

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

**ADAPAZARI KİLLERİNİN SINIFLANDIRILMASINDA  
YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Fatih GÖKTEPE**

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

**Mayıs 2008**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ADAPAZARI KİLLERİNİN SINIFLANDIRILMASINDA  
YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ


İnş. Müh. Fatih GÖKTEPE

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 29/05/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Hasan ARMAN  
Jüri Başkanı

  
Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR  
Üye

  
Doç. Dr. Seyhan FIRAT  
Üye

## TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanması sürecinde engin tecrübelerini benimle paylaşan, her zaman destek ve teşviklerini gördüğüm danışman hocam sayın Prof. Dr. Hasan ARMAN'a, Yapay Sinir Ağları konusunda beni yönlendirerek tezimin çoğu aşamasında yanımda olan sayın Yrd. Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR'a, istatistik analiz konusunda yardımlarını gördüğüm sayın Arş. Gör. Yük. Müh. Emrah DOĞAN'a ve ismini burada yazamadığım tüm arkadaş ve dostlarıma teşekkür ederim. Son olarak, bugünlere gelmemde emeği kaçınılmaz olan, hayatımın her türlü aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek yanımda olan, başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme sevgi ve şükranlarımı sunuyorum.

Adapazarı, Mayıs 2008

Fatih GÖKTEPE

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

## BÖLÜM 2.

KİLLİ ZEMİNLER.....	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. Zeminin Oluşumu ve Tipleri.....	4
2.2.1. İri ve ince daneli zeminlerin özellikleri.....	4
2.2.2. Zemin mekaniği.....	5
2.2.3. Zemin mekaniğinin gayesi.....	6
2.3. Kil Mineralleri.....	7
2.3.1. Kil minerallerinin tanınması.....	10
2.3.2. Spesifik yüzey.....	12
2.3.3. Kil mineralleri ile su arasındaki etkileşim.....	13
2.3.3.1. Suyun özellikleri.....	13
2.3.3.2. Kil-su sistemi.....	14
2.3.3.3. Kil partiküllerinin etkileşimi.....	17

2.4. Killi Zemin Yapısı ve Dokusu.....	
2.4.1. Kilde doku ve yapı.....	18
2.4.2. Dokunun ayrımı.....	20
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>KİLLİ ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI.....</b>	<b>25</b>
3.1. Giriş.....	25
3.2. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS).....	25
3.2.1. Elek analizi.....	26
3.2.1.1. Amaç.....	29
3.2.1.2. Kullanılan cihazlar.....	29
3.2.1.3. Deneyin yapılışı.....	30
3.2.1.4. Sonuçlar.....	31
3.2.2. Likit limit tayini.....	34
3.2.2.1. Amaç.....	36
3.2.2.2. Kullanılan cihazlar.....	36
3.2.2.3. Deneyin yapılışı.....	36
3.2.2.4. Sonuçlar.....	38
3.2.3. Plastik limit tayini.....	39
3.2.3.1. Amaç.....	40
3.2.3.2. Kullanılan cihazlar.....	40
3.2.3.3. Deneyin yapılışı.....	41
3.2.3.4. Sonuçlar.....	41
3.2.4. USCS zemin sınıflandırması.....	42
3.2.4.1. Türk standartlarında zemin sınıflandırması.....	44
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>ÇALIŞMA SAHASININ GENEL ZEMİN YAPISI.....</b>	<b>51</b>
4.1. Çalışma Sahasının Tanıtılması.....	51
4.2. Çalışma Sahasının Genel Jeolojisi.....	52
4.3. Çalışma Sahasının Hidrojeolojik Durumu.....	54
4.3.1. Yüzey ve yer altı suları.....	54
4.3.2. İçme ve kullanma suyu.....	54

4.4. Çalışma Sahasının Genel Zemin Yapısı.....	55
BÖLÜM 5.	
YAPAY SİNİR AĞLARI.....	57
5.1. YSA'nın Genel Tanımı.....	57
5.2. YSA'nın Genel Özellikleri.....	59
5.2.1. Örneklerden öğrenme.....	59
5.2.2. Örnekleri tanıma ve sınıflandırma.....	59
5.2.3. Örnekleri yeniden oluşturma.....	60
5.2.4. Kendi kendine adapte olabilme.....	60
5.2.5. Hata toleransı.....	60
5.2.6. Bulanık girdilere direnç.....	60
5.3. YSA'nın Kullanıldığı Alanlar.....	61
5.4. İşlem Elemanı.....	61
5.5. Ağ Yapıları.....	63
5.6. YSA Uygulamalarının Geliştirilme Safhaları.....	64
5.6.1. Tasarım.....	64
5.6.2. YSA' da öğrenme stratejileri.....	64
5.6.2.1. Geriye yayılma öğrenme algoritması.....	66
5.6.3. Test/Uygulama.....	68
BÖLÜM 6.	
ÖNERİLEN YAPAY SİNİR AĞI MODELİ VE UYGULAMASI.....	69
6.1. Giriş.....	69
6.2. Önerilen Model ve Programın Tanıtılması.....	70
BÖLÜM 7.	
İSTATİKSEL ANALİZ.....	76
7.1. Giriş.....	76
7.2. Regresyon Analizi.....	78
7.2.1. Basit doğrusal regresyon analizi.....	80
7.3. Sayısal Uygulama.....	83

BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	99

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

%P	: Elekten geçen yüzde
$A_v$	: Hava içeriği
$c$	: Kohezyon
$c_c, c_r$	: Eğrilik (derecelenme) katsayısı
$c_v$	: Konsolidasyon katsayısı
$Cov$	: Kovaryans
$D$	: Dane boyutu (mm)
DTA	: Diferansiyel termal analiz
$D_{10}$	: %10 geçen yüzdeye karşılık gelen çap (mm)
$D_{30}$	: %30 geçen yüzdeye karşılık gelen çap (mm)
$D_{60}$	: %60 geçen yüzdeye karşılık gelen çap (mm)
$e$	: Boşluk oranı
$e_y$	: Gözlenmiş noktaların regresyon doğrusuna düşey uzaklıkları
$I_p$	: Plastisite indisi
$N$	: Veri sayısı
$N_v$	: Vuruş sayısı
$n$	: Gözeneklilik
$nm$	: Nanometre
OKH	: Ortalama karesel hata
OMH	: Ortalama mutlak hata
$q_u$	: Tek eksenli basınç direnci
$R_o$	: Tahmin edilen değer
$R_{YSA}$	: YSA'nın üretmiş olduğu çıktı
$r_{xy}, R$	: Korelasyon katsayısı
$r_{xy}^2, R^2$	: Determinasyon katsayısı
SEM	: Taramalı elektron mikroskopisi



$S_r$	: Doygunluk derecesi
$\tan \beta$	: Akma doğrusunun eğimi
$s_x$	: Standart sapma
$X$	: Bağımsız değişken
$\bar{x}$	: Ortalama
$U, c_u$	: Üniformluk sayısı
Var	: Varyans
$w_L$	: Likit limit
$w_n$	: Doğal su içeriği
$w_p$	: Plastik limit
XRD	: X ışını kırınım
$Y$	: Bağımlı değişken
YSA	: Yapay sinir ağları
$\Sigma$	: Toplama fonksiyonu
$\phi$	: İçsel sürtünme açısı
$\gamma_n$	: Doğal birim hacim ağırlık
$\gamma_k$	: Kuru birim hacim ağırlık
$\mu$	: Hacimsel sıkışma katsayısı
$\rho$	: Yoğunluk
$\rho_s$	: Tane yoğunluğu

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	(a) Tek silika tetrahedronu (b) Silika levhası veya tetrahedralin izometrik görünümü (c) Silika levhasının tepeden görünümü.....	8
Şekil 2.2.	(a) Tek alüminyum oktahedronu (b) Oktahedrol levhasının izometrik görünümü (c) Oktahedrol levhasının tepeden görünümü.....	9
Şekil 2.3.	Casagrande'nin plastisite kartında yaygın kil minerallerinin lokasyonları.....	11
Şekil 2.4.	Suyun buza dönüşümü ve üçlü noktası.....	14
Şekil 2.5.	Bir su molekülünün şematik diyagramı.....	16
Şekil 2.6.	Sodyum montmorillonit ve sodyum kaolinit üzerindeki adsorbe su tabakalarının göreceli boyutları.....	17
Şekil 2.7.	Casagrande'nin ilk doku modeli.....	18
Şekil 2.8.	Lambe'e göre kil yapısı.....	19
Şekil 2.9.	Temel partikül diziliminin şematik görünümü.....	21
Şekil 2.10.	Mikro ve makro boşluklar ve doku.....	22
Şekil 2.11.	Dane dizilimlerinin oluşması.....	23
Şekil 3.1.	Dane boyutu analizi için kullanılacak eleklerin dizilişi.....	27
Şekil 3.2.	Zemin örneğinin numune tavaından eleklerle dökülmesi.....	28
Şekil 3.3.	Eleklerin mekanik titreştiriciye dizilmesi.....	28
Şekil 3.4.	Elek aralarında kalan numunenin fırça yardımıyla temizlenmesi...	29
Şekil 3.5.	Dane dağılım eğrisi, dane dağılımı kriterleri.....	33
Şekil 3.6.	Casagrande aletinin genel görünümü.....	35
Şekil 3.7.	Casagrande aletinin kesiti ve kil kaşığı.....	35
Şekil 3.8.	Numuneye, arkadan öne doğru yiv açılması.....	35
Şekil 3.9.	Likit limit için, iki parça arasındaki yivin 13 mm'lik mesafeden kapanması.....	35

Şekil 3.10.	Zemin numunesi avuç içinde yuvarlatılarak 3 mm kalınlığında bir ip haline getirilmesi .....	40
Şekil 3.11.	mm çapındaki ip haline getirilmiş zemin numunesinin parçalanma anı .....	40
Şekil 3.12.	İri daneli zeminlerin sınıflandırılması için akış diyagramı.....	47
Şekil 3.13.	İnce daneli zeminlerin sınıflandırılması için akış diyagramı.....	48
Şekil 3.14.	Plastisite kartı.....	49
Şekil 4.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	51
Şekil 4.2.	Adapazarı jeoloji haritası.....	53
Şekil 4.3.	Adapazarı kent merkezi tipik yerel zemin kesiti.....	56
Şekil 5.1.	Tipik bir biyolojik nöron modeli.....	58
Şekil 5.2.	Bir biyolojik nöronun McCulloch-Pitts hesaplama modeli.....	59
Şekil 5.3.	Bir işlem elemanının yapısı.....	62
Şekil 5.4.	Çok katmanlı ağ modelleri.....	63
Şekil 5.5.	Eğitim ve test seti için hata oranını gösteren tipik bir eğitim eğrisi.....	66
Şekil 5.6.	Geriye yayılma yapay sinir ağı modelinin genel yapısı.....	67
Şekil 6.1.	Tek gizli katman ağ mimarisi için hata azalım eğrisi.....	70
Şekil 6.2.	Geliştirilmiş olan YSA modelinin mimarisi.....	71
Şekil 6.3.	Matlab tabanlı oluşturulan programın arayüzü.....	72
Şekil 6.4.	Hata azalım performans grafiği.....	73
Şekil 6.5.	İstenen hata hedefine ulaşılmış grafik.....	73
Şekil 6.6.	Örneklerin performansı arayüzü.....	73
Şekil 6.7.	YSA modelinin eğitim setinin performansı.....	74
Şekil 6.8.	YSA modelinin test setinin performansı.....	74
Şekil 6.9.	YSA istenen sonuçlar arayüzü.....	74
Şekil 6.10.	YSA modelinin eğitim setinin performansı.....	75
Şekil 6.11.	YSA modelinin test setinin performansı.....	75
Şekil 7.1.	Regresyon doğrusu gözlem noktalarının düşey uzaklıklarının karelerinin toplamını en küçük yapacak şekilde geçirilmesi.....	80
Şekil 7.2.	Regresyon denklemiyle yapılan tahminler için belli bir güven düzeyindeki güven bölgesi.....	82

Şekil 7.3.	Eğitim setine ait YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi.....	84
Şekil 7.4.	Eğitim setine ait YSA çıktıları ile deneysel verilerin değişimi.....	85
Şekil 7.5.	Test setine ait YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi.....	86
Şekil 7.6.	Test setine ait YSA çıktıları ile deneysel verilerin değişimi.....	87
Şekil 7.7.	Eğitim setine ait CL zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi.....	89
Şekil 7.8.	Eğitim setine ait CI zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi.....	89
Şekil 7.9.	Eğitim setine ait CH zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi.....	90
Şekil 7.10.	Test setine ait CL zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi.....	91
Şekil 7.11.	Test setine ait CI zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi.....	92
Şekil 7.12.	Test setine ait CH zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi.....	92

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Kumlar ve killerin bazı özellikleri.....	4
Tablo 2.2.	Yaygın kil minerallerinin göreceli boyutları, kalınlıkları ve spesifik yüzeyleri.....	15
Tablo 3.1.	Zemin danelerinin boyutlarına göre sınıflandırılması.....	26
Tablo 3.2.	Elek analizi sonucu elek açıklığına göre geçen malzeme miktarı.	31
Tablo 3.3.	Elek analizi deney formu.....	32
Tablo 3.4.	Likit limit deney formu.....	38
Tablo 3.5.	Likit limit tayini için logaritmik hesap çizelgesi.....	39
Tablo 3.6.	Plastik limit deney formu.....	42
Tablo 3.7.	Dane boyu ve simgelerin USCS'deki tanımı.....	43
Tablo 3.8.	Türk zemin sınıflandırma sistemi.....	45
Tablo 6.1.	Girdi katmanı bilgileri.....	71
Tablo 6.2.	Çıktı katmanı bilgileri.....	72
Tablo 7.1.	Eğitim setine ait performans değerlendirmesi.....	83
Tablo 7.2.	Test setine ait performans değerlendirmesi.....	85
Tablo 7.3.	Eğitim setine ait CL zemin sınıfı için performans değerlendirmesi.....	88
Tablo 7.4.	Eğitim setine ait CI zemin sınıfı için performans değerlendirmesi.....	88
Tablo 7.5.	Eğitim setine ait CH zemin sınıfı için performans değerlendirmesi.....	88
Tablo 7.6.	Test setine ait CL zemin sınıfı için performans değerlendirmesi..	90
Tablo 7.7.	Test setine ait CI zemin sınıfı için performans değerlendirmesi...	90
Tablo 7.8.	Test setine ait CH zemin sınıfı için performans değerlendirmesi..	91

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Zemin sınıflandırması, killi zemin, yapay sinir ağları (YSA), ölçeklenmiş konjugate gradyant

Zemin sınıflama sistemi geoteknik mühendisliği uygulamalarında, mühendisler arasında iletişim dillerinden birisi olmuştur. Bu yolla mühendisler birbirlerine tecrübelerini aktarma fırsatı bulmuşlardır. Yalnızca zemin sınıfının bilinmesi, üzerinde çalıştığımız zemin numuneleri hakkında yapılması gereken detaylı zemin incelemeleri ve mühendislik özelliklerini ölçen diğer laboratuvar deneylerinin gerekliliğini ortadan kaldırmamaktadır. Fakat bir mühendis zemin sınıflamasını bilmekle uygulama aşamasında oluşan yapısal yükler karşısında zeminin hangi davranışları gösterebileceğine dair fikir sahibi olabilmektedir.

Zemin mekaniği problemlerinde karşımıza sıklıkla çıkan kil numunelerinin, mühendislik karakterleri açısından geniş bir aralığa sahip olduğu kaçınılmaz bir gerçektir. Bu çalışmada, yapay sinir ağları (YSA) metodu ile Türkiye'nin kuzey batısında bulunan Adapazarı bölgesinde, yalnız SPT deneyi ile elde edilen kil numunelerinin sınıflandırılması, yeni bir yaklaşımla irdelenmiştir

Adapazarı bölgesinin genel zemin yapısını tanımlamak için yapılmış sondaj çalışmaları ve ilgili laboratuvar deneylerinden elde edilen, kil numunelerine ait likit limit ve plastisite indisi değerleri kullanılarak YSA modeli eğitilmiş ve test edilerek modelin performansı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular grafikler halinde sunulmuş ve değerlendirilmiştir. Ayrıca, istatistik analiz yapılarak YSA modelinin ürettiği çıktılar ile deneysel veriler karşılaştırılmıştır.

# **ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS APPROACH IN CLASSIFICATION OF ADAPAZARI CLAYS**

## **SUMMARY**

**Key Words:** Soil classification, clayey soil, artificial neural network (ANN), scaled conjugate gradient

In geotechnical engineering applications, soil classification system is one of the communication language among engineers. Engineers have discovered to transfer their experiences through this way. By only knowing soil class does not eliminate necessary detailed soil investigations and other laboratory tests which measure engineering properties. However, if an engineer knows soil class, one can have an idea about how and what kind of behavior soil will indicate under structural loads in application steps.

Clay samples frequently faced in soil mechanics problems have an inevitable wide range of engineering characteristics. In this study, clay samples classification obtained by Standard Penetration Test (SPT) is researched by a new approach with ANN in Adapazari region which is located on northwest of Turkey.

The ANN model is trained using liquid limit and plasticity index values of clay samples obtained from drilling studies for the definition of general ground condition of Adapazari region and also performance of the model is tested. The obtained results presented in graphical forms are evaluated. In addition, together with a study based on statistics the outputs of the ANN model are compared with the experimental data.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Geoteknik mühendisliği, zeminlerin mühendislik özelliklerini inceleyen, İnşaat Mühendisliği disiplininin bir alt anabilim dalıdır. Bu disiplin zemin mühendisliği olarak da tanımlanmaktadır. İnşaat Mühendisliği uygulamalarının çoğu, zemin üzerinde ve/veya içersinde inşa edilmesi nedeni ile iyi bir inşaat projesini hayata geçirebilmek için geoteknik mühendisliği anlamında bilgi ve tecrübeye gerek duyulmaktadır. Özellikle bu bilgi ve tecrübe eksikliği, ülkemizde meydana gelen 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi sonrası daha iyi anlaşılmıştır [1].

Depremler, yıkıcılığı ve tahrip edici özelliği nedeniyle insanoğlunun karşı karşıya kaldığı doğal afetlerin başında gelmektedir. Deprem sırasında bölgesel zemin koşullarına bağlı olarak zemin üzerinde veya altında bulunan yapılar ciddi anlamda hasar görebilir ve/veya yıkılabilir. İnceleme alanı Adapazarı ovası, genel anlamda Kuvaterner yaşlı derin alüvyon çökellerden oluşmaktadır. Bu özelliğinden dolayı ovanın depremler esnasında sıvılaştığı görülmüştür [2]. Böylece, inşaat uygulamalarında geoteknik mühendisliğinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

Bölgenin genel zemin yapısını anlamak için gerek özel gerekse de devlet kurumları tarafından değişik zamanlarda ve değişik noktalarda birçok sondaj çalışması yapılmıştır. Bu sondajların derinliği genellikle 10 m. ile 300 m. arasında değişmektedir [3]. Sondajlar sonrası elde edilen numuneler üzerinde ilgili laboratuvar deneyleri yapılarak, zeminler farklı simgelerle ifade edilmektedir. Bu çalışmalar sonrası, Adapazarı bölgesinde silt ve killi zeminlerin yüzeyde ya da yüzeye yakın yerlerde olduğu, buna karşın kum ve çakıllı zeminlerin daha alt seviyelerde olduğu gözlenmektedir [4].



Son yıllarda Yapay Sinir Ağları (YSA) bir çok mühendislik uygulamalarında etkin bir şekilde uygulanmaktadır [5,6,7,8]. Bu çalışmada, mühendislik uygulamalarında geniş bir kullanım alanına sahip olan Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Adapazarı bölgesinde bulunan killi zeminlerin sınıflandırılması irdelenmiş, elde edilen sonuçlar tartışılmış ve grafik halinde sunulmuştur. Tezin son bölümünde ise, istatistiksel bir çalışma yapılarak YSA modelinin üretmiş olduğu çıktılar ile deneysel verilerin karşılaştırılması yapılmıştır.

## BÖLÜM 2. KİLLİ ZEMİNLER

### 2.1. Giriş

Bir zemin formasyonunu veya örnek bir zemin numunesini inceleyen mühendisi en fazla ilgilendiren husus hangi özelliklerin zemin davranışı üzerinde en fazla etkisi olduğunu tayin edebilmektedir. Zemin yapı olarak heterojendir. Metreler hatta santimetreler içinde değişiklik göstermesi beklenebilir. Yapılan deneyler zeminin hangi durumlarda hangi tepkileri vereceğini yaklaşık olarak belirlemektedir. Zemin geçen zaman boyunca yükleme, su alma, kuruma, donma gibi çeşitli etkiler altında bulunur. Zeminin bu durumlarda göstereceği tepkiler, zeminin hem yapı malzemesi olarak kullanımında hem de üzerine yapılacak yapılarda önem taşımaktadır [9].

İnşaat mühendisliğinde karşılaşılan zemin problemlerinin önceden belirlenmesi için zeminin tanımlanması ve mühendislik özelliklerinin tespit edilmesi gerekir. Zeminin göstereceği problemlerin önceden tespit edilmesi gelecekte oluşabilecek can ve mal kaybını önleyecektir. Zemin mekaniği problemlerini aşağıdaki gibi analiz edebiliriz:

**Stabilite problemleri:** Bu tür problemlerde zeminin ani ve toptan göçme olasılığı ve bunun zemin kütleleri ve üzerlerinde yer alan yapıların güvenliği üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Bu gruba giren problemler arasında temellerin taşıma gücünün hesabı, şevlerin ve istinat yapılarının duraylılık hesapları sayılabilir.

**Elastik ve plastik şekil değiştirme problemleri:** Zeminler üzerine yük uygulandığı zaman elastik ve plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Bu şekil değiştirmelerin müsaade edilebilir sınırlar altında kalmasının sağlanması gerekmektedir.

**Zemin içinde su hareketi ile ilgili problemler:** Zeminler su geçirgenliği olan malzemeler oldukları için zemin içinde su akımı ve bununla ilgili sorunlar zemin

mekaniğinin önemli konularından birini oluşturmaktadır. Zemin mekaniği açısından önemli olan yalnızca sızan su miktarı ve hızı değil, aynı zamanda sızan suyun zemin kütleleri üzerinde uyguladığı basınçlar ve zemin davranışı üzerinde etkisi önem arz etmektedir [9].

## 2.2. Zeminin Oluşumu ve Tipleri

Zemin, daneleri arasında hava ve su bulunduran kayaçların aşınmasıyla oluşan, mineral ve kayaç tanelerinin az veya zayıf çimentolanmasıyla olabilir. Eğer ayrışma ürünleri taşınmaya uğramadan yerinde kalırsa bunlara kalıntı (rezidüel) zeminler denir. Eğer ürünler değişik bir yerden taşınıp depolanmış ise bunlara taşınmış zeminler denir. Taşınmış zeminler çakıl, kum, silt boyutunda olup taşıma sırasında danelerin şekil ve boyutu değişir. Üçüncü tür zeminler, yapay olarak insan gücü veya iş makinaları ile bir yerden alınarak başka bir yere depolanması ile oluşturulan zeminlere dolgu zeminler denir. Baraj dolguları istinat duvarlarının arka kısımları, çöp sahaları, deniz dolguları gibi yapılar dolgu zeminlere örnek teşkil etmektedir.

### 2.2.1. İri ve ince daneli zeminlerin özellikleri

İri taneli zeminleri temsil eden kum ile ince taneli zeminleri temsil eden kilin geoteknik özellikleri karşılaştırıldığında aşağıdaki Tablo 1'deki bilgiler elde edilir.

Tablo 2.1. Kumlar ve killerin bazı özellikleri

Özellikler	Kum	Kil
Boşluk oranı	Düşük	Yüksek
Kohezyon	Temiz iken ihmal edilecek kadar az	Yüksek su içeriğine bağlı
Sıkışma	Ani olur, azdır	Zamana bağlıdır. Konsolidasyon ile olur.

### 2.2.2. Zemin mekaniği

Mekanik ve hidrolik kanunların zeminle ilgili problemlere uygulanmasına zemin mekaniği denir. Zemin tüm kayaçların parçalanmasıyla çökelmiş çakıl, kum, kil, ve silt boyutundaki çimentosuz kayaçlardan meydana gelmektedir. Zeminlerin incelenmesinde takip edilen yöntemler birbirini tamamlayıcı özellikte olmakla birlikte, zeminlerin özelliklerini ve değişimlerini belirlemeden, zeminlerin davranışları hakkında bilgi edinmek imkânsız olacaktır. Zemin mekaniğinde ilk incelemeler arazi çalışmalarıyla başlamakta olup, arazi incelemelerinde kullanılan yöntemleri aşağıdaki gibi gösterebiliriz.;

1. Temel Sondajlar
2. Numune veya gözlem çukurları
3. Sonda
4. Jeofizik yöntemler (rezistivite, sismik)

Arazi incelemeleri sırasında alınan ve zemini temsil eden numuneler zemin mekaniği laboratuvarlarında incelemelere tabi tutulur. Bu incelemeler zeminlerin sınıflandırılmasıyla başlar.

Fiziksel Özellikler :

- Doğal su içeriği belirlenir ( $w_n$ ),
- Birim hacim ağırlığı belirlenir ( $\gamma_n, \gamma_k$ )
- Gözeneklilik ( $n$ ),
- Boşluk Oranı ( $e$ ),
- Hava içeriği ( $A_v$ )
- Doygunluk derecesi ( $S_r$ )
- Yoğunluk ( $\rho$ ) ve bunun gibi özellikler.

Mekanik Özellikler :

- Tek eksenli basınç direnci ( $q_u$ ),

Kayma parametrelerinden :

- Kohezyon ( $c$ )

-İçsel sürtünme açısı ( $\phi$ ),

Oturma Özellikleri :

-Şişme yüzdesi,

-Şişme basıncı,

-Hacimsel sıkışma katsayısı ( $\mu$ ),

-Konsolidasyon katsayısı ( $c_v$ ),

Bu özellikler belli yük altındaki incelendiğinde, zeminin muhtemel davranışları belirlenmektedir. Yukarıda işaretlenmiş özellikler örselenmemiş numune için hesaplanmakta olup, zeminin özellikleri hakkında arazide veya yerinde (insitu) deneyler yapmak koşuluyla bilgi edinebilir [10].

