological and Hydrogeological Hazards Training Program, United States Geological Survey Open-File Report 87-76, 210-232, 1984

YOUD, T. L., Liquefaction, Ground Failure, and Consequent Damage During the 22 April 1991 Costa Rika Earthquake. Proceedings of the NSF, UCR US.Costa Rica, 73-75, 1992

YOUD, T. L., Liquefaction Induced Ground Surface Disruption. Journal of the Geotechnical Engineering,. 805-809, 1995

YOUD, T.L., ve DİĞ., Liquefaction Resistance of Soils – Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 127(4), 297-313, 2001

ÖZGEÇMİŞ

Arzu DERE 09.03.1983 tarihinde Eskişehir’ de doğmuştur. İlkokulu Org. Halil Sözer İlkokulu’ nda ortaokulu 19 Mayıs Ortaokulu’ nda ve liseyi Atatürk Lisesi’ nde tamamlamıştır. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde lisans eğitime başlamış ve 2005 yılında lisans eğitimini tamamlamıştır. Lisans eğitiminden sonra 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’ nda yüksek lisans eğitime başlamıştır.