### 2.2.3. Zemin mekaniğinin gayesi

Zemin, inşaat mühendisliğindeki manasıyla kayaların dağılmasından oluşan danelerin meydana getirdiği çökelti ve birikintilere verilen addır. Yani, bir bağlayıcı madde ile tamamen veya kısmen çimentolanmamış değişik türden mineraller, organik atıklar, su ve hava karışımından oluşan bir gereç olarak tariflenebilir.

Zemin heterojen bir yapıya sahiptir ve bu sebepten de davranışına etki eden birçok karmaşık özelliği mevcuttur. İşte bu heterojenlik maalesef kum, çakıl ve killerin davranışlarının bilimsel etüdünü çok uzun bir zaman geri bırakmıştır. Bu malzemenin mahiyeti hakkında prensipler şeklinde gelişmiş ve çok sayıdaki uygulamalardan çıkarılmış sonuçlar yardımı ile açık bir anlayış teşekkül edinceye kadar zeminin bir yük taşıyıcı yapı olarak, bilimsel bir şekilde etüdüne imkan yoktu. Bilgilerin toplanmasının yavaş olması buna karşın inşaat işlerinin hızla ilerlemesi insanları küçük yapılardan edindikleri tecrübeleri daha büyük mühendislik işlerine uygulamaya zorladı. Bunun sonucunda zaman zaman istinat duvarlarında, temellerde ve dolgularda zemin özelliklerinin iyi bilinmemesinden kaynaklanan göçmeler meydana geldi. Meydana gelen bu göçmelerin etüdü zeminlere ait yeterli bilginin zamanla toplanmasını temin ederek, zemin mekaniğinin gelişmesine olanak sağlamıştır [11].

### 2.3. Kil Mineralleri

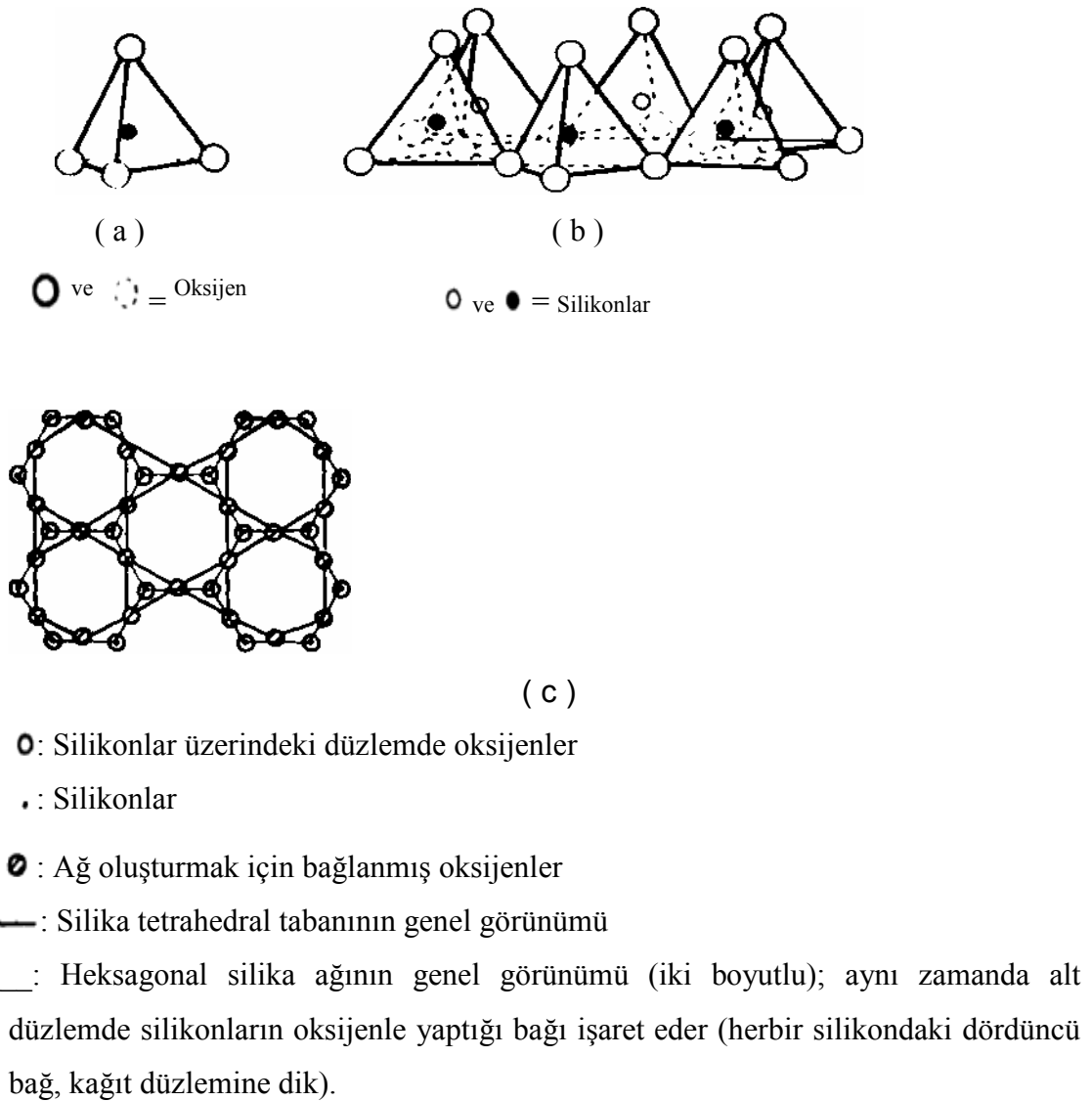
İnşaat mühendisliğinde kil denildiği zaman daha çok killi zemin kastedilmektedir. Killi zeminden anlaşılan ise bileşenleri kil mineralleri ile bir kısım diğer minerallerden oluşan, plastisitesi olan, "kohezyonlu" bir zemindir. Fakat, tüm ince taneli zeminler kohezyonlu veya kil olmak durumunda değildir. Siltler de ince tanelidir. Kil taneciklerinde olduğu gibi münferit silt daneleri de çıplak gözle ayırt edilemezler; fakat, siltler kohezyonlu ve plastik değildirler. Çok ince daneli kohezyonsuz zeminlere bir diğer örnek de kaya unudur.

Bir zemin kütlesi içinde az miktarda dahi olsa kil minerallerinin varlığı o kütlenin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Kil miktarı arttıkça zeminin davranışı kilin özellikleri tarafından kontrol edilir. Kil içeriği yaklaşık % 50 olduğu zaman kum ve silt taneleri aslında bir hamur içinde yüzen daneler gibidirler ve mühendislik davranışı üzerindeki etkileri de çok düşüktür [12].

Kil mineralleri, kayaçları oluşturan birincil minerallerin ayrışmasıyla oluşurlar. Bu nedenle de ikincil silikatlar olarak adlandırılmışlardır. Killerin oluşumu, yıpranan ana kayaçtan kopup taşınan parçaların bir başka ortamda çökmesi, ya da ana kayacın ayrışma ürününün yanı başında kalması sonucudur [11].

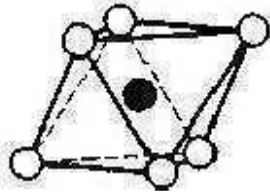
Tüm kil mineralleri çok küçük boyda (çapları 1  $\mu$  m'den küçük) olup sadece elektron mikroskopu ile görülebilirler. Münferit kristaller küçük katmanlardan oluşmaktadır. X ışını kırınım (XRD) çalışmaları bu levhacıkların, atomik yapısı tekrarlanan çok sayıda kristal levhalarından meydana geldiğini göstermiştir. Aslında, tetrahedral veya silika ile oktahedral veya alümina olmak üzere sadece iki çeşit kristal levhası bulunmaktadır. Bu levhaların değişik bağlarla ve farklı metalik iyonlarla birbirine bağlanmasıyla değişik kil mineralleri oluşmaktadır [12].

Tetrahedral levha tek silis atomunu kuşatan dört oksijen atomundan oluşan silika tetrahedral birimlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Şekil 2.1a'da tek silika tetrahedronu; Şekil 2.1b'de de her bir tetrahedronun tabanındaki oksijen atomlarının birleşerek bir levha yapısını nasıl oluşturduğu görülmektedir. Her bir tetrahedronun tabanındaki oksijenler aynı düzlem üzerindedirler ve düzleme katılmayan oksijen köşelerinin hepsi aynı yönü işaret eder. Her bir tetrahedronun tabanındaki oksijen atomlarının iki tetrahedrona bağlı oluşunu ve komşu silis atomlarının bağlantı şeklini gösteren silika levhasının tepeden görünümü Şekil 2.1c'deki gibidir [12].



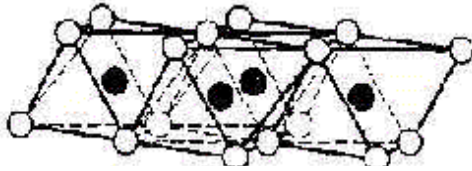
Şekil 2.1. (a) Tek silika tetrahedronu (b) Silika levhası veya tetrahedralin izometrik görünümü (c) Silika levhasının tepeden görünümü [12]

Oktahedral levhalar alüminyum, magnezyum, demir veya diğer atomları kuşatan altı oksijen veya hidroksilden oluşan oktahedral birimlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Tek oktahedron Şekil 2.2a'da, oktahedronların birleşerek bir levha yapısını oluşturması ise Şekil 2.2b'de görülmektedir. Oksijen veya hidroksillerin levhadaki dizileri iki düzlem üzerindedir. Oktahedral levhada farklı atomların nasıl paylaşıldığını ve bağlandığını tepeden görmek için Şekil 2.2c'ye bakınız [12].



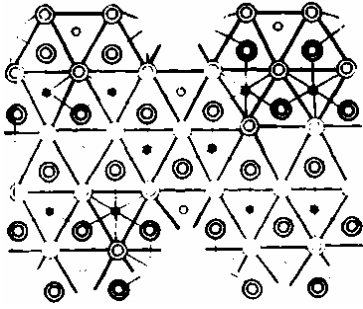
(a)

○ ve ○ : Hidroksil veya oksijen



(b)

● : Alüminyum, magnezyum v.b.



(c)

⊙ : Üst düzlemdeki hidroksiller

● : Alüminyumlar

○ : Boş oktahedral pozisyonlar

⊙ : Alt düzlemdeki hidroksiller

— : Hidroksillerin alt düzlemine paralel alüminyum oktahedral yüzeylerinin genel görünümü

Şekil 2.2. (a) Tek alüminyum oktahedronu (b) Oktahedral levhasının izometrik görünümü (c) Oktahedral levhasının tepeden görünümü [12]



Oktahedral levhada farklı katyonların yer değiştirmesi çok yaygın bir süreç olup bunun sonucunda farklı mineraller ortaya çıkmaktadır. Oktahedronlar her zaman bir katyon bulundurmayaabilirler. Böyle durumlarda kristal yapısı nispeten farklı, özellikleri az çok değişik, farklı kil mineralleri söz konusudur. Örneğin, bir oktahedral levha içindeki tüm anyonların hidroksilden oluşması ve katyon pozisyonlarının üçte ikisinin alüminyum ile doldurulmasıyla oluşan mineral gipsit olarak adlandırılır. Levhadaki alüminyum yerine magnezyumun geçerek katyon pozisyonlarını doldurması ile oluşan mineral brisit olarak adlandırılır.

Temel levha yapısındaki değişimler bilinen kil minerallerinden onlarcasını oluşturmaktadır. Tüm kil mineralleri, belirli bir katyonu içeren tetrahedral veya oktahedral levhaların değişik şekillerde bir araya gelmeleriyle meydana gelmiş olup temel olarak iki levhadan oluşmaktadır [12].

### **2.3.1. Kil minerallerinin tanınması**

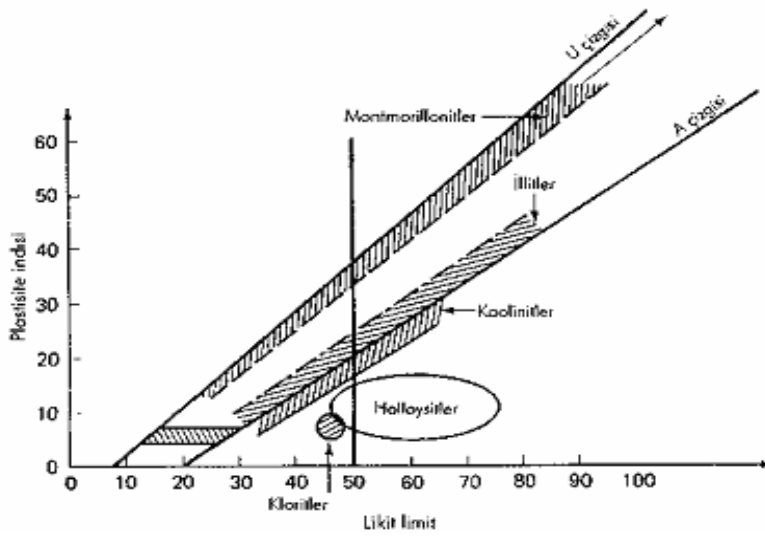
Kil mineralleri çok küçük olduklarından, diğer bilim dallarında kullanılan optik mineraloji teknikleri ile kil minerallerini teşhis etmek olanaksızdır. Malzeme bilgisinden de hatırlanacağı üzere, kristal yapısı düzenli malzemeler X ışını kırarlar. Farklı kristal yapısına sahip minerallerin X ışını kırınımı (patern) da farklıdır. Ancak yaygın minerallerin paternlerinden faydalanarak, elimizde yapısını bilmediğimiz mineralin patern'ini karşılaştırmak suretiyle killeri tanımlamak mümkündür.

Kil minerallerinin karışımından oluşan zeminler, organik madde içeren zeminler, kilden başka mineral içeren zeminler ve karışık tabakalı kil minerali içeren zeminlerde killerin tanımlanması açısından birtakım sorunlar yaşanmaktadır. Ayrıntılı bir nicel analiz mümkün olmamakla birlikte söylenebilecek tek şey zeminde hangi minerallerin kabaca hangi oranlarda bulunduğudur.

Kil minerallerinin teşhisinde kullanılan bir diğer teknik de diferansiyel termal analizdir ( DTA). Bileşimi bilinmeyen bir zemin örneği bir asal kontrol maddesi ile birlikte etüv'de birkaç yüz dereceye kadar ısıtılır ve kil minerallerinin özel

yapılarından dolayı ıslarlarda belli değişiklikler meydana gelebilir. Bu ısı değişimleri bazı mineraller için belirli ıslarlarda meydana gelir ve bu değişikliklere ait kayıtlar bilinen mineraller ile karşılaştırılır [12].

Prof. Casagrande tarafından önerilen basit bir yaklaşım Atterberg limitlerinin kullanılmasıdır. Montmorillonit, kristal boylarının çok küçük ve plastisite indisinin yüksek olmasından dolayı ileri derecede aktiftir. Casagrande'nın plastisite diyagramının kullanımı en azından mühendislik bakış açısından bize gelişmiş DTA analizlerin verdiği kadar bilgi verebilir. Bu prosedür Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Casagrande'nin plastisite kartında yaygın kil minerallerinin lokasyonları [12]

Bize düşen sadece PI (Plastik limit) –LL (Likit limit) diyagramında numunenizin yerini tespit etmek ve lokasyonunu bilinen minerallerinki ile karşılaştırmaktır. Numunenizin plastisite diyagramında A hattının çok üstünde ve U hattına yakın bir yere düşmesi numuneniz içerisinde montmorillonit gibi çok miktarda aktif mineral bulunduğunu işaret eder. Zemin sınıfı CL çıksa dahi (mesela kumlu kil gibi) U hattına yakın yere düşüyorsa zeminin kil bileşeni egemen olarak montmorillonitden oluşmaktadır. Nispeten inaktif olan kaolinitler A hattının hemen altına düşerler. Teknik olarak kil olsalar da ML (Düşük plastisiteli silt)-MH (Yüksek plastisiteli silt) malzemeleri gibi davranırlar [12].

### 2.3.2. Spesifik yüzey

Bir malzemenin yüzey alanının, kütesine veya hacmine oranına spesifik yüzey denir.

$$\text{spesifik yüzey} = \frac{\text{yüzey alanı}}{\text{hacim}} \quad (2.1)$$

Spesifik yüzeyin fiziksel önemi 1x1x1 cm, mm,  $\mu$  m boyutlarındaki bir küp yardımıyla ifade edilebilir.

Buradan anlaşılmaktadır ki zemin ister küp şeklinde isterse düzensiz şekilli tanelerden oluşmuş olsun, büyük parçaların birim hacim başına düşen spesifik yüzeyleri küçük tanelerinkinden daha küçüktür. Kütle cinsinden spesifik yüzeyi elde etmek için yapmamız gereken şey hacim cinsinden verilen değeri tane yoğunluğu  $\rho_s$  'ye bölmektir.

Yukarıdaki 1x1x1 cm, mm,  $\mu$  m boyutlarındaki numuneleri ıslatmak gerekseydi, 1mm boyutlarındaki kübün tüm yüzeylerini ıslatmak için gerekli su miktarı, boyutu 1cm olanın tüm yüzeylerini ıslatmak için gerekli olan suyun on misline eşit olurdu. Burada dikkati çekmek istediğimiz husus 1mm boyutundaki kübün tek olmayıp, 1cm<sup>3</sup> 'lük kübü dolduran mm<sup>3</sup> 'lük küplerden oluşmasıdır. Yukarıda bahsedilen örneğin tersi düşünülecek olursa ince nemli ince daneli zeminden uzaklaştırılacak suyun iri daneli malzemeye göre çok daha fazla olacaktır [12].

Mühendislik uygulamalarında ve özellikle geoteknik bilim dalında bizi ilgilendiren kısmı, bu suyun yapacağımız yapı üzerindeki deformasyonları ve zararlarını minimuma indirmek, yahut da herhangi bir çözüm yolu araştırmak olacaktır.

Spesifik yüzey bir zeminin tane boyu ile ters orantılı olup zemin taneciklerinin şekilleri düzensiz ve hesap yapmaya uygun olmadığından pratikte spesifik yüzey hesapları yapılmamaktadır. Ancak, ince taneli bir zeminin spesifik yüzeyinin iri daneli zemininkinden çok daha yüksek olacağını söylebiliriz. Spesifik yüzey

kavramından hareketle ince daneli zeminlerin doğal olarak yapısına katabileceği su oranı (boşluk oranı ve zemin yapısı gibi fiziksel özelliklerin tümü aynı olmak şartıyla) iri daneli zeminlerden daha fazla olacağı şüphesizdir.

Yine, beton ve asfalt malzemelerde spesifik yüzey önemli bir unsur olup, yeterince çimento veya sıvı asfaltın agrega yüzeylerini sıvaması gerektiği önemli bir detaydır [12].

### **2.3.3. Kil mineralleri ile su arasındaki etkileşim**

Zeminlerin davranışı üzerinde suyun önemli bir faktör olduğu şüphesizdir. Ancak, granüle zeminlerin davranışı üzerinde suyun önemli sayılacak bir etkisi yoktur.

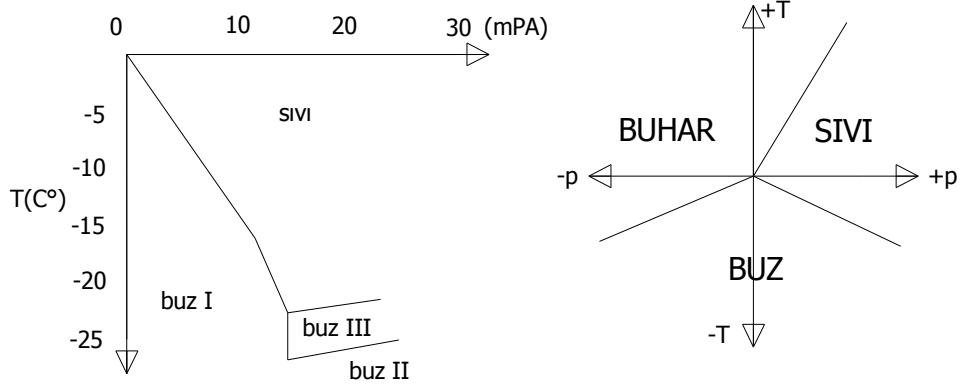
Diğer taraftan ince daneli (özellikle kil) zeminler suyun varlığından önemli derecede etkilenirler. Bu etkileşimi incelemeyen önce suyun özelliklerini bilmek gerekir.

#### **2.3.3.1. Suyun özellikleri**

Su, benzer diğer kimyasal bileşiklerle karşılaştırıldığında olağanüstü bir sıvı olarak belirlemektedir. Donma ve kaynama sıcaklığı anormal derecede yüksektir. Moleküler ağırlığına bakıldığında bileşikler arasında en hafif altıncısıdır. Periyodik tabloda aynı kolon ( $H_2S$ ) veya aynı sıradaki ( $NH_3$ ) elementlerinin hidrojen bileşiklerine bakıldığında bir gaz olması gerekirken yapısındaki hidrojen bağları nedeniyle sıvı halde bulunmaktadır. Bir sıvı olarak ise katıların özelliğini yansıtmaktadır. Bunun nedeni atomik yapısındaki dengesizliktir. Yapısında pozitif ve negatif yükleri birlikte taşıyan bir molekül olmakla birlikte, bu özelliğinin belirtisi ‘ıslatıcı sıvı’ niteliği ve kili çamurlaştırmasıdır.

Atmosfer koşullarında ise su  $0^{\circ}C$ ’de donmakta ve donma olayı ortam basıncının  $220 N/mm^2$ ’ye yükselmesiyle düşmektedir. Şekil 2.4’de suyun faz diyagramları verilmektedir. Buradan suyun  $-20^{\circ}C$  ye kadar sıvı halde kalabildiği görülebilir. Öte yandan 0 (sıfır) noktasında suyun her üç fazda da bulunabileceği gösterilmiştir. Bu nedenlerden dolayı, yeraltı suyu zeminle yakın bir ilişki içindedir ve kil doğada

yüzeiden sıazan yağmur suyuyla bir araya geldiği gibi hidrotermal koşullarda da termal suyuyla karşılaşabilir [11].



şekil 2.4. Suyun buza dđnüşümü ve üçlü noktası [11]

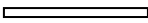

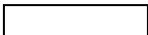
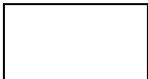
### 2.3.3.2. Kil–su sistemi

Zeminler, çölller gibi özel durumlar dışında hemen hiçbir zaman sudan ayrı bulunmazlar. Bu nedenle kil-su ilişkileri özel olarak incelenir. Aralarındaki uzaklığa bağlı olarak, iki cisim arasında karşılıklı itme ve çekme kuvvetlerinin varlığı fiziğin temel kavramlarından biridir. Bu kuvvetler elektron bulutlarının karışması ile beliren itme kuvveti; maddenin maddeye çekişini gösteren Van der Walls kuvveti olarak da özetlenebilir. Aynı kurallar doğal olarak killer için de geçerlidir. Ancak killerin yüzey alanı boyutu ve kütlesine oranla öylesine büyüktür ki insanın günlük yaşamında cisimler arasında varlığını fark edemediği bu kuvvetler kil boyutuna inildiğinde, özellikle kilin su ortamında bulunması durumunda, dengeyi tümüyle etkileyebilmektedir. Su içinde bulunan ve özgül ağırlığı suyunkinin üç katına varan killerin çok uzun süre dibe çökmeden yüzebilmeleri bu özelliğin basit bir göstergesidir.

Su içeriğinin değişimi ile killerde plastisite değişir. İnce daneli zeminlerin davranışında dane boyu dağılımının fazla bir önemi olmamaktadır. Oldukça küçük sayılabilecek kil minerallerinin spesifik yüzeyleri çok büyük olup bunların çok aktif yüzeylere sahip oldukları düşünülür [11].

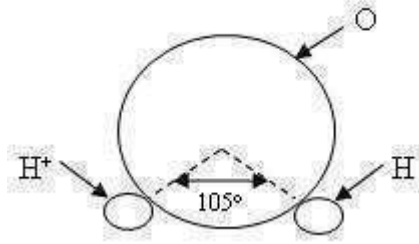
Yaygın olarak bulunan dört kil mineralinin göreceli boyları ve spesifik yüzeyleri Tablo 2.2’de görülmektedir. En büyük kil minerali olan kaolinitin kalınlığı veya kenar boyutu  $1 \mu\text{m}$  olup en küçük mineral olan montmorillonitin kalınlığı sadece birkaç nanometredir. Kristallerin ortalama ‘çapları’ kabaca aynı olduğundan spesifik yüzeylerinin çok farklı olması normaldir. Elbette ki bozuşma ve diğer faktörlere bağlı olarak kristal boylarında çok daha büyük değişimler söz konusudur; ancak, verilen değerler ortalama değerlerdir. Yüzey aktivitesi dane boyuna bağlı olduğundan montmorillonitin neden kaolinitden daha ‘aktif’ olduğunu görebiliriz.

Tablo 2.2. Yaygın kil minerallerinin göreceli boyutları, kalınlıkları ve spesifik yüzeyleri [12]

<b>Kenar Görünümü</b>	<b>Tipik Kalınlık (nm)</b>	<b>Tipik Çap (nm)</b>	<b>Spesifik Yüzey (<math>\text{km}^2/\text{kg}</math>)</b>
 Montmorillonit	3	100-1000	0.8
 İllit	30	10000	0.08
 Klorit	30	10000	0.08
 Kaolinit	50-2000	300-4000	0.015

Kil mineralleri doğal haldeyken daima hidratlıdır; yani her bir kil kristalini çevreleyen su tabakaları vardır. Bu su ‘absorbe’ su olarak adlandırılır. Su elektriksel olarak nötr olsa da biri pozitif biri negatif olmak üzere iki değişik yük merkezi bulunmaktadır. Bu sebeple bir su molekülü kil kristalinin yüzeyi tarafından elektrostatik olarak çekilmektedir.

İkinci olarak, su kil kristali tarafından hidrojen bağı ile tutulur yani sudaki hidrojen kil yüzeyindeki oksijen ve hidroksiller tarafından çekilmektedir. Bir başka faktör ise, negatif yüklü kil yüzeyinin su içindeki katyonları çekmesidir. Bu saydığımız üç faktörden en önemlisi hidrojen bağı olmaktadır (Bkz Şekil 2.5).



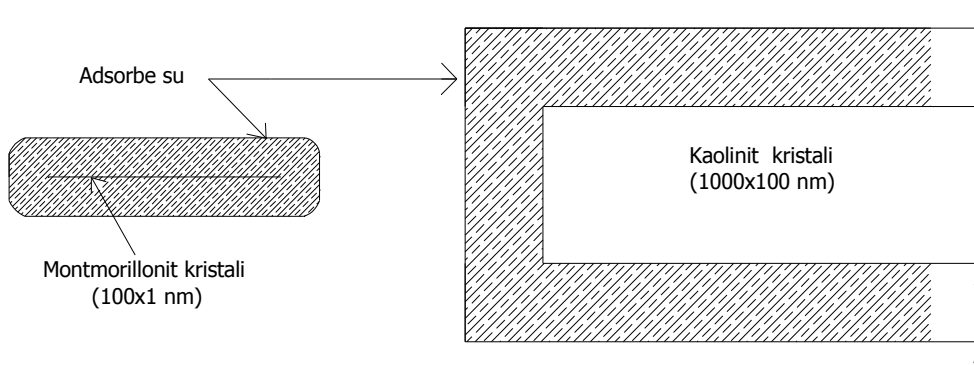
Şekil 2.5. Bir su molekülünün şematik diyagramı [12]

Suyun kil yüzeyine çekilmesi kil yüzeyine yakın kesimde çok kuvvetli; yüzeyden uzaklaştıkça giderek azalmaktadır. Tam yüzeyde su molekülleri çok sıkıca tutulur ve kuvvetlice yönlendirilir. Ölçüm sonuçlarına göre kil yüzeyine yakın suyun termodinamik ve elektrik özellikleri "serbest suyunkinden" daha farklıdır [13].

Kil kristalinin yüzeyindeki negatif yükün kaynağı kristal kafesindeki (özellikle yüzeydeki) kusurlardan ileri gelmektedir. 'Kırık' kenarlar kristal kenarlarındaki dengesiz yük oluşumuna önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Kristaller elektriksel olarak nötrleşme eğiliminde olduklarından, mevcut negatif yüke bağlı olarak sudaki katyonlar kil yüzeyi tarafından kuvvetlice çekilir. Değişik kil türlerinin yük dengesizlikleri de farklı olup değişebilir katyonları çekme eğilimleri de farklıdır. Göreceli boylarından ve spesifik yüzeylerinden de tahmin edileceği gibi montmorillonitin yük dengesizliği oldukça büyüktür ve değişebilir katyonlar için kaolinitten çok daha fazla çekim gücüne sahiptir. Aynı zamanda illit ve klorit minerallerinin arada bir yerde olduğu söylenebilir [12].

Şekil 2.6'de su absorblanmış bir kil partikülünün, aynı zamanda absorblanmış su tabakaları içeren sodyum montmorillonit ve kaolinit kristalleri de verilmiştir. Absorblanmış suyun miktarının yaklaşık olarak aynı fakat boyut farklılığından dolayı

montmorillonitin daha yüksek aktiviteye, daha yüksek plastisiteye, daha büyük şişme ve büzölmeye sahip olacağını, yükleme şartlarında daha fazla hacim değişimine maruz kalacağı şüphesizdir.



Şekil 2.6. Sodyum montmorillonit ve sodyum kaolinit üzerindeki adsorbe su tabakalarının göreceli boyutları [12]

### 2.3.3.3. Kil partiküllerinin etkileşimi

Kil partikülleri absorbladıkları su tabakası ile etkileşim halindedirler. Kil partikülleri elektrostatik olarak birbirini iterler. Bu olay iyon konsantrasyonuna, partiküller arası mesafeye gibi etkenlere bağlıdır. Aynı şekilde, hidrojen bağı, van der Waals kuvvetleri ve diğer çeşit kimyasal ve organik bağlara olan eğiliminden dolayı münferit partiküllerin çekimi söz konusu olabilir [12].

## 2.4. Killi Zemin Yapısı ve Dokusu

Geoteknik mühendisleri zemin yapısını partiküllerin veya minerallerin geometrik dizilimi ve bunlar arasında etkiyen partiküller arası kuvvetler şeklinde tanımlamışlardır. Zemin dokusu ise sadece partiküllerin geometrik dizilimini ifade eder.

Granüle veya kohezyonsuz zeminlerde partiküller arası kuvvetler çok düşüktür. Bunun aksine, ince daneli kohezyonlu zeminlerde partiküller arası kuvvetler oldukça büyüktür. Bu nedenle, ince daneli zeminlerin yapısında bu kuvvet ve doku birlikte

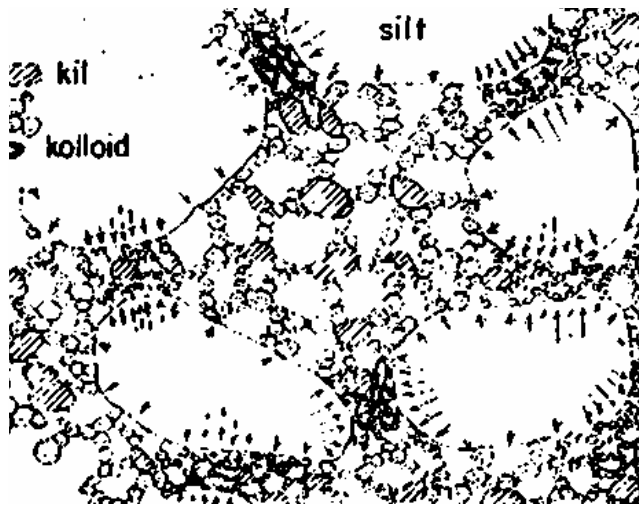


gözetilmelidir. İnce daneli zeminin yapısı o zeminin mühendislik davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle geoteknik mühendisleri kohezyonlu bir zemin ile karşılaştıklarında, bu zeminin yapı ve dokusunu en azından nitel olarak göz önüne almak ve değerlendirmek durumundadırlar.

İnce daneli kohezyonlu zeminlerin yapısına ait tam bir tanımlama için, partiküller arası kuvvetler ve partiküllerin geometrik dizilimine ait bilgilerin mevcut olması gerekir. Ancak, partiküller arası kuvvet alanlarının ölçülmesi tam olarak mümkün olmadığından dolayı kohezyonlu zemin yapısı ile ilgili çalışmalar bu zeminlerin sadece dokusunu ele almakta, partiküller arası kuvvetler ise bu dokusal özelliklerden yola çıkarak tahmin edilebilmektedir [12].

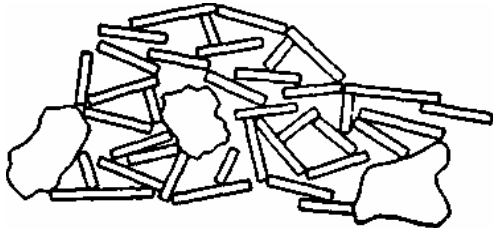
#### 2.4.1. Kilde doku ve yapı

Yüzey kimyası prensiplerinin geoteknik mühendisliğinin kullanımına sunulmasından önce kil içeren zeminlerde özel bir yapı olduğu ve bu yapının ortamın birçok özelliğine bağlı olarak değiştiği Casagrande tarafından gösterilmiştir (Bkz Şekil 2.7).

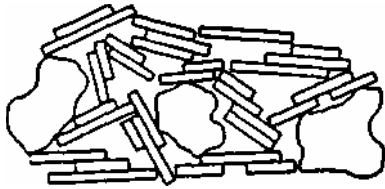


Şekil 2.7. Casagrande'nin ilk doku modeli ( 1932 ) [11]

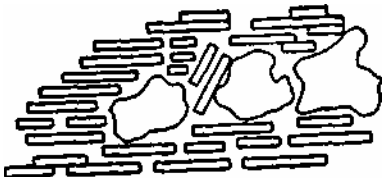
1950'li yıllardan başlayarak killerin yüzey aktivitesinin anlaşılmasıyla doku ve yapı kavramları Şekil 2.8'de aynı kilin (a) tatlı suda (b) çökmesi (c) yoğrulduktan sonra Lambe tarafından ortaya konulan yapı, tarihsel gelişimi göstermek amacıyla verilmiştir. Bu modelde kil plakaları silt daneleri çevresinde dizilmektedir (Bkz Şekil 2.8).



( a ) Tatlı suda



( b ) Çökmesi durumunda



( c ) Yoğrulduktan sonra

Şekil 2.8. Lambe'e göre kil yapısı ( 1958 ) [11]

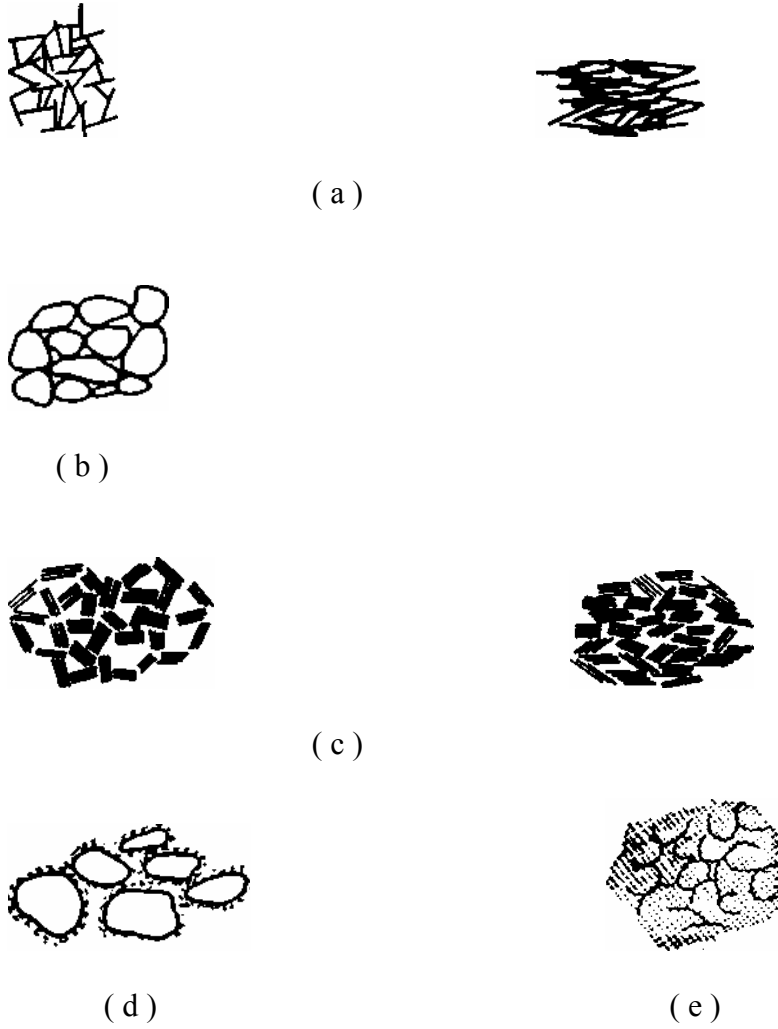
Doku; kilde daneler, danelerin oluşturduğu kümeler, bunların arasında oluşan boşluklar ve bunların dağılımını üç boyutlu olarak tarif etmektedir. Yapı; ise doku, mineral içeriği, ve daneler arası kuvvetleri yansıtan daha geniş kapsamlı bir terim olmaktadır. Doku bazen gözle tanımlanabildiği gibi mikroskop altında da tanımlanabilir. Yapı ise daha ziyade elektron mikroskopunda incelenebilmektedir [11].

#### **2.4.2. Dokunun ayrımı**

Killer özel durumlar dışında saf olarak bulunmadıklarına göre; daha büyük boyutlu silte ince kum karışıma girdiğinde kilin daneler arasında köprü görevi yaptığı, bazen de kümelendiği dikkate değer bir hususdur. Su-kil karışımlarında danelerin birbirleriyle ilişkileri başlıca dört şekilde tariflenmektedir.

- (a) Dağınık: Kil daneleri arasında yüz yüze dokunma yok.
- (b) Kümelenmiş: Birçok kil danesi arasında yüz yüze dokunma var.
- (c) Yumaklanmış: Kil kümeleri arasında yüz-yüze ve kenar-yüze dokunma oluşmuş.
- (d) Ayrık: Daneler kümelенmiş ancak kümeler arasında bağ yok.

Sistemde su miktarının asılı (su-kil karışımı) oluşturacak düzeyde olmadığı durumlarda ise Şekil 2.9'da görüleceği gibi ideal doku geometrileri verilmiştir. Aradaki fark azalan su muhtevassından kaynaklanmaktadır [11].



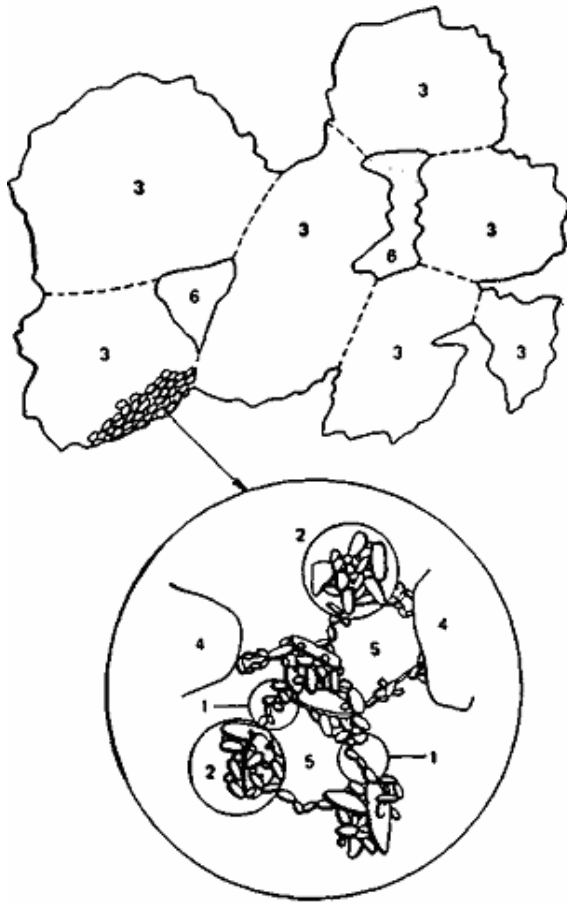
Şekil 2.9. Temel partikül diziliminin şematik görünümü [11]

Şekil 2.9 ; (a)'da münferit (bireysel) kil levhacığı etkileşimi, (b)'de münferit silt veya kum partikülü etkileşimi, (c)'de kil levhacıklarının grup etkileşimi, (d)'de kile kaplanmış veya giysili silt veya kum partikülü etkileşimi, (e)'de kısmen ayırt edilebilir partikül etkileşimi veya tam belirginleşmemiş dizilim görülmektedir.

Birkaç kil partikülünden yola çıkarak kohezyonlu zemin dokularını basit bir sistem içinde sınıflamak gerçekte mümkün değildir. Tek tane veya tek partikül oluşumları tabiatta sık gözlenen bir olay değildir ve sadece bazı özel çevre şartlarındaki çok sulu su- kil ortamlarında gelişmektedir. Taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile gerçek kil zeminler üzerinde son zamanlarda yapılan çalışmalar münferit kil partiküllerinin daima agrega veya topaklaşmış halde gruplanmış olarak alanlar teşkil ettiğini

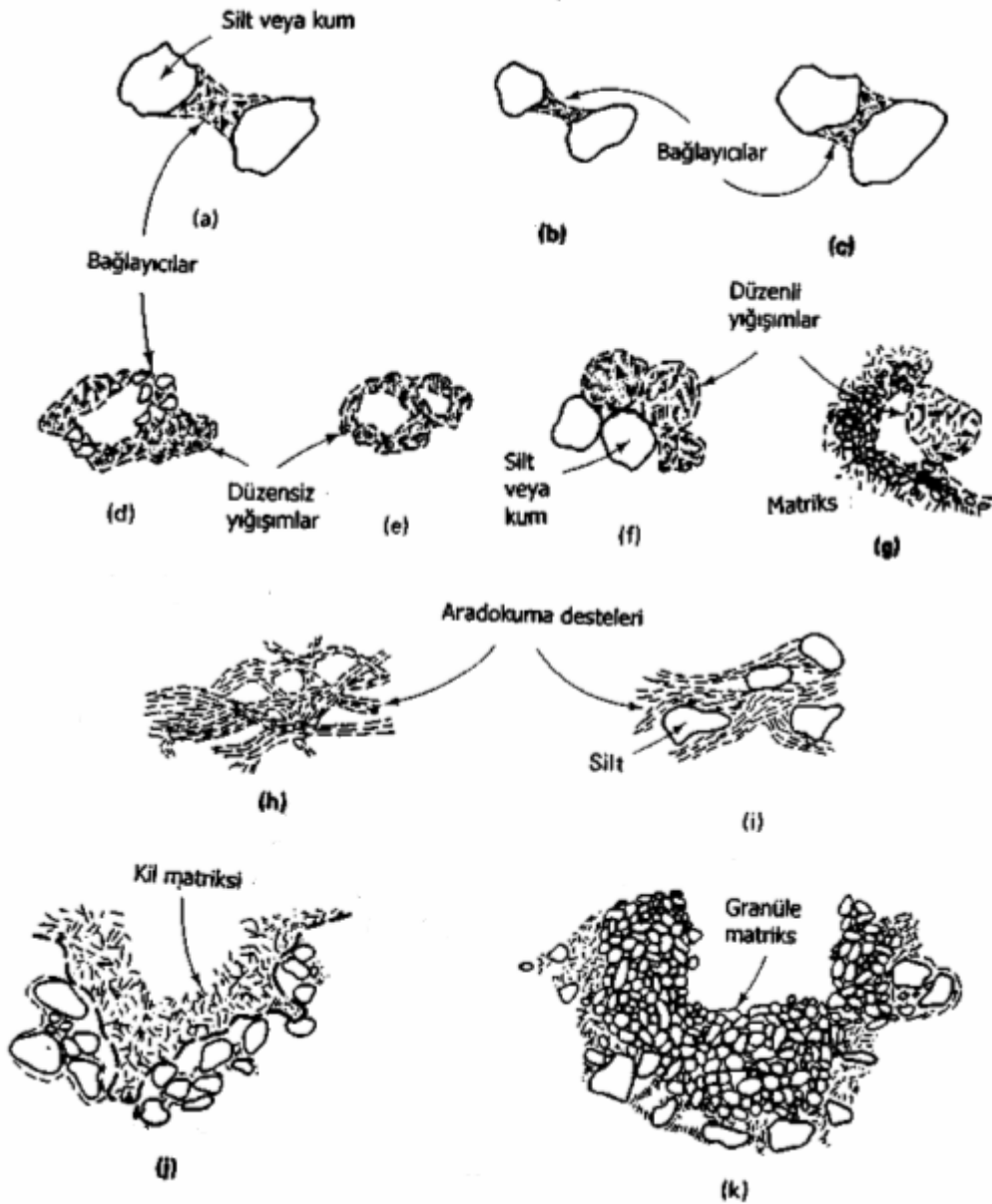
göstermektedir. Alanlar bir araya gelmek suretiyle görünür ışık mikroskopunda görülebilecek kadar büyük olan kümeleri oluşturmaktadır. Kümeler de bir araya gelerek topakları ve hatta topak gruplarını oluşturmaktadır. Topaklar mikroskop olmadan görülebilmektedir [12].

Şekil 2.10'da dane dizilimleri ile oluşan mikro ve makro doku açıklanmaktadır. Burada küçük daneden başlayarak gözle görülebilen dokuya geçiş gösterilmektedir. Tekil kil pulcuklarının oluşturduğu diziler, özellikle silt ve kum daneleri (4) etrafına toplanarak demetleri meydana getirir (2). Demetler arasında gözle görülemeyen mikro boşluklar belirlemektedir. Demetlerin bir araya gelmesi gözle de görülebilen topakları oluşturur (3). Topaklar arasında ise gözle seçilebilen makro boşluklar bulunmaktadır (6).



Şekil 2.10. Mikro ve makro boşluklar ve doku [11]

Şekil 2.11’de gerçek killi zeminde makro ve mikro dokunun açıklaması daha basitçe görülmektedir. Burada iri silt veya kum danelerinin kil bağlayıcılarla köprülenmesi bundan sonra su muhtevası ve ortamın kimyasal özelliklerine göre yapının belirmesi modellenmiştir. Başka bir deyişle partikül toplulukları bir veya daha fazla elementer partikül dizilimi veya daha küçük partikül topluluklarını ihtiva eder.



Şekil 2.11. Dane dizilimlerinin oluşması [11]

İnce daneli zeminlerin makro yapısı mühendislik uygulamalarında zemin davranışı açısından önem taşımaktadır. Çatlak içeren bir zemin kütlesinin dayanımı, çatlak içermeyen aynı zemine göre genelde daha düşük olacaktır. Bunun içindir ki, kusurun uygulanan mühendislik gerilmeleri için elverişsiz bir yönde gelişmesi halinde zeminde duraysızlık veya yenilme söz konusu olabilir. Bir kil tabakasının drenajı silt veya kum damarını varlığından önemli ölçüde etkilenecektir. Sonuç olarak, stabilite veya oturma gibi durumları içeren mühendislik problemlerinde geoteknik mühendisi kilin makro yapısını dikkatlice incelemelidir.

Mikro yapı ise, zemin davranışını genel olarak anlamamıza yardımcı olur. Bir kilin mikro yapısı onu içeren çökelin jeolojik ve gerilme tarihçesinin tamamını yansıtır. Kilin mühendislik davranışının tayin edilmesi durumunda, o zeminin maruz kaldığı her türlü şartlara ait tüm ipuçlarının mikro yapıda gizli olduğunu söylemek mümkündür. Mikro yapı, zeminin çökeldiği ortamın çökme tarihçesini, fiziksel ve kimyasal bozuşma tarihçesini yansıtır. Bunlardan en önemlisi gerilme tarihçesi olup hem jeolojik hem de insanın doğaya müdahalesinden kaynaklanan değişimleri yansıtır [12].

Sonuç olarak, doğal olarak oluşan çoğu kil çökellerinin yapısı son derece karmaşıktır. Bu killerin mühendislik davranışı üzerinde kilin mikro ve makro yapısının önemli olduğu dikkate değer bir husustur. Mühendislik özellikleri ile mikro yapı arasında nicel bir ilişki olmamasına rağmen, mühendisler için önemli olan kohezyonlu zeminlerin yapısının karmaşıklığını ve bu karmaşıklığın kilin mühendislik davranışı üzerine etkisi olup-olmadığını bilmektir.

## **BÖLÜM 3. KİLLİ ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI**

### **3.1. Giriş**

Zeminlerin sınıflandırılması, özellikle geoteknik mühendislerinin bilgi ve tecrübelerini, birbirlerine daha rahat aktarmaları için kullanılan ortak bir dil olarak düşünülebilir. Sınıflandırmada, zeminler bazı özellikler (tane çapı vb.) açısından gruplandırılarak adlandırılır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, yalnızca zemin sınıfının tek başına bilinmesi, zeminin tüm özelliklerini belirlemede yeterli olmadığıdır. Örnek olarak, aynı cins zeminin gevşek ve sıkı durumlarda farklı özellikler ( taşıma gücü, oturma, geçirimsizlik vb.) göstermesi verilebilir. Özellikle geoteknik mühendisliği alanında yapılan çalışmalar, araştırmalar, zeminin sınıfı yada cinsi belirtilerek yayınlanır. Eğer, yapılan bu çalışma ve araştırmalarda zemin sınıfı belirtilmezse bilgilerin birikimi ve geleceğe aktarılması söz konusu değildir [14].

Dünyadaki geoteknik alanında yapılan çalışmalarda, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (Unified Soil Classification System, USCS) en yaygın kullanılan zemin sınıflandırma sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde dahil olmak üzere her ülke bu sınıflandırmada bazı küçük değişiklikler yaparak kendi ulusal zemin sınıflandırma sistemlerini oluşturmuştur.

### **3.2. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)**

Bu sistem ilk olarak II. Dünya Savaşı sırasında, havaalanı yapımında kullanılmak üzere Prof. A. Casagrande (1948) tarafından geliştirilmiştir. USCS'nin temel dayanağı, iri daneli zeminlerin dane boyutuna göre; ince daneli zeminlerin mühendislik davranışının da plastisite özelliğine göre sınıflanmasıdır. Başka bir ifade ile, mühendislik performansı ince danenin (silt ve kil) varlığından etkilenmeyen zeminler dane boyu karakteristiklerine göre; mühendislik davranışı ince daneli bileşenlerden etkilenen zeminler de plastisite karakterlerine göre sınıflandırılırlar. Bu



nedenle, bu sistemde bir zemini tamamen tanımlayabilmek için sadece elek analizi ile kıvam (Atteberg) limitleri deneylerine ihtiyaç vardır [12].

Bu kısımda, USCS'de zemin sınıflandırılması için gerekli olan elek analizi ve Atteberg limitleri deneyleri ülkemizde zemin laboratuvar deneylerinin nasıl yapılacağı hususunda kullanılan TS 1900 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri başlıklı Türk Standartı referans alınarak ele alınacaktır. Daha sonra bu deneylerde elde edilen parametreler yardımıyla sınıflandırmanın nasıl olduğu irdelenecektir.

### 3.2.1. Elek analizi

Tabii zeminleri oluşturan katı daneler çok değişik boyutlarda olabildiği gibi, aynı zemin içinde birbirinden çok farklı boyutlarda daneler bir karışım halinde bulunabilmektedir. Zeminleri bu açıdan bir sınıflandırmaya tabi tutabilmek için boyutları belirli büyüklükler arasında kalan daneleri tanımlayan bazı terimler kullanılmaktadır. Zemin daneleri büyükten küçüğe doğru çakıl, kum, silt ve kil olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır. Bu grupları birbirinden ayıran boyut aralıkları değişik sınıflandırma sistemlerinde bazı küçük farklılıklar göstermekle birlikte yaygın kabul gören sınır değerleri aşağıdaki Tablo 3.1'de gösterilmiştir.

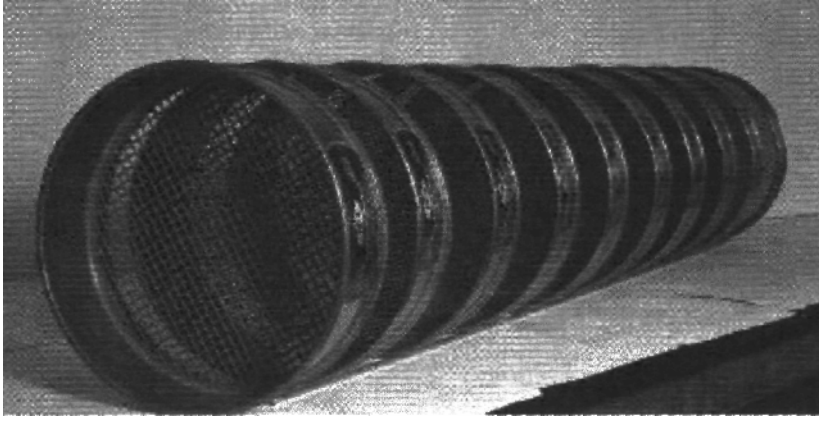
Tablo 3.1. Zemin danelerinin boyutlarına göre sınıflandırılması [9]

Zemin cinsi	Dane boyutu(mm)
Çakıl	4,75-75
Kum	0,075-4,75
Silt	0,002-0,075
Kil	<0,002

Yukarıdaki ilk iki grubu oluşturan zeminler iri daneli zeminler, siltler ve killer ise ince daneli zeminler olarak nitelendirilmektedir. Farklı çaplardaki elekler sırasıyla yukarıdan aşağıya doğru dizilir. Analizi yapılacak zemin en üstteki eleğe dökülür ve mekanik bir titreştirici yardımıyla eleme işlemi yapılır. Bir müddet sonra elekler arası geçişin olmadığı gözlemlenir ve alet kapatılır. Daha sonra her

elekteki numune ayrı ayrı tartılıp kayıt edilir. Elek analizi genellikle 80 mikron'dan büyük zemin parçaları için uygulanır.

Eleme kuru ve yıkamalı olmak üzere iki şekilde yapılır. Kuru eleme, çakıl ve temiz kumlarda bir ek işleme gerek kalmadan, eleklerin büyükten küçüğe alt alta çapların %50 azaltılarak dizilmesi ve tümünün mekanik titreştiricide çalkalanmasıyla yapılır. En ince elekten geçen malzeme alta koyulan tavanın içine birikir. Numune süt ve kil içeriyorsa eleme yapılmadan önce 80 mikron elek üzerinde yıkama yapılarak geriye sadece kum ve çakılın kalması sağlanır ve kurutulan numune elenir [9].



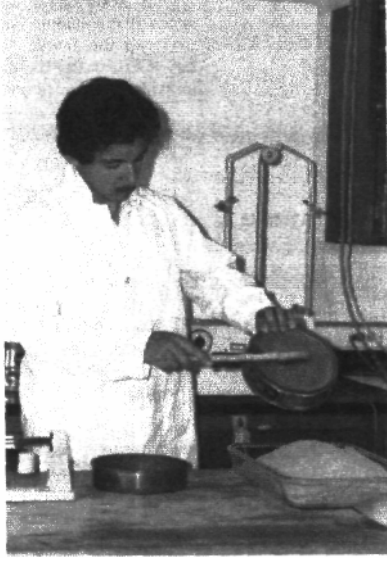
Şekil 3.1. Dane boyutu analizi için kullanılacak eleklerin dizilişi [9]



Şekil 3.2. Zemin örneğinin numune tavaşından eleklerle dökülmesi [9]



Şekil 3.3. Eleklerin mekanik titreşiriciye dizilmesi [9]



Şekil 3.4. Elek aralarında kalan numunenin fırça yardımıyla temizlenmesi [9]

### 3.2.1.1. Amaç

Elek analizi deneyi iri daneli malzeme olarak nitelendirilen kumun yüzdesini bulmak için kullanılmaktadır. Elek analizi deneyi ile silt-kil miktarları bulunamaz ancak toplam miktarları tespit edilir.

### 3.2.1.2. Kullanılan cihazlar

1. Elek serisi
2. Terazî
3. Etüv
4. Kurutma kapları
5. Yıkama aparatları
6. Piset

### 3.2.1.3. Deneyin yapılışı

Deneyin yapılış prosedürü TS1900'da aşağıdaki gibi tarif edilmiştir.

1. Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (TS1900) uygun olarak elde edilen numune, etüvde kurutulmuş numune toplam ağırlığının %0,1'ine eşit bir hassasiyetle tartılır.
2. En büyük gözlü eleğe bir tava takılır ve numune eleğe boşaltılır.
3. Elek, içerisindeki malzeme düzensiz olarak yuvarlanacak şekilde hareket ettirilir. Herhangi bir danenin eleğin gözünden geçip geçmediği elle denenebilir, ancak bu işlem sırasında daneyi zorlamamak gerekir. Elekte kalan malzeme bir havan içerisinde, lastikle kaplı havaneli ile ovulduktan sonra yeniden elenir. Böylece eleğin üzerinde tek danelerin kalması sağlanmış olur. Elekte kalan miktar tartılır.
4. Alt kapta kalan malzeme, metal bir tepsiye aktarılır ve alt kap, bir sonraki eleğe takılır. Metal tepsideki malzeme eleğe boşaltılır ve madde 3'deki işlem tekrarlanır.
5. Deneyde kullanılan bütün elekler için madde 3 ve 4'deki işlemler tekrarlanır. Elek sarsma makinesi varsa ve bütün elekler aynı çapta ise elekler üst üste takılıp malzeme bütün eleklerden aynı anda elenebilir. Bu durumda eleminin tamamlanmış olmasına özen gösterilmeli, sarsma işlemi en az 10 dakika süreyle uygulanmalıdır.

Deney sırasında eleklerden herhangi biri aşırı derecede yüklenecek olursa elektteki malzeme birkaç bölüme ayrılıp elenmelidir [15].

### 3.2.1.4. Sonuçlar

Eleme işlemi bittikten sonra her eleğin kendi üzerinde kalan tanelerin ağırlıkları 0,1 g duyarlılıkla tartılarak deney formuna yazılır. (Bkz Tablo 3.2).

Tablo 3.2: Elek analizi sonucu elek açıklığına göre geçen malzeme miktarı

<b>D (mm)</b>	<b>KALAN AğIRLIK (gr)</b>
50.00	
31.50	
16.00	
8.00	
4.00	
2.00	
0.850	
0.425	
0.212	
0.147	
0.074	
TAVA	
TOPLAM	

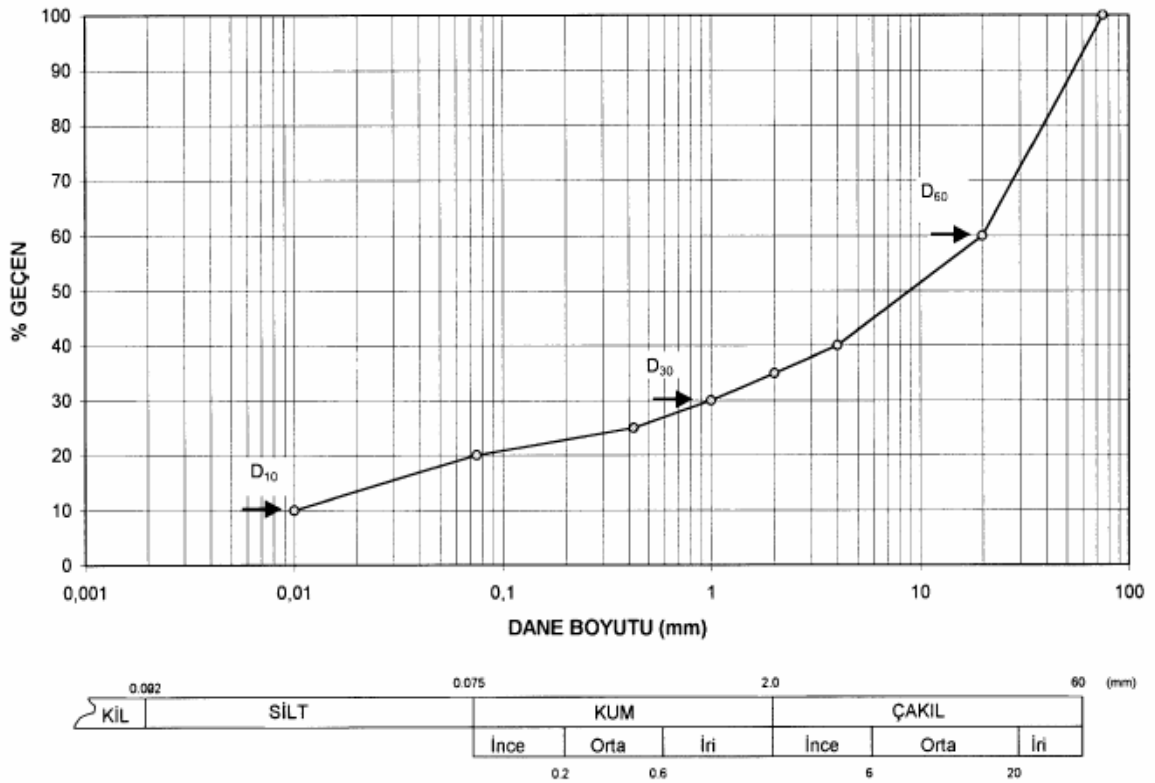
Sonraki işlemdede her bir elek için, geçen yüzde (%P) bağıntı 3.1 yardımıyla belirlendikten sonra Tablo 3.3’de ilgili sütuna yerleştirilir.

$$\%P = \frac{\text{Elekten geçen zemin miktarı}}{\text{Elemeye tabi tutulan zemin miktarı}} \times 100 \quad (3.1)$$

Tablo 3.3. Elek analizi deney formu

<b>ELEK ANALİZİ DENEYİ</b>			
Proje: Bölge:		Deneyi Yapan:	
Sondaj no:		Tarih:	
Derinlik:		Örnek Tanımı:	
<b>Elek Boyutu (mm)</b>	<b>Elekte Kalan Ağırlık (gr)</b>	<b>Toplam Geçen Ağırlık (gr)</b>	<b>Toplam Geçen Yüzde (%)</b>
50.00			
31.50			
16.00			
8.00			
4.00			
2.00			
0.850			
0.425			
0.212			
0.147			
0.074			
Tava			
TOPLAM			

**Dane dağılım eğrisi (granülometri eğrisi):** Yatay eksen de dane çapı (mm) ve düşey eksen de geçen yüzdeleri %P olmak üzere çizilen bir eğridir. Yatay eksen logaritmik olup; dane çapı genellikle soldan sağa doğru büyür (Bkz Şekil 3.5). Elek göz çapı (dane çapı, D) ve elek analizi deneyi sonrası elde edilen geçen yüzde değerleri kullanarak noktalar işaretlenir ve bu noktalar işaretlenerek Şekil 3.5'deki örneğe benzer şekilde dane dağılım eğrisi elde edilir.



Şekil 3.5. Dane dağılım eğrisi, dane dağılımı kriterleri [16]

**Üniformluluk sayısı (U veya  $c_u$ ):** Zeminin dane dağılım (granülometri) eğrisinden zemine ait bazı terimler tanımlanır. Bunlar zeminlerin sınıflandırılmasında kullanılır. Dane dağılım eğrisinde, %10 geçen yüzdesine karşılık gelen çapa (mm), *efektif çap* denilir ve  $D_{10}$  ile gösterilir. Yine dane dağılım eğrisinde %60 geçen yüzdeye karşılık gelen çap(mm)  $D_{60}$  ve %30 geçen yüzdeye karşılık gelen çap(mm) ise  $D_{30}$  ile ifade edilir (Bkz Şekil 3.5).

Burada üniformluluk sayısı (U veya  $c_u$ ) aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.

$$U \text{ veya } c_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3.2)$$



**Eğrilik (derecelenme) katsayısı ( $c_c$  veya  $c_r$ ):** Zeminlerin sınıflandırılmasında kullanılan bir başka parametre, yine dane dağılım eğrisini kullanarak elde ettiğimiz eğrilik katsayısıdır ve aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunur.

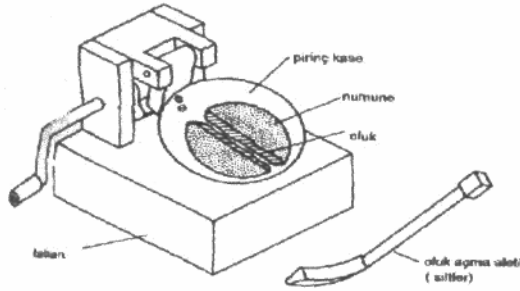
$$c_c \text{ veya } c_r = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (3.3)$$

*İyi derecelenmiş zemin*, tüm dane boyutlarından (iri, orta, ince) dengeli olarak içerir. İyi derecelenmiş zemin, eğer yüksek sıklığa sahip ise taşıma gücü, kayma direnci gibi özellikler yönünden iyi zemin olarak tanımlanır. İyi derecelenmiş zemin, *kötü derecelenmiş zemin* diye tanımlanır. Hemen hemen eşit çaplı tanelerden oluşan kötü derecelenmiş zemine *üniform zemin*, büyük ve küçük daneler içeren, ancak orta büyüklükteki daneleri eksik (veya benzer durumda) olan kötü derecelenmiş zemine *aralıklı (boşluklu) derecelenmiş zemin* adları verilir. Üniform zeminde  $c_u$ , 1'e yakındır. İyi derecelenmiş bir zeminde,  $c_c$ , 1 ile 3 arasında olmak kaydıyla,  $c_u$  çakıllarda 4'ten, kumlarda ise 6'dan büyüktür [14].

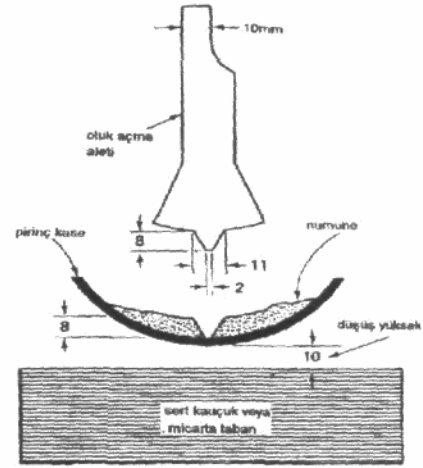
### 3.2.2. Likit limit tayini

Zeminin likit limitinin belirlenmesi, Casagrande tarafından geliştirilen alet vasıtasıyla yapılır (Bkz Şekil 3.6 ve 3.7). Şekil 3.8'den görüleceği üzere, pirinç bir tas içine yatay olarak yerleştirilip ortasına özel kaşığıyla bir oluk açılan çamurun, tas lastik tabana 10 mm yüksekten 25 kez düşürüldüğünde kapanmasını sağlayan su muhtevası olarak tariflenmiştir. Zemin örneği plastikten sıvıya değişen en az üç su muhtevasında hazırlanır. Her üç örnek için oluğun Şekil 3.9'daki gibi 13 mm boyunca kapanmasını sağlayan vuruş sayısı  $N_v$  sayılır ve bu bölgeden alınan numunenin su muhtevası ölçülür. Aynı formasyon veya jeolojik kökenden killerde akma doğrusunun eğiminin ( $\tan \beta$ ) değişmediği düşünülürse, belirli bir yörede likit limit bağıntı 3.4'den tek deneyle bulunabilir.

$$w_L = \left( \frac{N_v}{25} \right)^{\tan \beta} \quad (3.4)$$



Şekil 3.6: Casagrande aletinin genel görünümü [9]



Şekil 3.7: Casagrande aletinin kesiti ve kil kaşığı [9]



Şekil 3.8: Numuneye, arkadan öne doğru yiv açılması [9]



Şekil 3.9: Likit limit için, iki parça arasındaki yivin 13 mm'lik mesafeden kapanması [9]

Casagrande aletinde ölçümlerin deneyi yapanın hatalarına açık olması ve kumlu silt'li örneklerde numuneye oluk açmada karşılaşılan güçlükler bu deneye alternatif koni penetrasyonu yöntemini öne çıkarmıştır.

### 3.2.2.1. Amaç

Bu deney açıkta kurutulmuş zeminin likit limitinin bulunması ile ilgili olup doğal durumlarındaki numunelere de uygulanabilir.

### 3.2.2.2. Kullanılan cihazlar

1. Casagrande likit limit cihazı
2. Oluk açma bıçağı
3. Karıştırma spatulası
4. Karıştırma kapları
5. Piset (su kabı)
6. Su içeriği tayini için metal örnek kapları
7. No.40 (0.425mm) elek
8. Etüv
9. Terazi ( 0.01 g duyarlıklı)

### 3.2.2.3. Deneyin yapılışı

1. Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna uygun olarak elde edilmiş olup 400 mikronluk elekten geçen malzemedan en az 200 gr ağırlığında bir numune alınır. Zeminin 400 mikronluk elekten geçen yüzdesi kaydedilir. Numune cam plakanın üstüne konur, damıtık su katılarak pek ve homojen bir hamur durumuna gelene kadar palet bıçağıyla iyice karıştırılır. Sonra bu karışım suyun numunenin her yanına işlenmesini sağlamak amacıyla hava geçirmez bir kap içerisinde 24 saat süreyle de oda sıcaklığında bekletilir.
2. Numune kaptan çıkartılır ve en az 10 dakika süreyle yeniden karıştırılır. Kimi zeminlerde güvenilebilir sonuçlar alınabilmesi için deneye başlamadan önce numunenin 40 dakikaya kadar uzayabilen bir süre boyunca sürekli olarak karıştırılması gerekebilir. Elde edilen zemin-su karışımından bir miktar

alınarak likit limit cihazının kabı içine konur, yüzeyi tabana paralel olarak düzlenir ve oluk açma bıçağı, menteşenin ortasından geçen çap boyunca kap içinde hareket ettirilerek, numune ikiye bölünür. Bıçağın hareketi sırasında bıçak kap yüzeyine dik tutulmalı, bıçağın şevli yüzü hareket yönüne bakmalıdır. Böylece numunenin ortasında V kesitli bir oluk açılmış olur. Krank kolu saniyede 2 devirlik bir hızla çevrilerek iki yanda kalan zemin oluğun dip kısmında 13 mm boyunca birbirine değene kadar kap kaldırılıp düşürülür. Değmenin sağlandığı kesimin uzunluğu oluk açma bıçağının ucuyla veya bir cetvelle ölçülür. Oluktaki bu kapanmayı sağlayan düşüş sayısı kaydedilir. Bazı zeminlerde oluk, zemindeki akma yoluyla kapanacağına, zeminin kap yüzeyi boyunca kayması yoluyla kapanma eğilimindedir. Bu gibi durumlarda elde edilen sonuca güvenilmemeli ve zeminde akma görülene değin deney tekrarlanmalıdır. Birkaç kez su eklenmesine karşın kayma oluyorsa deneyin yapımı olanaksız demektir ve deney raporunda likit limitin ölçülemediği belirtilmelidir.

3. Oluğun kapanmış olan kesiminin çevresinden palet bıçağıyla alınan yaklaşık olarak 10 gr ağırlığında bir numune deney kabına konur ve su muhtevası ölçülür.
4. Aynı numune kullanılarak ve su muhtevası gittikçe arttırılarak işlemler tekrarlanır. Seçilen başlangıç su ve deney sırasında eklenen su miktarları elde edilen düşüş sayılarının 10 ile 50 arasında eşit aralıklarla dağılmasını sağlayacak biçimde ayarlanmalıdır. Deney kesinlikle numunenin su muhtevası arttırılarak yürütülmelidir. Numunenin su eklemek amacıyla likit limit kabından her çıkarılışında kap ve oluk açma bıçağı yıkanıp kurutulmalıdır.
5. Yukarıda anlatılan işlemler sırasında çabuk kurumayı önlemek amacıyla cam plaka üzerindeki numune porselen bir pota veya yaş bir bezle örtülmelidir.
6. Her denemede elde edilen su muhtevasına karşı düşüş sayısı, önce Tablo 3.4'de görülen Casagrande Deney formuna yazıldıktan sonra, yarı logaritmik

bir grafik kağıdı üzerine işaretlenir (Bkz Tablo 3.5). Bu işlem için, su muhtevası değerleri aritmetik ordinat eksenini boyunca düşüş sayısı ise logaritmik olarak apsis eksenini boyunca ölçülmelidir. Elde edilen noktalara en iyi uyan doğru çizilir. Elde edilen akış doğrusu üzerinde 25 düşüş karşısındaki su muhtevası zeminin likit limitini verir [15].

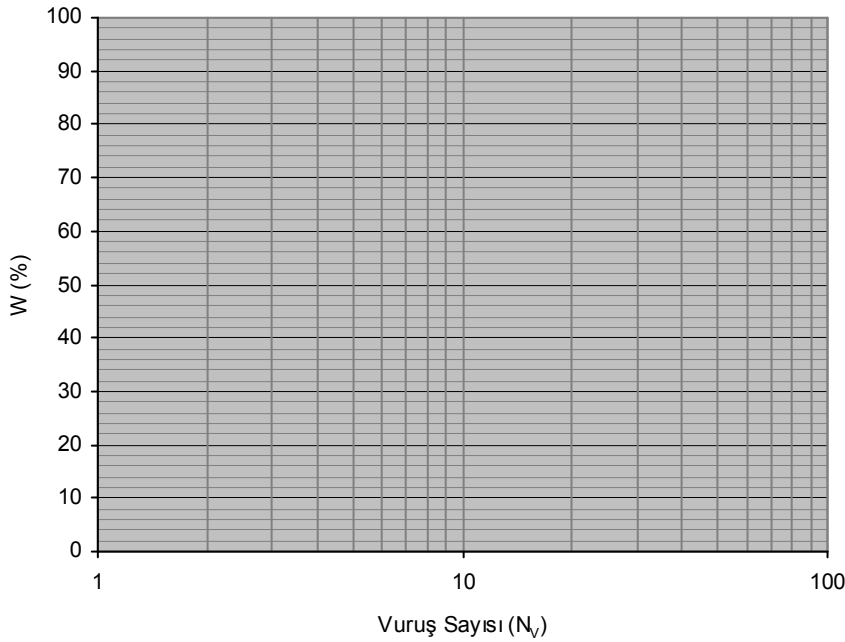
Tablo 3.4. Likit limit deney formu

<b>CASAGRANDE LİKİT LİMİT DENEYİ</b>					
<b>PROJE:</b>	<b>DENEYİ YAPAN:</b>				
<b>SONDAJ NO:</b>	<b>TARİH:</b>				
<b>DERİNLİK:</b>	<b>ÖRNEK TANIMI:</b>				
<b>DENEY SAYISI</b>	<b>w<sub>n</sub></b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Kap No</b>					
<b>Kap Ağırlığı, gr</b>					
<b>Kap+ Yaş örnek Ağırlığı, gr</b>					
<b>Kap + kuru numune ağırlığı, gr</b>					
<b>Su İçeriği, w<sub>n</sub> (%)</b>					
<b>Vuruş Sayısı, N<sub>v</sub></b>					

### 3.2.2.4. Sonuçlar

Deney sonrası bulunan su muhtevaları % olarak vuruş sayılarına karşılık gelecek şekilde Tablo 3.5’de verilen logaritmik kağıda işaretlenir. Bu grafikte 25 vuruşun logaritmik değerine karşılık gelen su muhtevası üzerinde çalışılan zeminin likit limit değeridir.

Tablo 3.5. Likit limit tayini için logaritmik hesap çizelgesi

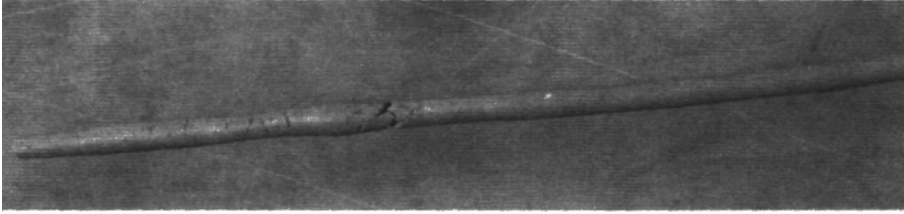


### 3.2.3. Plastik limit tayini

Zeminin henüz plastik kıvamda bulunduğu en düşük su muhtevasının ölçülmesi için yapılır. 40 no.lu elekten ( $425\mu\text{m}$ ) geçen malzemeden 20 gr dolayında bir numune alınır. Zeminin 40 no.lu elekten geçen yüzdesi kaydedilir. Açıkta kurutulmuş zemin, homojen bir duruma gelene ve küçük bir top biçimini alabilecek kadar plastik olana kadar, cam plaka üzerinde, arıtılmış su ile iyice karıştırılıp yoğrulur. Numune, silindirik bir makarna şeklini alana değin, cam plaka ile el ayası arasında yuvarlanır. Numunenin çapı 3 mm'ye düştüğü anda çatlama ve kopma belirlenmemişse zemin tekrar topak haline yoğrulur ve yeniden yuvarlatılır. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi çapın tam 3 mm'ye indiği anda, yuvarlanan zeminde çatlayıp dağılmalar görülene değin bu işlem sürdürülür. Numune 3-10 mm uzunlukta parçalara ufalandığı andaki su muhtevası bize plastik limit değerini verir (Bkz Şekil 3.11).



Şekil 3.10: Zemin numunesi avuç içinde yuvarlatılarak 3 mm kalınlığında bir ip haline getirilmesi [9]



Şekil 3.11. mm çapındaki ip haline getirilmiş zemin numunesinin parçalanma anı [9]

### 3.2.3.1. Amaç

Bu deney zeminin henüz plastik kıvamda bulunduğu en düşük su muhtevasının ölçülmesi ile ilgilidir.

### 3.2.3.2. Kullanılan cihazlar

1. Cam plaka: Kalınlığı en az 9mm, bir kenarının uzunluğu en az 45 cm olan, kare biçiminde, düz yüzeyli, çiziksiz
2. Etüv: 110 °C'de sabit kalabilen termostat kontrollü ve hava dolaşımı
3. Terazî( 0.01 g duyarlıklî)
4. Su içeriği tayini için metal örnek kapları
5. Karıştıma spatulası

### 3.2.3.3. Deneyin yapılışı

1. Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna uygun olarak elde dilmiş olan 400 µm elekten geçen malzemedan 20 gr dolayında bir numune alınır. Zeminin elekten geçen yüzdesi kaydedilir. Açıkta kurutulmuş zemin, homojen bir duruma gelene ve küçük bir top biçimini alabilecek kadar plastik olana kadar cam plaka üzerinde damıtık su ile iyice karıştırılıp yoğrulur. Böylece hazırlanmış numune yaklaşık olarak iki eşit parçaya bölünür. Bunlara top şekli verildikten sonra bir tanesine aşağıdaki işlemler uygulanır. Diğeri ise daha sonra denenmek üzere paslanmaz hava geçirmez bir kap içerisine konur.
2. Küre şeklindeki numune silindirik bir makarna şeklini alana kadar cam plaka ile el aynası arasında yuvarlanır. Numunenin çapı 3 mm.ye düştüğü anda çatlama ve kopma belirmemişse zemin tekrar toprak haline yoğrulur ve yeniden yumrulur. Çapın tam 3 mm.ye indiği anda yuvarlanan zeminde çatlayıp dağılmalar görülene değin bu işlem sürdürülür. Metal çubuk çapın doğru olarak belirlenmesinde bir karşılaştırma ölçeği olarak kullanılabilir.
3. Dağılan numunenin parçaları toplanıp bir numune kabına konur ve su muhtevası ölçülür ve Tablo 3.6'daki ilgili sütuna yazılır. Ölçüm için alınan numunenin yaş haldeki ağırlığı en az 5 gr olmalıdır [15].

### 3.2.3.4. Sonuçlar

Bulunan su muhtevaların ortalaması zeminin plastik limiti olarak kabul edilir. Kil-su karışımının plastik özellikler taşıdığı su muhtevaları zeminin plastisite indisiiyle gösterilir ve bağıntı 3.5 yardımıyla bulunur. Bir başka ifade ile, zeminin yüksek plastisite indisine sahip olması çamur hale gelmek için fazla su alması gerektiğini gösterir.

$$I_p = w_L - w_p \quad (3.5)$$



Tablo 3.6. Plastik limit deney formu

<b>PLASTİK LİMİT DENEYİ</b>	
<b>PROJE:</b>	<b>DENEYİ YAPAN:</b>
<b>SONDAJ NO:</b>	<b>TARİH:</b> 17.10.2005
<b>DERİNLİK:</b>	<b>ÖRNEK TANIMI:</b> Açık kahverengi
<b>DENEY SAYISI</b>	<b>1</b>
<b>Kap No</b>	
<b>Kap Ağırlığı, gr</b>	
<b>Kap + Yaş örnek Ağırlığı, gr</b>	
<b>Kap + kuru numune ağırlığı, gr</b>	
<b>Su İçeriği, <math>w_n</math> (%)</b>	
<b>Plastik limit</b>	

#### 3.2.4. USCS zemin sınıflandırması

USCS zemin sınıflandırma sisteminin temel dayanağının, iri daneli zeminlerde dane boyuna göre; ince daneli zeminlerde ise mühendislik davranışının plastisite özelliğine göre şekillendiğini ve bu sistemde bir zemini tanımlayabilmek için sadece elek analizi ile kıvam (Atterberg) limitleri deneylerine ihtiyaç olduğunu daha öncede belirtmiştik. Bu nedenle Bölüm 3.2.1.'de elek analizi deneyi, Bölüm 3.2.2. ve 3.2.3'de kıvam (atterberg) limitleri deneylerinin ülkemizde nasıl yapılacağı hususu TS 1900 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuar Deneyleri başlıklı Türk Standartı referans alınarak ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

USCS'de bir zemini sınıflandırmak için şu kriterler uygulanmaktadır;

- a) Malzemenin No:200 (0.074 mm) elekten geçen yüzdesi,
- b) İri daneli kısmın No:4 (4.76 mm) elek üzerinde kalan kısmı,
- c) Dane dağılım kriterleri olan  $c_u$  ve  $c_c$ ,
- d) Kıvam (Atterberg) limitleri,
- e) No:40 (4.76 mm) elekten geçen bölümün plastisite kartındaki yeri,
- f) Organik madde içeriği.

Bu kriterlerin uygulanması sonucu zemin iri daneli, ince daneli, organik zemin ve turba olarak dört sınıfa ayrılmakta ve zemin numunesi iki veya dört harfli simge ve bir isim almaktadır. Dane boyu ve simge ile ifade edilen zeminlerin USCS'deki tanımları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Dane boyu ve simgelerin USCS'deki tanımı [12]

Zemin Sınıfı	Simge	Dane Büyüklüğü (mm)
Blok	Yok	>300mm
Taş	Yok	75<D<300mm
İri Daneli Zeminler		
Çakıl	G	75<D<4.76mm (No:4)
Kum	S	4.76<D<0.074mm (No:200)
İnce Daneli Zeminler		<0.074mm
Silt	M	Spesifik dane boyu yok
Kil	C	Spesifik dane boyu yok
Organik Zeminler	O	Spesifik dane boyu yok
Turba	Pt	Spesifik dane boyu yok
Gradasyon Simgeleri İyi derecelenmiş, W Kötü derecelenmiş, P		Likit Limit Simgeleri Yüksek LL; H Düşük LL; L

Organik zeminler ve turba'nın göz ve koklama yoluyla tanınması mümkündür. Organik zeminin rengi koyudur, bazen kokusu var olabilir. Bu tür zeminler bitki ve/veya canlı artığı içerir. Zemindeki organik madde miktarı aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır.

$$\text{Organik madde oranı} = \frac{105 \text{ }^{\circ}\text{C'den } 400 \text{ }^{\circ}\text{C'ye ağırlık farkı}}{105 \text{ }^{\circ}\text{C'deki kuru ağırlık}} \quad (3.6)$$

Turba (Pt) ise koyu rengi,ağır kokusu ve değişik ayrışma evreleri gösteren lifli dokuya sahip tümü organik bir malzemedir. Turba zeminler Türkiye'de önemli

alanlar kaplamadığından bu konuda Türk Standartı henüz hazırlanmamıştır, ancak umulmadık yerlerde belirerek ciddi sorunlar oluşturabilir [11].

Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (USCS)'nin geoteknik çalışma ve araştırmalarında yaygın olarak kullanıldığı ve ülkelerin bu sınıflama sisteminde küçük değişiklikler yaparak kendi ulusal zemin sınıflandırma sistemlerini oluşturduğundan daha önce de bahsetmiştik. Bu kısımda tezin oluşmasında kullanılan verilerin TS1500 zemin sınıflaması neticesinde elde edilen verilerden alındığı için iri ve ince daneli malzemelerin nasıl sınıflandırıldığı hususunu ülkemizde kullanılan TS 1500 zemin sınıflandırma sistemi içerisinde vereceğiz.

#### **3.2.4.1. Türk standartlarında zemin sınıflandırması**

Türk standartları zemin sınıflandırma sistemi, 1987 ve son olarak 2000'de gözden geçirilmiştir. Bu revizyonlarda o güne kadar ASTM (Amerikan zemin sınıflandırma sistemi) 'nin bir tercümesi olan TS 1500'den bazı farklar öngörülmüştür. Bunlardan en önemlisi kabul edilen kum ve çakıl boyutlarıdır. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sisteminde çakıl alt limiti 4.76 mm. olarak tariflenirken TS 1500'de bu sınır 2.0 mm.'ye indirilmiştir. İngiliz ve Alman standartlarını yanı sıra, bu değişikliğin gerekçesi AASHTO ( Amerikan karayolları sınıflandırması ) sisteminde de sınırın son olarak 1990 yılında 2.0 mm.'ye düşürülmesiyle daha açık olarak gösterilmiştir. Böyle bir seçimin sonucu daha önce G simgesi almayan ve çakıl içeren birçok kumlu zeminin TS1500/2000'de çakıl olarak kabul edilmesidir (Bkz Tablo 3.8) [11].

Tablo 3.8. Türk zemin sınıflandırma sistemi [16]

				SINIFI	
				SİMGE	GRUP ADI <sup>B</sup>
İRİ DANELİ ZEMİNLER (% 50'den Fazlası 75 µm 75 µm'den büyük)	ÇAKILLAR Kaba Danelerin % 50'den Fazlası	Temiz Çakıllar (% 5'ten az ince içeriyor)	$C_u \geq 4$ ve $1 \leq C_r \leq 3$	GW	Düzgün dane dağılımlı çakıl <sup>C</sup>
			$C_u < 4$ ve/veya $1 > C_r > 3$	GP	Uniform çakıl <sup>C</sup>
		Kirli Çakıllar (İncesi % 5'ten fazla) <sup>A</sup>	İnceleri ML, MI veya MH	GM	Siltli çakıl <sup>C</sup>
			İnceleri CL, CI veya CH	GC	Killi çakıl <sup>C</sup>
	KUMLAR Kaba Danelerin % 50'den Fazlası	Temiz Kumlar (% 5'ten az incesi var)	$C_u \geq 6$ ve $1 \leq C_r \leq 3$	SW	Düzgün dane dağılımlı kum <sup>D</sup>
			$C_u < 6$ ve/veya $1 > C_r > 3$	SP	Uniform kum <sup>D</sup>
Kirli Kumlar (İncesi % 5'ten fazla) <sup>A</sup>	İnceleri plastisite kartında ML, MI veya MH	SM	Siltli kum <sup>D</sup>		
	İnceleri plastisite kartında CL, CI veya CH	SC	Killi kum <sup>D</sup>		
İNCE DANELİ ZEMİNLER (% 50'den Fazlası 75 µm'den küçük)	SİTLER VE KİLLER (Likit limiti 35'ten düşük)	Anorganik	$I_p \geq 4$ ve A-doğrusunun üstünde	CL <sup>E</sup>	Düşük plastisiteli kil
			$I_p < 4$ ve A-doğrusu altında	ML <sup>E</sup>	Düşük plastisiteli silt
	SİTLER VE KİLLER (Likit limiti 35'e eşit veya 50'den küçük)	Anorganik	$I_p$ A-doğrusunun üstünde veya üzerinde	CI <sup>E</sup>	Orta plastisiteli kil
			$I_p$ A-doğrusu altında	MI <sup>E</sup>	Orta plastisiteli silt
	SİTLER VE KİLLER (Likit limiti 50 veya yüksek)	Anorganik	$I_p$ A-doğrusunun üstünde veya üzerinde	CH <sup>E</sup>	Yüksek plastisiteli (yağlı) kil
			$I_p$ A-doğrusu altında	MH <sup>E</sup>	Yüksek plastisiteli (elastik) silt
ORGANİK ZEMİN	Koyu renkli, Kokulu, Aşırı organik malzeme içeriyor			PT	Turba

A: İncelerin oranı %5-%12 arası ise çift simge kullanılır (Şekil 3.12)

B: Zemin moloz içeriyorsa grup adına eklenir.

C: Örnekte %15'ten fazla kum varsa grup adına 'kumlu' terimi eklenir.

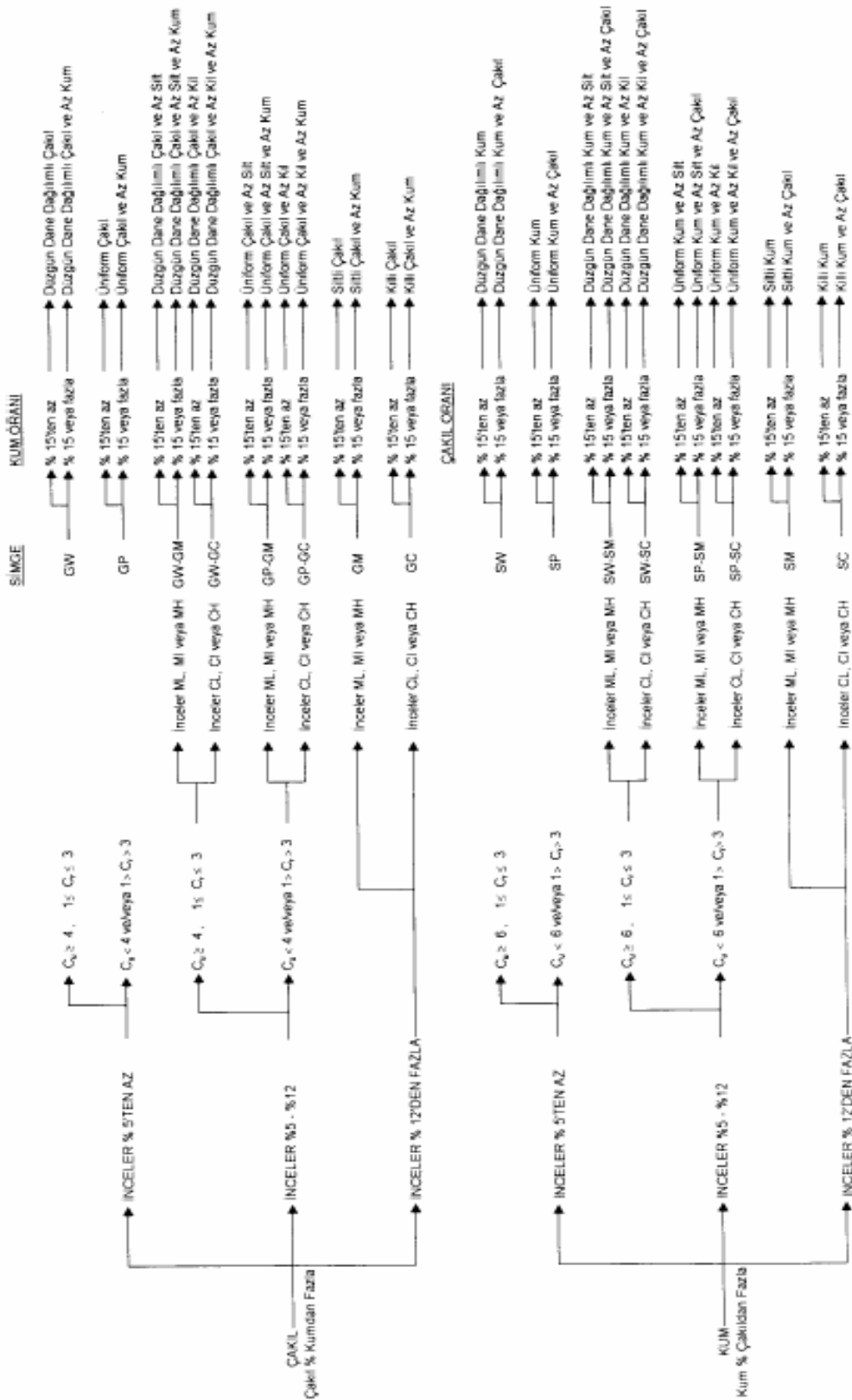
D: Örnekte %15'ten fazla çakıl varsa grup adına 'çakıl' terimi eklenir.

E:  $w_L$  kurutulmuş/ $w_L$  doğal  $< 0.75$  ise 'O' terimi eklenir.

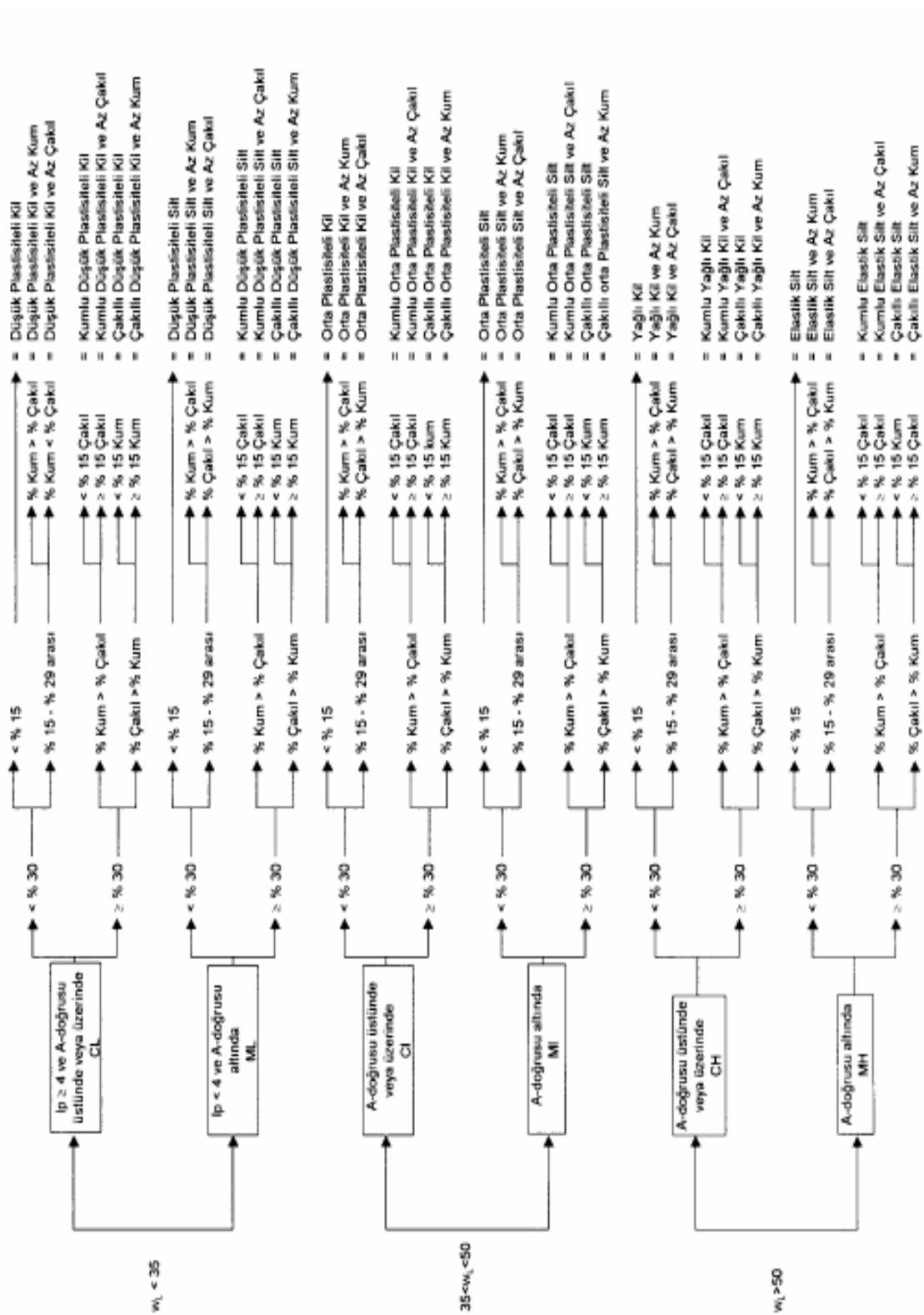
TS 1500 zemin sınıflama sisteminde sınıflandırma yapılırken Bölüm 3.2.1.4. 'de açıklandığı ve Şekil 3.5'de örneği verildiği gibi, zeminin granülometri eğrisi çizildikten sonra; 200 No. (D=0.08 mm) ve 4 No.'lu (D=2.0 mm) eleklerle ait geçen yüzdeleri,  $c_w$ ,  $c_c$ ,  $w_L$ ,  $I_p$ , bilgileri kullanılarak, zemin sınıflandırılır. TS 1500 ile sınıflandırmaya malzemenin iri daneli, ince daneli veya organik olduğunun saptanmasıyla başlanır ve bu iş için Tablo 3.8 kullanılır.

Elimizdeki zemin numunesinin %50'sinden fazlası 200 No. elek çapından büyük ise numunemiz iri daneli zeminler kısmına girmektedir. İri daneli zeminlerin sınıflandırılmasında Tablo 3.8'in kullanılmasını kolaylaştırmak üzere TS 1500'de bulunan Şekil 3.12'de verilmiş olan iri daneli zeminlerin sınıflandırılması için akış diyagramı yardımıyla numunemizi sınıflandırırız. İri daneli zeminlerde granülometri kriterleri olan, üniformluluk katsayısı  $c_u$  ve eğrilik katsayısı  $c_c$  hesaplandıktan sonra W simgesi alan iyi derecelenmiş (düzgün dane dağılımlı) karışımlar, kumda  $c_u \geq 6$ , çakılda  $c_u \geq 4$  ve ayrıca her iki grupta  $1 \leq c_c \leq 3$  koşullarını sağlarlar. Bunun anlamı, karışımda içerdiği danelerin geniş bir çap aralığında yer alması ve bunların bazı boyutlarda aşırı fazlalık veya eksiklik göstermemesi olarak görülebilir. Bu koşulları sağlamayan tüm iri daneli zeminler ve karışımları 'üniform' olarak nitelendirilir ve P simgesi alırlar [11].

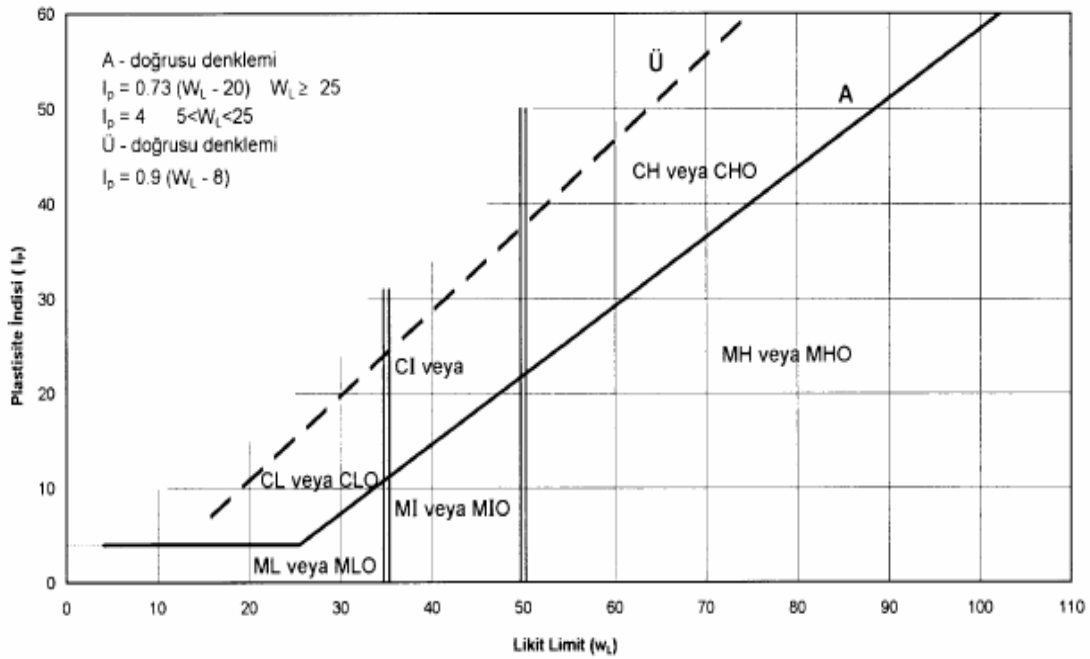
Eğer elimizdeki zemin numunesinin %50'sinden fazlası 200 No. elek çapından küçük ise numunemiz ince daneli zeminler kısmına girmektedir. İnce daneli zeminler diye ifade ettiğimiz ve içersinde %50'den fazla silt ve kil zemin barındıran karışımların sınıflandırılmasında Tablo 3.8'in kullanılmasını kolaylaştırmak üzere TS 1500'de bulunan Şekil 3.13'de verilmiş olan ince daneli zeminlerin sınıflandırılması için akış diyagramı kullanılabilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, ince daneli zeminlerde ayırım plastisite kartının kullanımınıdır. Ülkemizdeki zemin sınıflandırılması için kullanılan TS 1500 zemin sınıflandırma siteminde bulunan ve ince daneli zeminleri sınıflandırmak için kullanılan, Tablo 3.8 ve bu tablonun kullanımını kolaylaştırmak için verilmiş olan Şekil 3.13'deki akış diyagramı plastisite kartı yardımıyla daha anlaşılabilir hale gelmektedir. Kısaca ince daneli zeminler plastisite kartı kullanılarak sınıflandırılmaktadır (Bkz Şekil 3.14).



Şekil 3.12. İri daneli zeminlerin sınıflandırılması için akış diyagramı (%50'den fazlası 75µm'den büyük)[16]



Şekil3.13.İnce daneli zeminlerin sınıflandırılması için akış diyagramı(%50 ve fazlası 75µm'den küçük)[16]



Not: Bir zeminin  $I_p$ - $w_L$  noktası Ü doğrusu üzerinde çıkamaz. Bu durumda deneyler tekrarlanır.

Şekil 3.14. Plastisite kartı [16]

İnce daneli zeminler (silt ve killer) plastisite kartında; yatayda likit limit ( $w_L$ ), düşeyde palstisite indisi ( $I_p$ ) işaretlenerek, bulunan noktanın düştüğü bölgeye göre adlandırılır. Plastisite kartında, A doğrusu grafik alanını ikiye böler. Üst kısım kil, alt kısım silt bölgesidir.  $w_L = \%50$  sabit düşey doğrusuda grafik alanını ikiye böler. Burada sol kısım düşük veya orta plastisiteli, sağ kısım yüksek plastisiteli kısımdır.  $w_L = \%35$  sabit düşey doğrusuda grafiğin sol alanını ikiye böler. Burada  $w_L < \%35$  olan kısım düşük plastisiteli,  $35 \leq w_L \leq 50$  olan bölge ise orta plastisiteli olarak ifade edilir. Plastisite kartında A doğrusunun altında kalan üç bölgenin her birinde iki olasılık vardır (ML veya OL, MI veya MIO ile MH veya OH). Deneysel ve kaba gözlemlerle, zeminin organik olup olmadığına karar verilebilir. Zemin organik bulunursa, O ile başlayan semboller (OL, OH), değilse diğer semboller (ML, MH) zeminin sınıfını gösterir (Bkz Şekil 3.14) [14].



A doğrusunun üst kısmındaki üç bölgenin yine her birinde üç olasılık vardır (CL veya CLO, CI veya CIO ile CH veya CHO). Daha önce bölüm 3.2.4’de bahsedildiği üzere, silt ve killerde doğal su muhtevasında kurutulmadan yapılan kıvam limitleri deneylerinden elde edilen  $w_L$  değeri, örnek etüvde kurutulduktan sonra ölçülen likit limit ile karşılaştırıldığında eğer kurutulan numunenin  $w_L$  değeri doğal örneğinkinin %75’inden düşük çıkmış ise zemini organik kökenli olduğu anlaşılır ve bu numunelere O simgesi eklenir.

## BÖLÜM 4. ÇALIŞMA SAHASININ GENEL ZEMİN YAPISI

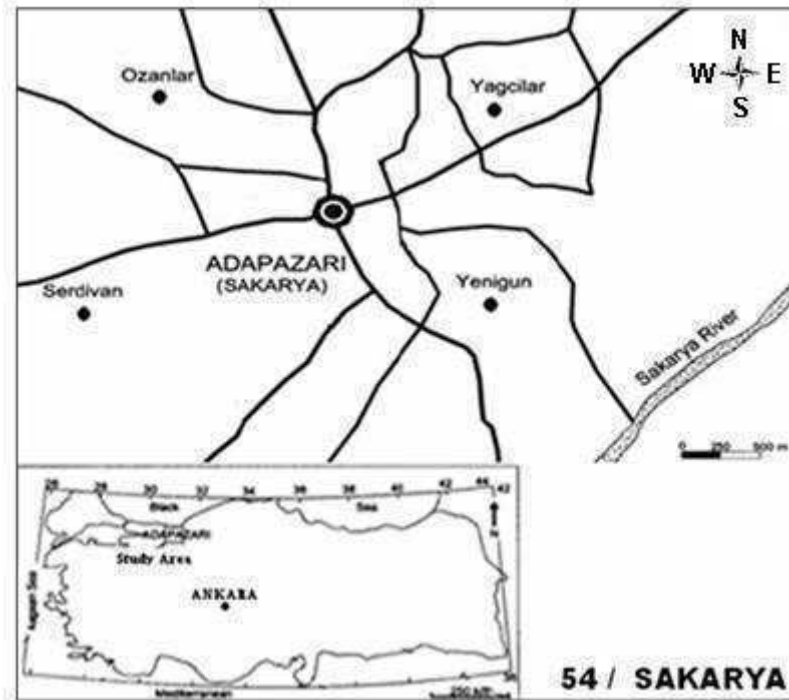
### 4.1. Çalışma Sahasının Tanıtılması

Çalışmanın yapıldığı yer olan Adapazarı bölgesi, Sakarya ilinin merkez ilçesi olup, Marmara bölgesinin kuzey doğusunda

40° 46° 42,2° Enlem,

30° 24° 1,1° Boylam'ları arasında yer almaktadır.

Aynı zamanda Adapazarı kenti İstanbul-Ankara karayolunun 130'ncü km'sinde yer almakta olup, yaklaşık nüfusu 300000 olarak söylenebilir [17]. Çalışma sahası olan ve Türkiye'nin kuzey batısında bulunan Adapazarı bölgesine ait yer bulduru haritası Şekil 4.1'de verilmiştir.



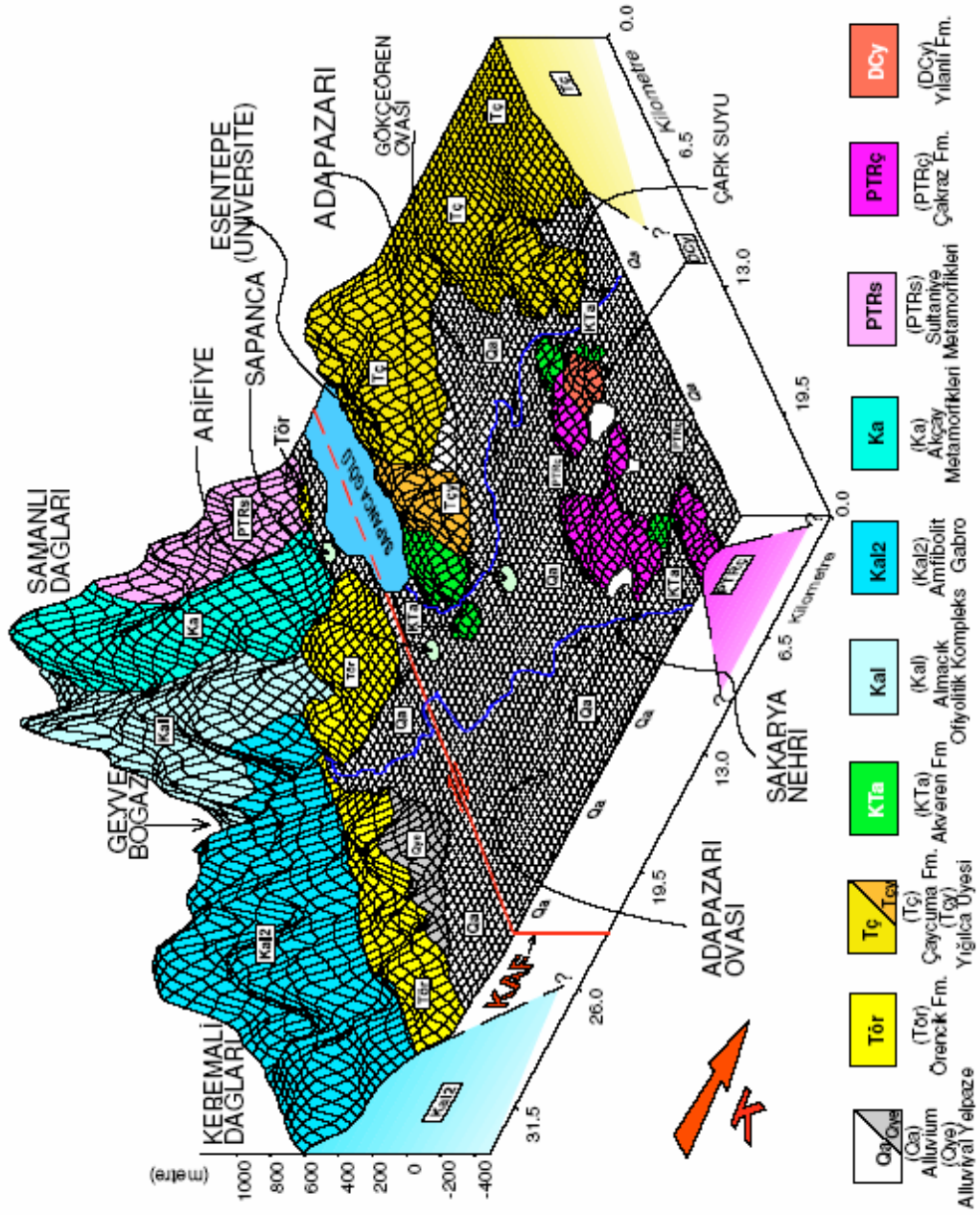
Şekil 4.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

## 4.2. Çalışma Sahasının Genel Jeolojisi

Bu kısımda çalışma sahası olan Adapazarı bölgesinin jeolojik yapısına kısaca değinilecektir. Kuzey Anadolu Fay kuşağı'nın kuzey kolu üzerinde yer alan Adapazarı bölgesi ve yakın çevresinin jeolojik yapısı oldukça karmaşık olmakla birlikte, birimlerin tektonik dokanıklı olduğu söylenebilir.

Üst Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı Formasyonu'nun Adapazarı bölgesindeki en yaşlı birim olduğu, bununla birlikte bu formasyon şehir merkezinin 7-12 km kuzeyindeki bölgede mostra vermektedir. Açık koyu gri, siyah, daha az beyaz renkli, spartik kireçtaşı ve dolomitten oluşan birimin, Adapazarı bölgesinin kuzeyinde ince ve orta tabakalı, güneyinde ise kalın tabakalı ve masiftir. Kuvaterner yaşlı alüvyonu'nun çalışma bölgesindeki en genç birimdir. Bu birim Arifiye-Adapazarı arasında ve Sakarya Nehrinin her iki sahilinde geniş yayılımlar göstermektedir. Çalışma sahası olan Adapazarı bölgesi için, çakıl, kum, silt ve kil zemin yapılarının araldanmalı olarak bulunduğu, bölgenin kuzeyindeki alüvyonun ise üst seviyelerde daha çok yüksek plastisiteli kil niteliği taşıdığı söylenebilir [18].

Önalp ve Bol (1998), Adapazarı kent merkezi jeolojisi ve jeomorfolojisi hakkında bilgiler derlemiştir. Adapazarı, uzun doğrultuda Sapanca Gölü-Hendek güneybatısı arasında 32 km, kısa doğrultuda kuzeyde Mağara Boğazı-güneyde Akyazı batısı arasında 27 km kadar uzanan yaklaşık bir paralelkenar biçimindeki Adapazarı Ovası'nın batısında kuruludur. Şehir genç aluviyal (fluviyal) dolgu üzerinde ve yayılmanın daha çok kuzey-güney doğrultusunda olduğu tipik bir ova kentidir [19] (Bkz Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Adapazarı jeoloji haritası [20]

### **4.3. Çalışma Sahasının Hidrojeolojik Durumu**

Bu bölümde, Adapazarı bölgesinin yüzeysel ve yeraltı su durumu ile içme ve kullanma suyu durumuna kısaca değinilecektir.

#### **4.3.1. Yüzey ve yer altı suları**

Adapazarı'nda yeraltı suyu seviyesi değişiklik göstermekte ve bahar aylarında zemin yüzeyine yaklaşmaktadır. Genelde yer yer +0.10 metre ile -3.00 metre arasında değişen seviyelerde bulunduğu bilinmektedir. Yeraltı suyunun bu derecede yüksek oluşu yapılaşmada bodrum kat yapımında zorluklar çıkarmaktadır. Bodrum katı yapma ancak ilave sızdırmazlık önlemlerinin alınması ile mümkündür. Diğer taraftan permeabilite katsayısı oldukça büyük değerler göstermektedir. Sakarya Nehri, Mudurnu Çayı ve Çarksuyu Deresi bölgenin temel akarsularını oluşturmakta olup, diğer küçük dereler bu vadilere boşalan yan dereler durumundadır. Ayrıca, planlı sahada Çarksuyu Deresi dışında bir dere yatağı yoktur. Planlı alan eğimi sıfıra yakın düzlüklerden oluştuğu için iyi bir drenaj ağı gelişmemiştir. Yağışlar sonucu akışa geçen sular, yağmur suyu drenaj sistemi ile sahadan uzaklaştırılmakta olup, zaman zaman kentin cadde ve sokaklarında sellenmeler görülmektedir [17].

#### **4.3.2. İçme ve kullanma suyu**

Çalışma sahası olan Adapazarı bölgesinin içme ve kullanma suyu durumuna ilişkin olarak, kentin içme suyu şebekesinin, özellikle 17 Ağustos 1999 depreminde diğer altyapılar gibi ciddi hasar gördüğü ancak kent ve çevresinde içme suyu temin edilebilecek yeterli su kaynaklarının var olduğu söylenebilir. Ayrıca, bölgede içme suyu temin edilen temel kaynak Sapanca Gölü'dür [17].

#### 4.4. Çalışma Sahasının Genel Zemin Yapısı

Bölgenin genel zemin yapısını anlamak için, gerek özel gerekse de devlet kurumları tarafından değişik zamanlarda ve değişik noktalarda birçok sondaj çalışması yapılmıştır. Bu sondajların derinliği genellikle 10 m ile 300 m arasında değişmektedir. Genç ve kalın alüvyon ile kaplı şehir merkezinde ve yakın çevresinde yapılan derin sondajlarda ana kayaya ulaşılamamış ve alüvyon kalınlığının yer yer 1000 m'nin üzerinde olduğu ifade edilmiştir [3]. Bölgenin jeolojik ve yerel zemin koşulları sayesinde, vadi deprem esnasındaki davranışları ile mükemmel derecede dikkat çekmiştir [21].

Çalışmanın yapıldığı bölge olan Adapazarı'nın genel zemin yapısının daha iyi anlaşılması amacıyla, Şekil 4.3'de Adapazarı kent merkezine ait tipik yerel zemin kesiti verilmiştir. Bu kesit hazırlanırken, Adapazarı bölgesinin genel zemin durumunu aktarmak amacıyla, bölgenin muhtelif noktalarında (Yağcılar, Yenigün, Serdivan, Ozanlar) yapılmış olan sondaj verileri kullanılmıştır (Bkz Şekil 4.3).

Şekil 4.3'de verilmiş olan Adapazarı bölgesine ait tipik yerel zemin kesitinden de anlaşılacağı üzere, ilk 10 metrelik kısımda daha çok ince daneli zeminler sınıfına giren silt ve killi zemin sınıfları bazen tek başlarına, kimi zamanda ardalanmalı olarak görülmektedir. Burdan hareketle, çalışma sahası olan Adapazarı bölgesi için killi zeminlerin mühendislik özelliklerinin ihtiva ettiği önem daha iyi anlaşılmaktadır.

Derinlik (m)	Sondaj Adresi : Yağcılar					Sondaj Adresi : Yenigün						
	Sondaj Numarası : SK 316					Sondaj Numarası : SK 155						
	Zemin Tipi	SPT					Zemin Tipi	SPT				
		10	20	30	40	50		10	20	30	40	50
1	Dolgu ↘ YASS						Dolgu					
2	Silt						↘ YASS Siltli Kil					
3												
4	Killi Silt						Siltli Kil					
5												
6	Silt						Killi Silt					
7												
8	Siltli Kil						Siltli Kil					
9												
10	Sondaj Logu Sonu (10m)						Sondaj Logu Sonu (10m)					
11												
12												
13												
14												
Derinlik (m)	Sondaj Adresi : Serdivan					Sondaj Adresi : Ozanlar						
	Sondaj Numarası : SK 409					Sondaj Numarası : SK 218						
	Zemin Tipi	SPT					Zemin Tipi	SPT				
		10	20	30	40	50		10	20	30	40	50
1	Dolgu						Dolgu					
2	↘ YASS Killi Silt						↘ YASS Siltli Kil					
3												
4	Siltli Kil						Siltli Kil					
5												
6	Killi Silt						Killi Silt					
7												
8	Siltli Kil						İnce Kum					
9												
10	Sondaj Logu Sonu (10m)						Sondaj Logu Sonu (10m)					
11												
12												
13												
14												

Şekil 4.3. Adapazarı kent merkezi tipik yerel zemin kesiti

## **BÖLÜM 5. YAPAY SİNİR AĞLARI**

Bu bölüm, Adapazarı bölgesinde bulunan killi zeminlerin sınıflandırılmasında kullanılan yapay sinir ağları (YSA) modelinin temel özelliklerini içermektedir.

### **5.1. YSA'nın Genel Tanımı**

En genel anlamda sinir ağları, insan beynindeki nöronlara (işlem elemanı) benzer olarak meydana getirilen yapay nöronların değişik bağlantı geometrisi ile birbirlerine bağlanması ile oluşan kompleks sistemlerdir [22].

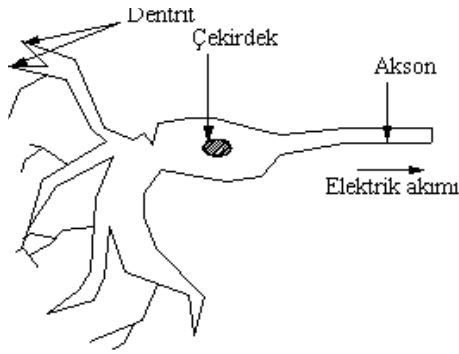
Yapay sinir ağları (YSA), "biyolojik sinir sisteminde olduğu gibi, gerçek yaşam nesneleriyle etkileşmeyi amaçlayan basit elemanların ve onların hiyerarşik düzenlemelerinin paralel, içice bağlantılı ağları" olarak tanımlanabilir [23].

Bir başka ifade ile, Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri, herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir [24].

Nöronun/sinir hücresinin yapısı ve birbiri ile nasıl ilişkide olduklarının anlaşılması YSA'nın geliştirilmesine bir temel teşkil etmektedir. Genel olarak bir nöron; hücre çekirdeği, hücreye diğer hücrelerden veya dış dünyadan bilgiler (sinyaller) getiren dentritler ve diğer hücrelere veya dış dünyaya bilgiler taşıyan aksondan oluşmaktadır (Bkz Şekil 5.1).

Nöronda (işlem elemanı), dentritlerce alınan girişler toplanır ve gövdeye yerleştirilir. Toplam giriş, belirli bir eşik değerini aştığı zaman, hücreden diğer hücrelere akson vasıtasıyla bir uyarı iletir [25].

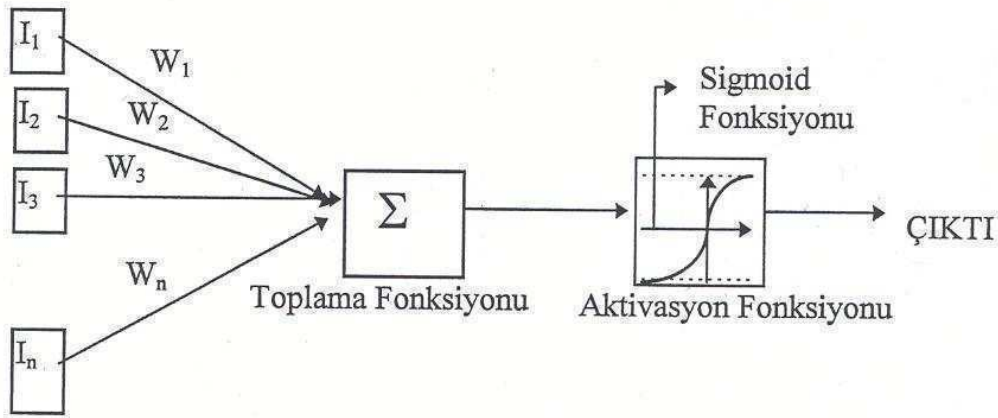




Şekil 5.1. Tipik bir biyolojik nöron (işlem elemanı) modeli [26]

YSA teknolojisi hesaplamalarda tamamen farklı bir yaklaşım getirmektedir. YSA, paralel hesaplama tekniğinin bütün avantajlarını kullanabilen ve algoritmik olmayan bir metottur. Belirli bir problemi, programlama yerine direkt olarak mevcut örnekler üzerinden eğitilerek öğrenirler. Ayrıca YSA, klasik bilgisayar belleği gibi belirli bilgileri belirli yerlerde saklama yerine, öz şeklindeki bilgileri işlem elemanları arasındaki bağlantılar üzerindeki ağırlık değerleri ile ağ üzerine dağıtarak saklarlar.

Matematiksel olarak modellenmiş biyolojik bir nöron Şekil 5.2’de verilmektedir. Bu tür nöronlar McCulloch-Pitts nöronu olarak bilinirler. Bunlar ağın her bir işlem birimini temsil ederler ve birbirleriyle bağlanarak ağ oluştururlar. Her bir nöron (işlem elemanı) basit bir anahtar görevi yaparak, şiddetine göre gelen sinyali ya söndürür ya da iletir. Böylece ağ içerisindeki her bir nöronun yada işlem elemanının belli bir yükü olur. Her nöron (işlem elemanı) gelen sinyalin seviyesine göre açık ya da kapalı duruma geçerek basit bir tetikleyici görev üstlenir. Bu işlemleri yaparken, nöronlar giriş bilgilerini ağırlandırarak bunları lineer olarak toplar ve bir eşik, lineer veya lineer olmayan bir fonksiyonda işleyerek çıktısını verir. Bu çıktıyı hücre bağlantısı olan diğer nöronlar giriş bilgileri olarak alırlar [22].



Şekil 5.2. Bir biyolojik nöronun McCulloch-Pitts hesaplama modeli [22]

## 5.2. YSA'nın Genel Özellikleri

Yapay sinir ağı modellerini klasik sistemlerden ayıran çeşitli özellikler vardır. Bu özellikler, ağı algoritmik olmayan, paralel ve yayılı bilgi işleme yeteneklerine dayanır. Bu yetenekler ise, yapay sinir ağlarının herhangi bir zorlukla karşılaşmaksızın karmaşık ve lineer olmayan hesaplamaları yürütmesini ve hızlı bir şekilde yanıt vermesini mümkün kılar [27]. Bahsedilen özellikler aşağıdaki gibi kısaca özetlenebilir.

### 5.2.1. Örneklerden öğrenme

Yapay sinir ağlarına, sadece öğrenilmesi istenen girdi/çıkı ilişkilerinin örnekleri verilir. YSA, bu örnekleri kullanarak genellemeler yapar.

### 5.2.2. Örnekleri tanıma ve sınıflandırma

Yapay sinir ağlarına örnekler girdi olarak verilir ve YSA bu örneklerden oluşan girdi/çıkı eşleşmeleri ile ilgili bilgiyi depoladığı yerdeki yayılı belleğini kullanarak, girdiye karşılık gelen çıkıyı üretir.

### **5.2.3. Örnekleri yeniden oluşturma**

Ağda eksik durumda bulunan bir örneği yeniden oluşturma yeteneğini ifade eder. Yapay sinir ağı, eksik olan örnekteki kayıp olan bilgiyi, belleğinde bulundurduğu tam örnekteki bilgilerle ilişkilendirerek, eksik örnekteki kayıp durumda bulunan bilgi yerine tam örnekteki bilgiyi bulabilme özelliğine sahiptir.

### **5.2.4. Kendi kendine adapte olabilme**

Bazı YSA modelleri, kendi kendine organize olabilme ve öğrenme yeteneğine sahiptirler ve ortamda bazı değişiklikler olduğunda, ağ yapıları oluşan yeni duruma kendilerini kolaylıkla adapte edebilme özelliğine sahiptirler.

### **5.2.5. Hata toleransı**

Bazı işlem elemanlarının çeşitli nedenlerle ağdan çıkarılması veya yok edilmesi durumunda, YSA'daki bilgi, bütün ağ boyunca yayılı olduğundan bazı bilgilerin kayıp oluşu veya yok edilişi, ağın performansını fazla etkilemeyecektir. Bu durum, çok kötü sonuçlar doğurmayacak şekilde yeteneklerin azalmasına sebep olmakta, buna rağmen sistemin toplam performansının tamamıyla başarısız olmasına neden olmayacaktır.

### **5.2.6. Bulanık girdilere direnç**

Yapay sinir ağlarına bulanık ya da eksik durumda bulunan bilgiler girdi olarak verildiği zaman yayılı bellek girdi için en uygun veya bağdaşır olan çıktıyı seçer.

Yukarıda maddeler halinde verilen özellikler sayesinde YSA tekniğinin kullanımı, problemlerin yakın-optimum çözümlerinin daha kısa bir sürede bulunması açısından, cazip hale gelmektedir [27].

### 5.3. YSA'nın Kullanıldığı Alanlar

YSA başlıca; *Sınıflandırma*, *Modelleme* ve *Tahmin* uygulamaları olmak üzere, pek çok alanda kullanılmaktadır. Başarılı uygulamalar incelendiğinde, YSA'ların çok boyutlu, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu, hata olasılığı yüksek sensör verilerinin olması ve problemi çözmek için matematiksel modelin ve algoritmaların bulunmadığı, sadece örneklerin var olduğu durumlarda yaygın olarak kullanıldıkları görülmektedir [24].

YSA'nın kullanılıp, başarılı sonuçlar elde edildiği alanlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir [28, 29].

- Optimizasyon
- Sistem Modelleme
- Ses tanıma
- El yazısı tanıma
- Parmak izi tanıma
- Meteorolojik yorumlama
- Robotik kontrol
- Askeri Uygulamalar
- Mali uygulamalar
- Tıbbi uygulamalar
- Çeşitli Mühendislik uygulamaları

### 5.4. İşlem Elemanı

YSA, birbirlerine bağ ağırlıkları ile bağlı, katmanlar halinde düzenlenmiş ve kendine ait çıkış değerlerini belirlemek için toplama ( $\Sigma$ ) ve eşik fonksiyonu (F) gibi işlemler gerçekleştiren ve işlem elemanı denilen yapılardan meydana gelir [30].

Şekil 5.1'de verilen sinir hücresinden esinlenerek oluşturulan yapay sinir hücresi YSA'nın en temel birimidir ve işlem elemanı olarak adlandırılır. Genel sinir ağı modeli, işlem elemanları ile karakterize edilir. Bir işlem elemanı Şekil 5.3'de

görüüleceği üzere, girdiler, ağırlıklar, bir birleşme fonksiyonu ve çıktı olmak üzere, beş elemandan oluşmaktadır. Aynı zamanda, bir işlem elemanının birden fazla girdisi, fakat sadece bir çıktısı olabilir.

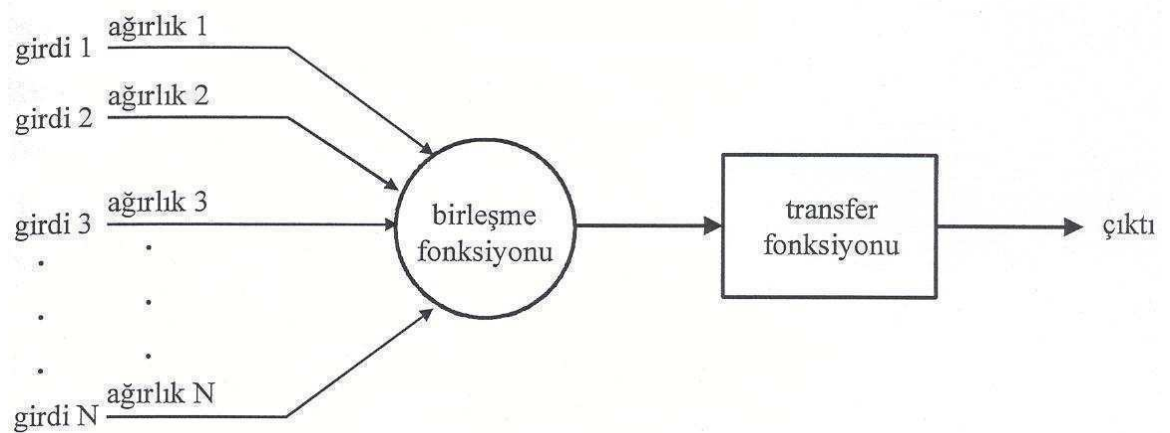
Girdiler, ağ dışı veya diğer işlem elemanlarından işlem elemanına gelen bilgilerdir. İşlem elemanı bazı durumlarda, geri besleme ile kendi kendine girdi oluşturabilir.

Ağırlıklar, girdilerin işlem elemanı üzerindeki etkisini kontrol eder. Değişken değer alan ağırlıklar, öğrenme esnasında sürekli olarak değişerek ağırlık girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi yakalamaya çalışırlar.

Birleşme (toplama) fonksiyonu, bir işlem elemanından gelen bilgileri birleştirir. Ağırlıkları girdilere toplayan toplam fonksiyonu en yaygın olarak kullanılan birleşme fonksiyonudur.

Transfer (aktivasyon) fonksiyonu, birleşme fonksiyonunun sonucunu değerlendirir. Sigmoid fonksiyonu, doğrusal olan fonksiyon ve step fonksiyonu en yaygın olarak kullanılan transfer fonksiyonlarıdır.

Çıktılar, transfer fonksiyonunun sonuçlarını alarak bu sonuçları bağlantılı olduğu işlem elemanına veya ağ dışı kaynaklara gönderir [25].

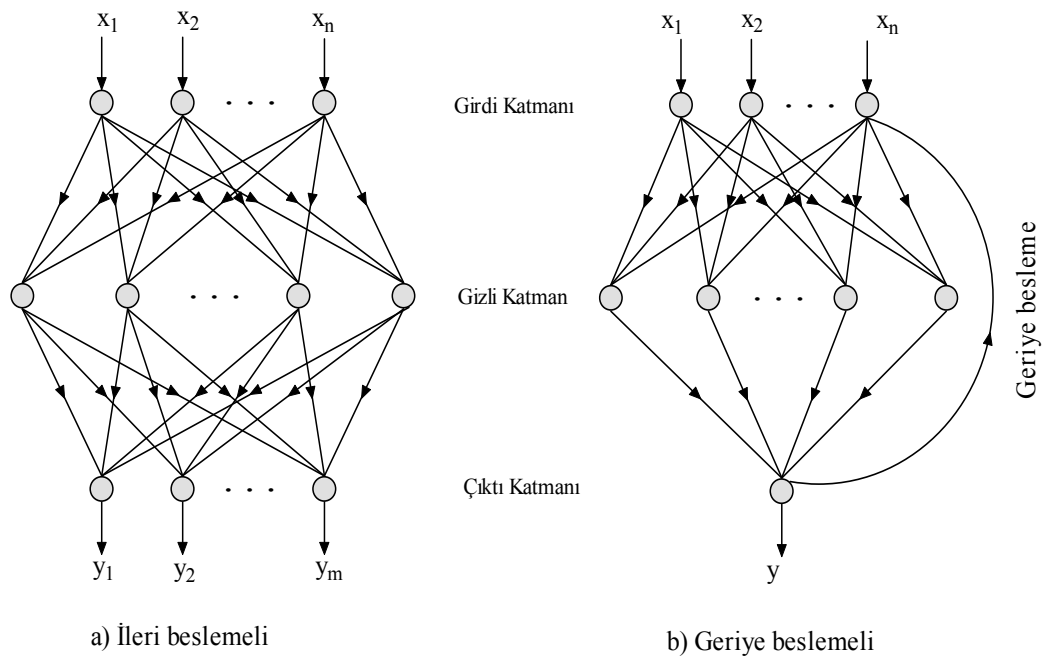


Şekil 5.3. Bir işlem elemanının yapısı [31]

### 5.5. Ağ Yapıları

Yapay sinir ağ modelleri, yapısı ve öğrenme kuralları itibariyle birbirlerinden ayrılır. Tipik bir sinir ağı, birbirine bağlanan üç katmandan oluşur. Dışarıdan bilgiyi alan girdi katmanı, bilgiyi işleyen ve girdi ile çıktı ilişkisini kavramada asıl ağırlığı üzerinde bulunduran bir veya daha fazla gizli katman ve sorgulanan problem üzerinde ağın kararını ağ dışına ileten çıktı katmanıdır. Bilgi, bu katmanlar arasındaki bağlantılarda yayılır. Ağa verilen bilgi, ağdan çıktığında yeni bir hale dönüşmüş olacaktır [25].

Şekil 5.4'den görüleceği üzere, YSA yapısı bakımından ileri ve geri beslemeli ağlar olarak ikiye ayrılmaktadır. İleri beslemeli ağlarda işlem elemanları tabakalar halinde gruplandırılır. Girdi tabakasından çıktı tabakasına doğru sinyaller direkt olmayan bağlantılarla gider, işlem elemanı bir sonraki tabakayla bağlantılı olup aynı tabakadaki işlem elemanları birbirleriyle bağlı değildir. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında ağa giriş ve çıkış değerlerini vermek gerekmektedir. Geri beslemeli ağlarda ise, ileri beslemeli ağların tersine işlem elemanları aynı tabakadaki işlem elemanlarıyla bağlantılıdır. Bu ağlar ileri beslemeli ağlardan farklı olarak bir de dinamik hafızaya sahiptirler [22].



Şekil 5.4. Çok katmanlı ağ modelleri [28]

## 5.6. YSA Uygulamalarının Geliştirilme Safhaları

Genel anlamda, bir YSA uygulamasının geliştirilme safhaları tasarım, öğrenme/eğitme ve test/uygulama olarak üç adımla özetlenebilir.

### 5.6.1. Tasarım

Tasarım, sonuca ulaşılması istenen problemin, tümüyle anlaşılmasının gerekli olduğu önemli bir adımdır. Dikkat edilmesi gereken hususlardan birisi ise, ele alınan problemin ya da uygulamanın YSA modeli çözülmesinin uygunluğudur. Eğer, problem veya uygulamanın YSA ile çözümü uygun ise, üzerinde çalışılan problem/uygulama için bir YSA mimarisi belirlenir. Daha sonra, yapay sinir ağlarında çözümü aranan problemin giriş ve çıkış katmanında kullanılacak parametreler kesin olarak tanımlanmalıdır. Bu parametreler nitelik ya da miktar ile ilgili olabilir. Sonraki adımda, seçilen ağ mimarisine uygun olacak şekilde giriş ve çıkış değerleri uygun desenlere/değerlere dönüştürülmelidir. Bu işlem, verilerin ikili veya sürekli değerlere dönüştürülmesi ile gerçekleşecektir.

Kullanılacak yapay sinir ağı mimarisi ile YSA yapısının diğer unsurlarına tam olarak karar verildikten sonra, gizli katman sayısı ve her bir katmandaki işlem elemanı sayısı belirlenmelidir. YSA'nın en iyi performans gösterdiği, başka bir ifade ile ağ hatasını minimum, öğrenme hızını maksimum yapan optimum veya optimuma yakın katman ve işlem elemanı sayıları deneme/yanılma metodu ile belirlendikten sonra, YSA modeli tasarlanmış olup eğitim için hazır durumdadır [25].

### 5.6.2. YSA' da öğrenme stratejileri

Çözümü istenen problem yada uygulama için ağ mimarisi ve işlem elemanı sayısı kesin olarak belirlendikten sonra, yapay sinir ağlarının en önemli adımlarından biri olan öğrenme işlemi başlatılabilir. Bir sinir ağında öğrenmenin anlamı, ağın çözümü istenen probleme ait doğru çıktıları üretmesi amacıyla optimum ağırlık değerlerinin bulunmasıdır. Ağ boyunca bilginin ağırlıklar şeklinde dağıtılmasından dolayı tek bir bağlantı anlamlı bir bilgi değildir. Başka bir ifade ile, anlamlı bir bilgi oluşturmak

için işlem elemanlarının meydana getirdiği bir bağlantı grubu gerekir. Problem veya uygulamanın optimum çözümü için seçilen ağ mimarisinin bağlantılarına ait ağırlık değerlerine sahip olması gerekmektedir. Öğrenme safhası, ağırlık değerinin hangi yöntemle değiştirileceğini açıklayan bir öğrenme kuralına dayanmaktadır. Geliştirilmekte olan birçok öğrenme kuralı vardır [32]. YSA yapısıyla ilgili olarak genel anlamda üç tip öğrenme stratejisinden söz edilebilir.

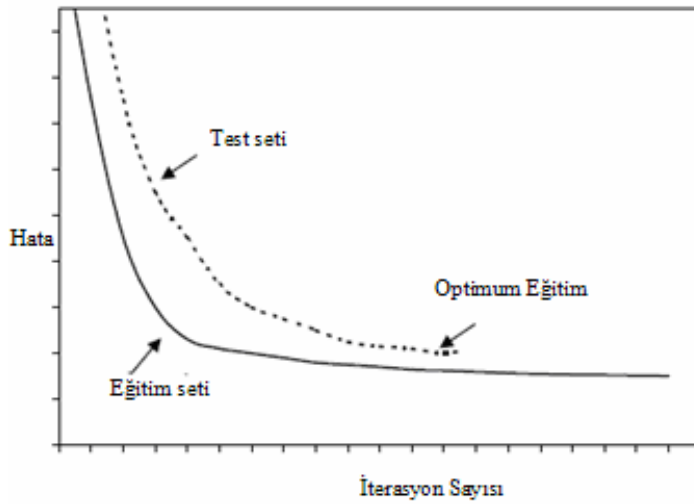
İlk tip öğrenme stratejisi olarak, denetimli veya öğretmenli öğrenme metodunda, problem yada uygulamanın tam olarak kavranabilmesi için, girdi ve çıktı parametrelerinin bir öğretici tarafından seçilmesi gerekmektedir. Ağa girdi olarak verilen değer, yukarıdaki adımlardan sonra ağ tarafından çıktı olarak verilecektir. Çıktı olarak ağdan çıkan değer eğer kabul edilebilir hata seviyesine erişinceye kadar, bağlantılardaki ağırlıklar her defasında yeniden ayarlanmalıdır.

Destekli öğrenme metodu ise, yine denetimli öğrenme metoduna benzer olarak bir eğitici gerektirmekte fakat çıktının ne olması gerektiği hususu ağa bildirilmemektedir. Öğretici tarafından ağa bildirilen sadece çıktı değerinin doğru olup olmadığını bildirir.

Literatürde yaygın olarak kullanılan üçüncü metod olan, öğretmensiz yada denetimsiz öğrenme stratejisinde bir öğreticiye gerek duyulmamaktadır. Bu ağ mimarisinde, girdi/çıktı eşleştirmesi ağ tarafından yapılmaktadır.

Tipik bir öğrenme safhasında, önceden belirlenmiş olan kabul edilebilir hata oranına erişinceye dek, veriler ağa defalarca gösterilir. Yapay sinir ağlarının çıktı olarak üretmiş olduğu değer ile istenen çıkış değeri arasındaki hata oranı, önceden belirlenen bir sınırdan az ise ağ mimarisinin problem veya uygulamayı öğrendiği kabul edilir (Bkz Şekil 5.5).



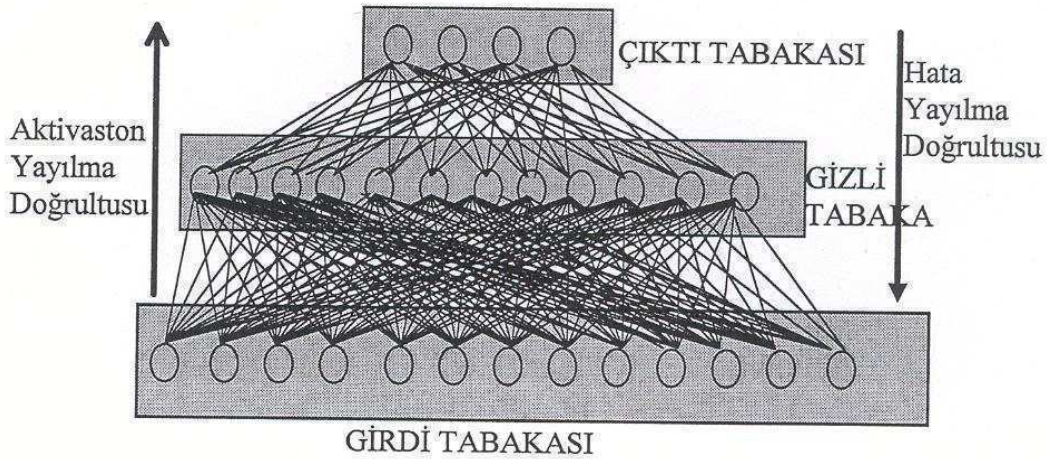


Şekil 5.5. Eğitim ve test seti için hata oranını gösteren tipik bir eğitim eğrisi [33]

Genel anlamda kullanılan tipik bir yapay sinir ağı modeli, girdi katmanı, bir veya birden fazla gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere en az üç veya daha fazla katmandan oluşur. Ağ mimarisinde bulunan herhangi bir katmandaki işlem elemanları, bir önceki ve bir sonraki katmanlarla ilişkili olmakta olup, bir önceki katman elemanları bir sonraki katmanda bulunan elemanlara sadece girdi gönderebilirler. Aynı katmanda bulunan elemanların birbirleriyle ilişkisi söz konusu değildir [25].

#### 5.6.2.1. Geriye yayılma öğrenme algoritması

Seçilen ağ mimarisinin çıkışında elde edilen hatanın minimize edilerek ağ ağırlıklarının buna göre değiştirilmesi geriye yayılma öğrenme algoritmasının temel prensibidir. Bu tip yapay sinir ağlarında işlem elemanları (nöronlar) tabakalar halinde düzenlenmiştir. Şekil 5.6'dan görüleceği ve tezin önceki bölümlerinde de açıklandığı üzere, her bir yapay sinir ağı modeli girdi, gizli ve çıktı olmak üzere en az üç katmandan oluşmaktadır.



Şekil 5.6. Geriye yayılma yapay sinir ağı modelinin genel yapısı [22]

Hatayı geriye yayma ağ modeli veya başka bir ifade ile geriye yayılma öğrenme algoritması yedi öğrenme adımından oluşmakta olup, bunlardan ilk dördü ileri, son üç adım ise geriye doğru işlem adımlarıdır [25]. Bu adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

1. Ağ yapısının tanımlanması: Girdi, çıktı, ara katman ve ara katman eleman sayısı belirlenir.
2. Başlangıç ağ parametrelerinin belirlenmesi: Seçilen ağ mimarisinde kullanılacak olan ağırlık ve bias'lar belirlenir.
3. Öğrenme setinin ağa tanıtılması: Problemin veya uygulamanın çözümünde kullanılacak olan girdi ve çıktılardan oluşan bir öğrenme seti ağa tanıtılır.
4. Ağın son çıktısının bulunması: Ağ mimarisinde kullanılan her bir işlem elemanı için toplam girdi ve transfer değerleri hesaplanarak ağın son çıktısı bulunur.
5. İstenen sonuç ile ağ çıktısı arasındaki hatanın hesaplanması.

6. Aradaki hatanın çıktı katmanından başlamak üzere geriye doğru bağlantı ağırlıklarına dağıtılır.
7. Eğer hata kabul edilebilir sınırlar içinde ise işlem durdurulur, aksi halde 3. adıma geri dönülür.

### **5.6.3. Test/Uygulama**

Bu adımda, seçilmiş olan ağ mimarisi, başarılı bir şekilde eğitildikten sonra, ağ mimarisinin eğitim esnasında edinmiş olduğu bilgilerden hareketle, YSA'nın daha önce hiç karşılaşmadığı durumlar için genelleme yapar. Test işlemi sonucunda, YSA'nın üretmiş olduğu sonuçlar ile çözümü istenen problem/uygulama için istenen sonuç arasındaki hata oranı, kabul edilebilir sınırlar içinde ise, kullanılan YSA'nın güvenilirliği onaylanmış olur. Aksi halde seçilmiş olan ağ mimarisi değiştirilerek eğitim ve test adımları tekrarlanmalıdır. Problem/uygulamanın çözüm aralıklarını daha iyi temsil edecek şekilde eğitim setinin seçilmesi ve ağ mimarisinin problemi daha iyi kavraması için eğitim setinin artırılması, en iyi sonucu elde etmek açısından oldukça önemlidir.

## **BÖLÜM 6. ÖNERİLEN YAPAY SİNİR AĞI MODELİ VE UYGULAMASI**

### **6.1. Giriş**

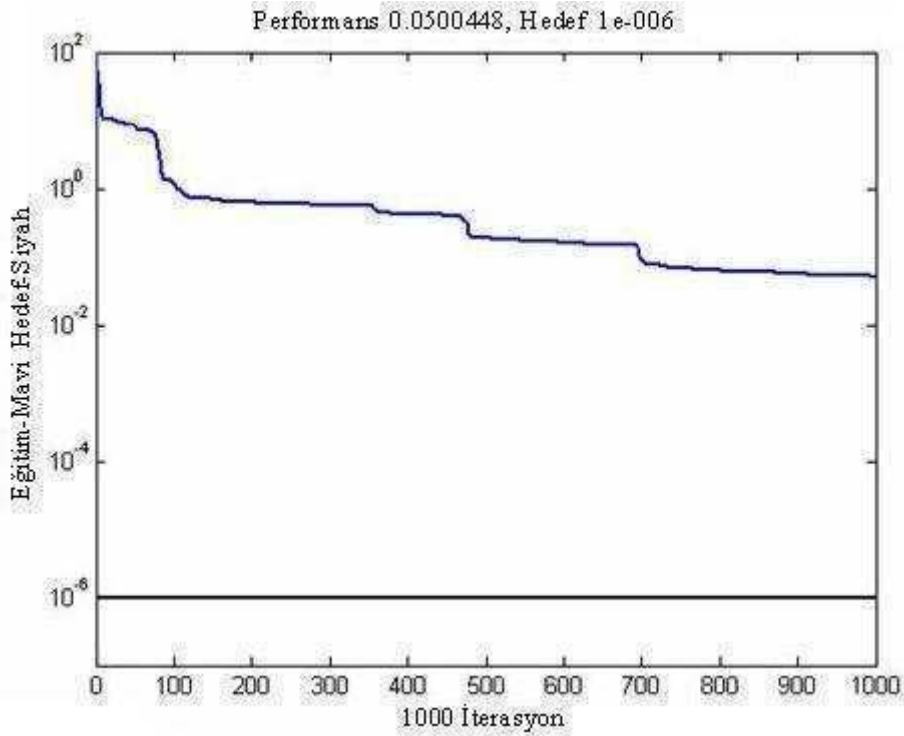
Bu çalışmada, Adapazarı bölgesindeki killi zemin seviyelerinde yapılan SPT deneyleri ile elde edilen numuneler üzerinde ilgili laboratuvar deneyleri yapılarak bulunan kıvam limitleri değerleri kullanılarak zemin sınıflandırması yapılmıştır. Bu amaçla, sadece Adapazarı bölgesine ait 456 adet kıvam limitleri deney sonuçları YSA modelinin eğitim ve test setleri için kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan YSA modelinin yapısı ile ilgili olarak, geriye yayılım (Back Propagation) ağı modeli kullanılmıştır. Yine YSA modelinde birleştirme fonksiyonu olarak toplama fonksiyonu, transfer veya aktivasyon fonksiyonu olarak da sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Ölçeklenmiş konjuge gradyant algoritmasının diğer algoritmalara göre daha hızlı sonuç vermesinden dolayı, atterberg ya da kıvam limitleri ile yapılan ince daneli kil zeminlerinin sınıflandırılması için hatayı geriye yayma algoritması olarak mevcut ölçeklenmiş konjuge gradyant algoritması kullanılmıştır [34].

Özellikle 17 Ağustos 1999 Marmara depreminde Adapazarı bölgesi için gerek kamu gerekse özel sektör tarafından yapılmış olan zemin etüd raporlarının ilgili kısımları incelenmiş ve deneysel veri tabanı olarak elde edilen bu sayısal parametreler kullanılmıştır. Bu çalışma için elde edilen 456 adet kıvam ya da Atterberg limitleri sonuçları, geliştirilmiş olan YSA modelinde 400'ü eğitim, 56'sı ise test seti için kullanılmıştır.

Deneysel veri tabanının kullanımına ilişkin olarak, bu çalışma için başlangıçta 456 adet kıvam limitleri deney verileri eğitim ve test seti olmak üzere iki sete bölünmüştür. Eğitilen YSA modelinde en uygun ağ yapısını belirlemek amacıyla,

gizli katman sayısı bir ve iki katmanlı olarak seçilmiştir. Tek gizli katmanlı yapay sinir ağ modeli için işlem elemanı sayısı seçilirken öncelikle 1000 iterasyon için performans ölçülerek uygun değerler araştırılmıştır (Bkz Şekil 6.1). İki gizli katmanlı YSA modeli için ise yine benzer olarak işlem elemanı sayılarının 1 ile 20 işlem elemanı sayısı arasında değişen farklı varyasyonları için ağ modelinin performansı belirlenmiştir.

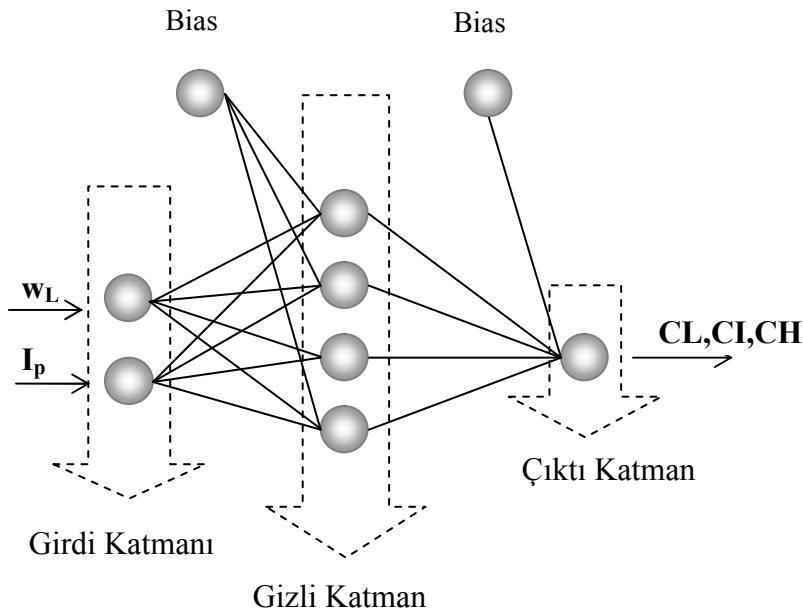


Şekil 6.1. Tek gizli katman ağ mimarisi için hata azalım eğrisi (1000 iterasyon)

En iyi sonucu, tek gizli katmanlı ve gizli katmanda dört işlem elemanlı YSA modelinin verdiği tespit edilmiştir.

## 6.2. Önerilen Model ve Programın Tanıtılması

Geliştirilmiş olan YSA modeli Şekil 6.2’de gösterilmiş olup girdi katmanı bilgileri ise Tablo 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.2. Geliştirilmiş olan YSA modelinin mimarisi

Tablo 6.1. Girdi katmanı bilgileri

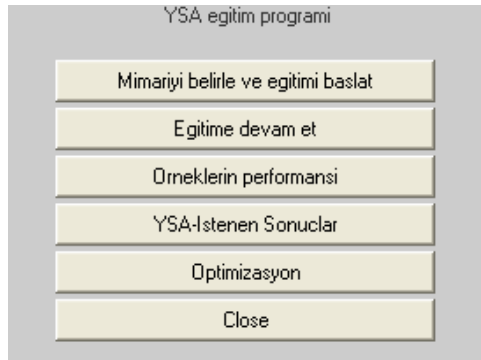
Simge	Açıklama
$w_L$	Likit Limit
$I_p$	Plastisite İndisi

Önerilen YSA modelinin girdi katmanında likit limit ( $w_L$ ) ve plastisite indisi ( $I_p$ ) olmak üzere iki parametre, çıktı katmanında ise Adapazarı bölgesindeki killi zeminler için düşük plastisiteli kil (CL), orta plastisiteli kil (CI) ve yüksek plastisiteli kil (CH) olmak üzere tek zemin sınıfı olarak bir parametre kullanılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, ağ mimarisi belirlenirken iki girdi parametresine karşılık olarak tek çıktı parametresi seçilmiş olup, yukarıda belirtilen çıktı durumundaki zemin sınıfları için tek çıktı katmanında farklı sayısal değerler verilmek suretiyle ağ mimarisi tasarlanmıştır. Çıktı katmanında kullanılan verilere ait bilgiler Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. Çıktı katmanı bilgileri

Zemin Sınıfı	YSA'da Tanımlanan Değer	Açıklama
CL	0.01	Düşük Plastisiteli Kil
CI	0.5	Orta Plastisiteli Kil
CH	1	Yüksek Plastisiteli Kil

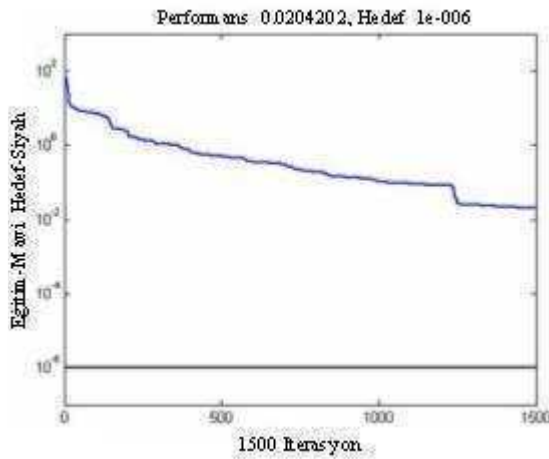
MATLAB tabanlı geliştirilen programın [25], çalıştırılmasıyla Şekil 6.3'de görülen arayüz ekranda oluşturulur. Kullanılacak olan YSA modelinin mimarisi geliştirildikten sonra eğitim başlatılır.



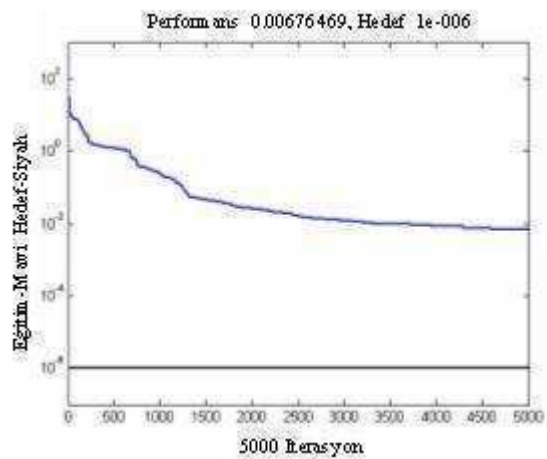
Şekil 6.3. Matlab tabanlı oluşturulan programın arayüzü

Ağırlık değerlerinin rastgele atanması ile eğitim başlatılır. Hedeflenen çıktı değerleri ile YSA modelinin ürettiği çıktı sonuçları arasındaki sapmadan oluşan hatalar, ağırlık değerleri değiştirilmek suretiyle azaltılır. Bu işlemin eğitim setinin tüm örneklerine uygulanması bir iterasyonu (epoch) oluşturur ve optimum ağırlık değerleri bulununcaya kadar iterasyon işlemine program içinde devam eder (Bkz Şekil 6.4).

Hedeflenen çıktı ile bulunan çıktı arasındaki hata, önceden belirlenmiş olan kabul edilebilir hata oranı sınırlarına ulaştığında iterasyon durdurulur (Bkz Şekil 6.5).

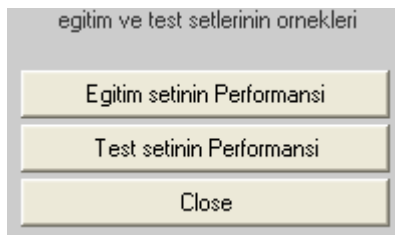


Şekil 6.4. Hata azalım performans grafiği



Şekil 6.5. İstenen hata hedefine ulaşılmış grafik

Belirlenen ilk iterasyon sayısı sonucunda hedeflenen eşik değerine ulaşamaması halinde “eğitime devam et” tuşuna basılarak istenen hedef yakalanıncaya kadar eğitime devam edilir [33]. Seçilmiş olan YSA modeli mimarisi eğitimini tamamladıktan sonra eğitim safhası durdurulur, artık YSA test edilmeye hazırdır. Şekil 6.3’de görülen Matlab tabanlı oluşturulan programın [25], arayüzü ekranda oluştuktan sonra ‘Örneklerin performansı tuşuna basıldığında Şekil 6.6’de görülen arayüz ekranda belirir.

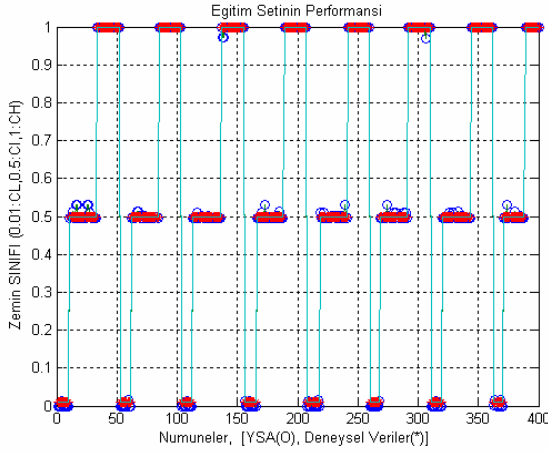


Şekil 6.6. Örneklerin performansı arayüzü

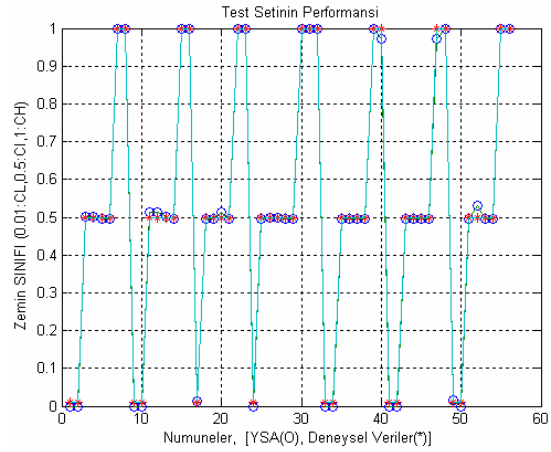
Yukarıdaki şekilde görülen örneklerin performansı arayüzünde, ‘Eğitim setinin performansı’ tuşuna basıldığında eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçların grafiği her bir örnek için ayrı bir pencerede olmak üzere Şekil 6.7’de görüleceği gibi eğitim setinin grafiği elde edilmiştir. Benzer olarak ‘Test setinin performansı’ tuşuna basıldığında yine YSA modelinin sonuçları ile deneysel



sonuçların grafiği her bir örnek için ayrı bir pencerede olmak üzere Şekil 6.8’de görüleceği üzere test setinin grafiği elde edilmiştir.



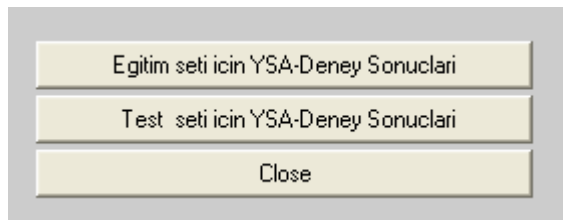
Şekil 6.7. YSA modeli eğitim seti performansı



Şekil 6.8. YSA modeli test seti performansı

Grafiklerde dikey eksen olarak görülen kısımda tanımlanmış zemin sınıfı değerleri, yatay eksen ise örnek sayısı görülmektedir. Deneysel veriler kırmızı yıldız işareti ile YSA’nın üretmiş olduğu çıktılar ya da sonuçlar ise yuvarlak sembollerle temsil edilmiştir. Grafiklerden de görüleceği üzere veri sayısı eğitim setinde 400 adet (Bkz Şekil 6.7) test setinde ise 56 adet (Bkz Şekil 6.8) olarak seçilmiştir.

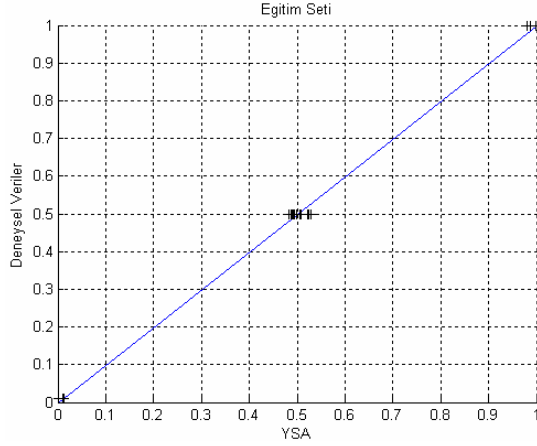
Şekil 6.3’de görülen arayüzde ‘YSA-İstenen sonuçlar’ düğmesine basıldığında Şekil 6.9 arayüzü ekrana gelir [25].



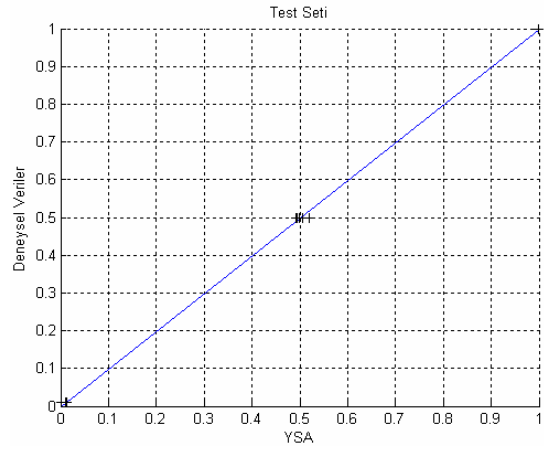
Şekil 6.9. YSA istenen sonuçlar arayüzü

Yukarıda şekli verilmiş olan YSA istenen sonuçlar arayüzünde, ‘Eğitim seti için YSA-Deney sonuçları’ düğmesine basıldığında eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçların  $x=y$  doğrusu üzerindeki dağılımları Şekil 6.10’da görüldüğü gibi

eğitim setinin grafiği elde edilmiştir. Benzer olarak, yine Şekil 6.9’da görülen arayüz ekranında ‘Test seti için YSA-Deney sonuçları’ düğmesine basıldığında eğitilen YSA modelinin sonuçları ile deneysel sonuçların  $x=y$  doğrusu üzerindeki dağılımları Şekil 6.11’de görüleceği üzere test setinin grafiği elde edilmiştir.



Şekil 6.10. YSA modeli eğitim seti performansı



Şekil 6.11. YSA modeli test seti performansı

Burada dikkat edilmesi gereken husus, eğitim ve test seti için ayrı ayrı Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de verilmiş olan, YSA modelinin üretmiş olduğu çıktılar ile deneysel veri değerlerinin  $x=y$  üzerindeki dağılımları YSA modelinin problemi öğrenme performansının hangi aralıkta olduğunu göstermektedir. Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’deki grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi YSA modeli sonuçları gerçeğe oldukça yakındır.

## BÖLÜM 7. İSTATİSTİK ANALİZ

### 7.1. Giriş

Bu bölümde, Adapazarı bölgesindeki killi zemin seviyelerinde yapılan SPT deneyleri ile elde edilen numunelere ait kıvam limitleri değerleri ile geliştirilmiş olan YSA modelinin üretmiş olduğu sonuç değerlerini doğru yorumlayabilmek amacıyla istatistiksel bir çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışma için kullanılmış olan istatistiksel parametrelerin teorik tanımlanması bu kısımda özet şeklinde sunulacaktır.

**Aritmetik Ortalama:** Seçilen basit seri için, serideki veri değerleri toplamının toplam veri sayısına bölünmesiyle elde edilen değerdir.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (7.1)$$

**Standart Sapma:** Elde edilen deney sonuçlarının, serideki ortalama değer çevresindeki dağılımını gösteren bir parametre olup, seriye ait aritmetik ortalamadan sapmalar serisinin kareli ortalamasıdır.

$$s_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \quad (7.2)$$

**Varyans:** Seriye ait olarak bulunmuş olunan standart sapmanın karesine varyans denilir.

$$\text{Var}(x) = (s_x)^2 = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right] \quad (7.3)$$

**Kovaryans:** X ve Y gibi rastgele iki değişkenin ortak dağılımında X ve Y nin marjinal dağılımlarına ait bazı parametrelerinden farklı olarak merkezsiz çarpım momentinin de göz önüne alınması gerekmekte olup, bu momente kovaryans denmektedir.

$$\text{Cov}(X, Y) = E[(X - \mu_x)(Y - \mu_y)] \quad (7.4)$$

**Korelasyon Katsayısı:** Kovaryansın boyutu X ve Y değişkenlerinin boyutlarının çarpımı olarak ifade edildiğinden dolayı boyutsuz bir katsayı elde etmek amacıyla kovaryans X ve Y nin standart sapmalarının çarpımına bölünerek korelasyon katsayısı tanımlanmaktadır. Bu katsayının değeri -1 ile 1 arasında değişebilmektedir. Korelasyon katsayısının mutlak değerinin 1'e yaklaşması X ile Y arasındaki doğrusal bağımlılığın kuvvetlendiğini, sıfıra eşit olması halinde ise, X ve Y değişkenlerinin birbirinden bağımsız olduğu anlaşılmaktadır. Kovaryansın sıfıra eşit olmayıp pozitif değer alması X 'in ortalamadan büyük değerlerine genellikle Y 'nin ortalamadan büyük değerlerinin, X 'in ortalamadan küçük değerlerine de Y 'nin ortalamadan küçük değerlerinin karşı geldiğini gösterir. Bu durumda X ile Y arasında bir bağımlılık olduğu söylenebilir. Kovaryansın negatif değer olması halinde, rastgele değişkenlerin bağımlı olduğu ve değişkenlerden biri artarken diğeri azaldığı söylenebilir. Korelasyon katsayısının mutlak değerinin 1'e eşit olması durumunda X ile Y arasında  $y=a+bx$  şeklinde doğrusal fonksiyonel bir bağımlılık olduğu anlaşılır [35].

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i - N \bar{x} \bar{y}}{N s_x s_y} \quad (7.5)$$

**Determinasyon Katsayısı:** Korelasyon katsayısının karesine determinasyon katsayısı denmektedir. Korelasyon katsayısına benzer olarak, determinasyon katsayısının 1'e yakın olması durumu X ve Y değişkenlerinin arasında doğrusal bağımlılığın kuvvetlendiğini göstermektedir.

$$R^2 = r_{x,y}^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{N s_x s_y} \right]^2 \quad (7.6)$$

**Ortalama Karesel Hata:** Seride gözlenen ve tahmin edilen veri değerlerinin farkının toplanıp, toplam veri sayısına bölünmesiyle elde edilen değerdir. İstenen değer ile YSA modelinin üretmiş olduğu çıktı arasındaki hatayı karesel olarak gösteren parametredir. Bu değerın sıfıra yakın olması, tahmin edilen değerın kuvvetli biçimde doğruya yakınsadığını göstermektedir.

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_o - R_{YSA})^2 \quad (7.7)$$

**Ortalama Mutlak Hata:** Seride gözlenen ve tahmin edilen veri değerlerinin farkının, gözlenen değere bölündükten sonra herbir sonuç için yüzde olarak toplanmasıyla elde edilen değerdir. İstenen değer ile YSA modelinin sonucu arasındaki hatayı mutlak olarak göstermekte olup, bu değerın sıfıra yakın olması YSA modelinin üretmiş olduğu sonucun istenen değere kuvvetli biçimde yaklaştığını göstermektedir.

$$OMH = \sum_{i=1}^N \left| \frac{(R_o - R_{YSA})}{R_o} \times 100 \right| \quad (7.8)$$

## 7.2. Regresyon Analizi

Birçok mühendislik problemlerinde iki ya da daha fazla sayıda rastgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerler bakımından birbirinden bağımsız olmadığını, dolayısıyla bu değişkenler arasında istatistiksel bir ilişki bulunduğunu görürüz. Değişkenlerden ikisi arasında bir ilişki olabileceği gibi, değişkenlerden her ikisinin başka değişkenlerden birlikte etkilenmesi de söz konusu olabilir. Fakat, bahsedilen ilişkiler deterministik (fonksiyonel) nitelikte değildir başka bir ifade ile değişkenlerden biri belli bir değer aldığıında diğerinin her zaman aynı değeri alacağı

söylenemez. Yine de değişkenler arasındaki fonksiyonel olmayan bağıntının varlığının ortaya çıkarılması ve biçiminin belirlenmesi uygulamada büyük önem taşımaktadır. Bu bağıntı kullanılarak bir değişkenin alacağı değeri diğer değişkenlerin bilinen değerlerine bağlı olarak tahmin etmek mümkün olur. Yapılan bu tahmin, söz konusu değişkenin alacağı gerçek değeri kesin olarak vermemekle birlikte bu değere yakın en iyi tahmin olur. Burada tahmin edilen değer ile gerçek değer arasındaki farkların (hata) hangi sınırlar içinde kalacağını belli bir olasılıkla söylemek mümkün olacaktır. Bahsettiğimiz bir bağıntıyı gösteren matematik ifadeye regresyon denklemi denir. Regresyon analizinin amacı, göz önüne alınan değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirlemek, böyle bir ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak yapılacak tahminlerin güven aralıklarını hesaplamaktır [35].

Regresyon analizine başlarken aralarında ilişki aranacak olan iki veya daha fazla sayıda değişkenin hangileri olduğuna karar vermek ve bu değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren denklemi belirlemek için bir kabul yapılması gerekir. Buna göre regresyon analizini üç gruba ayırmak mümkün olmaktadır.

**Basit Doğrusal Regresyon Analizi:** İki değişken arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu kabul edilen bu metot, yaygın olarak kullanılan en basit analizdir.

**Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon Analizi:** Bu analiz metodunda, ikiden daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğu kabul edilmektedir.

**Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi:** Bu analiz metodunda ise, iki yada daha fazla değişken arasında doğrusal olmayan (nonlinear) ve biçimi önceden seçilen bir denklemle ifade edilen bir ilişkinin varlığı kabul edilmektedir [35].

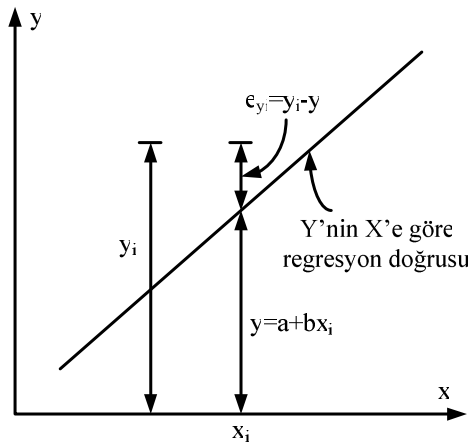
Tezin bu kısmında, sadece yapılmış olan çalışmada kullanılan basit doğrusal regresyon analizi ele alınacaktır.

### 7.2.1. Basit doğrusal regresyon analizi

Aralarında anlamlı bir ilişki bulunan iki rastgele değişkenden  $y$  ile göstereceğimiz bağımlı değişkenin değerini,  $x$  ile göstereceğimiz bağımsız değişkenin verilen bir değeri için tahmin etmemize yarayan regresyon doğrusunun denklemi bağıntı (7.9)'da verilmiştir.

$$y = a + bx \quad (7.9)$$

Bağıntı (7.9)'da verilen  $y$ 'nin  $x$ 'e göre regresyon doğrusu denklemi olan ifadede,  $a$  ve  $b$  regresyon katsayılarını hesaplamak için  $(x_i, y_i)$  noktalarının regresyon doğrusuna düşey ( $y$  doğrultusundaki) uzaklıklarının ( $e_{y_i}$ ) karelerinin toplamı minimum yapılır (Bkz Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Regresyon doğrusu gözlem noktalarının düşey uzaklıklarının karelerinin toplamını en küçük yapacak şekilde geçirilmesi [35].

$$\min \sum_{i=1}^N e_{y_i}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - a - bx_i)^2 \quad (7.10)$$

$e_{y_i}^2$  için bağıntı (7.10) ifadesi kullanılarak denklemleri çözümlerse regresyon katsayıları olan  $a$  ve  $b$  için aşağıdaki bağıntılar elde edilir.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} = \frac{s_Y}{s_X} \times r_{X,Y} \quad (7.11)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (7.12)$$

Gözlenen noktaların regresyon doğrusuna düşey uzaklıklarının toplamını minimum yapacak şekilde geçirilen doğru, aynı zamanda  $x$ 'in verilen bir değeri için  $y$ 'yi tahmin etmemize yarayan regresyon doğrusudur. Gözlenmiş noktaların regresyon doğrusuna düşey uzaklıklarının ( $e_{yi}$ ) toplamı bağıntı (7.13)'de görüleceği üzere sıfır olmaktadır.

$$\sum_{i=1}^N e_{yi} = 0 \quad (7.13)$$

Bu uzaklıkların  $x$ 'in her değeri için aynı olduğu kabul edilen varyansı için bağıntı (7.14)'ü elde etmek mümkündür.

$$s_{ey}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N e_{yi}^2}{N-2} = \frac{N-1}{N-2} \times (1 - r_{X,Y}^2) \times s_y^2 \cong (1 - r_{X,Y}^2) \times s_y^2 \quad (7.14)$$

Bağıntı (7.14)'de verilmiş olan denklemden de görüleceği üzere,  $y$  bağımlı değişkeninin varyansı olan  $s_y^2$  regresyon doğrusu geçirildikten sonra gözlem noktalarının bu doğrunun çevresindeki dağılımında azalarak  $(1 - r_{X,Y}^2) s_y^2$  değerine inmektedir. Buna göre  $r_{X,Y}^2$  (determinasyon katsayısı),  $y$ 'nin varyansının regresyon doğrusu ile açıklanabilen yüzdesini göstermektedir.  $r_{X,Y}$  korelasyon katsayısı 1'e ne kadar yakınsa açıklanabilen varyans yüzdesi o kadar büyük olur denebilir, ayrıca  $y$  için regresyon doğrusunu kullanarak yapılacak tahminlerdeki hata da o kadar azalmış olur. Bağıntı (7.14)'de verilmiş olan denklem yardımıyla hesaplanan  $s_{ey}^2$  ise  $y$

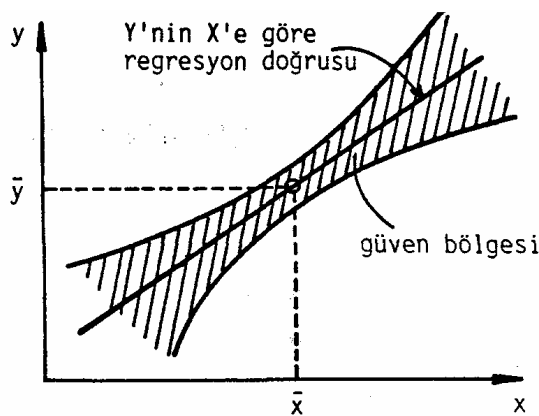


değişkeninde  $x$ 'in dışındaki diğer etkenlerden kaynaklanan değişime bağlı olan varyansı göstermektedir [35].

Verilen bir  $x_0$  değeri için regresyon denklemi ile tahmin edilen  $y$ 'nin varyansı bağıntı (7.15)'de verilmiştir. Bu varyansın kareköküne  $y$ 'nin tahminindeki standart hata denilmektedir. Buradan hareketle, korelasyon katsayısının azalması ile standart hatanın artacağı söylenebilir.

$$\text{Var}(Y) = s_{ey}^2 \times \left[ \frac{N+1}{N} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{N \times s_x^2} \right] \quad (7.15)$$

Belli bir güven düzeyinde  $y$  için yapılacak tahminlerin güven bölgesinin,  $\bar{x}$  değerinden uzaklaştıkça genişlediği Şekil 7.2'de görülmektedir. Bu nedenle regresyon denklemi ile bağımsız değişkenin ortalamadan çok uzak (çok büyük veya çok küçük) değerlerine karşı gelen bağımlı değişken değerlerini tahmin etmek güvenilir sonuç vermez. Regresyon denklemini ancak  $x$ 'in gözlenmiş değerlerinin değişim bölgesi içinde kullanmak uygun olur [35].



Şekil 7.2 Regresyon denklemiyle yapılan tahminler için belli bir güven düzeyindeki güven bölgesi[35]

### 7.3. Sayısal Uygulama

Bu çalışmada performans değerlendirmesi için, Bölüm 7.1 ve 7.2’de ayrıntılı biçimde ele alınan global istatistiksel yöntemlerden determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama karesel hata fonksiyonları (OKH) kullanılmıştır. Ancak bu yöntemler hatanın dağılımı hakkında herhangi bir bilgiye yer vermemektedirler. Bu nedenle bu çalışma için diğer global metotlara ilaveten modelin performansını daha etkili değerlendirmek için ortalama mutlak hata (OMH) yöntemi kullanılmıştır [36, 37].

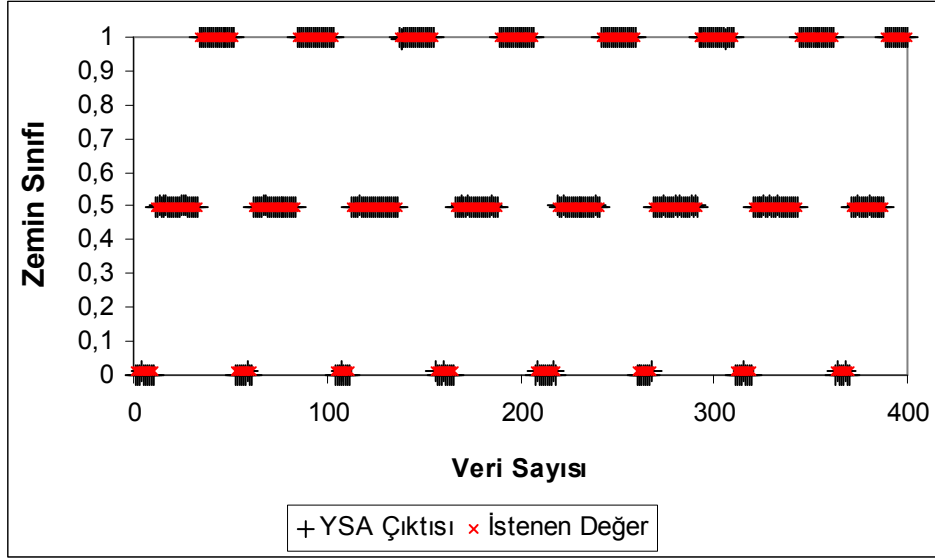
Kullanılan YSA modelinin tek gizli katmandan oluşturulmuş olduğu ve gizli katmanda 4 işlem elemanı seçildiği hususu Bölüm 6.1’de gösterilmişti. Çalışmanın bu kısmında kullanılan YSA modelinin hem eğitim hem de test seti için elde edilmiş olan global istatistiksel parametreleri ayrı ayrı sunulacaktır. İlk olarak geliştirilmiş olan YSA modelinin eğitim setine ait 400 adet kıvam limitleri deney sonuçlarının determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) değerleri Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. Eğitim setine ait performans değerlendirmesi

<b>Eğitim Seti</b>	
$R^2$	0,99994
OKH	0,00002
OMH (%)	16,126925

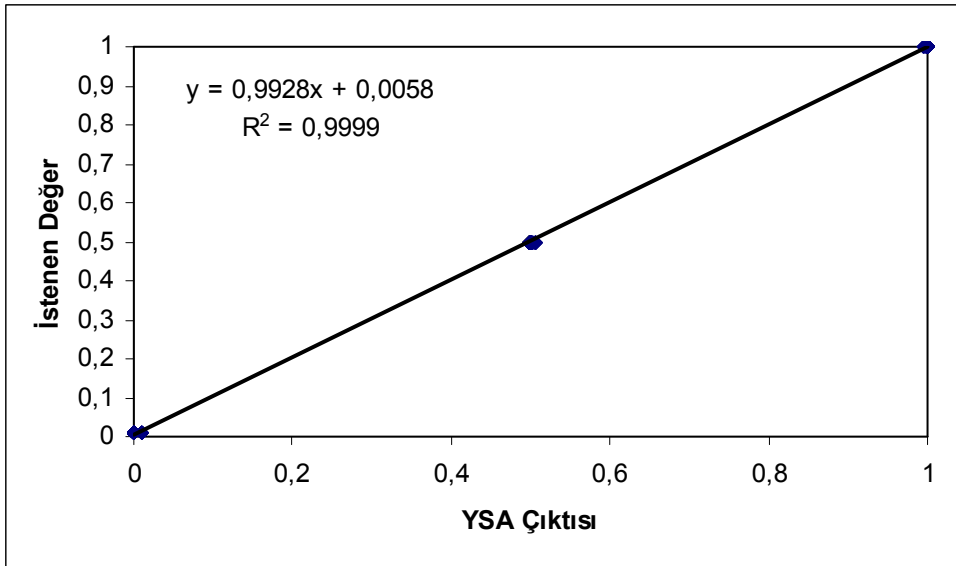
Eğitim setine ait determinasyon katsayısı  $R^2 = 0,99994$  değerinin 1’e yakın olması değişkenler arasında doğrusal bağımlılığın kuvvetli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, istenen değer ile YSA modelinin üretmiş olduğu çıktı arasındaki hatayı karesel ve mutlak olarak gösteren  $OKH=0,00002$  ve  $OMH(\%)=16,126925$  değerlerinin sıfıra yakın olması tahmin edilen değerlerin kuvvetli biçimde doğruya yakınsadığını göstermektedir. Şekil 7.3’de eğitim setine ait 400 adet kıvam limitleri deney sonuçları için YSA modelinin üretmiş olduğu çıktılar ile deneysel sonuçlar

verilmiştir. Burada, YSA modelinin üretmiş olduğu çıktıların deneysel sonuçlara oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.3. Eğitim setine ait YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi

Şekil 7.4’de eğitim seti için, geliştirilmiş olan YSA modelinin çıktısı ile deneysel veri değişkenlerinin x-y düzleminde işaretlenmesi ile elde edilmiş olan grafikte değişkenler arasında bir korelasyon bağıntısının var olup olmadığı görülmektedir. Yaklaşık olarak noktaların hepsi aynı doğru üzerinde bulunduğundan, değişkenler arasında doğrusal bir bağıntı olduğu söylenebilir.



Şekil 7.4. Eğitim setine ait YSA çıktıları ile deneysel verilerin değişimi

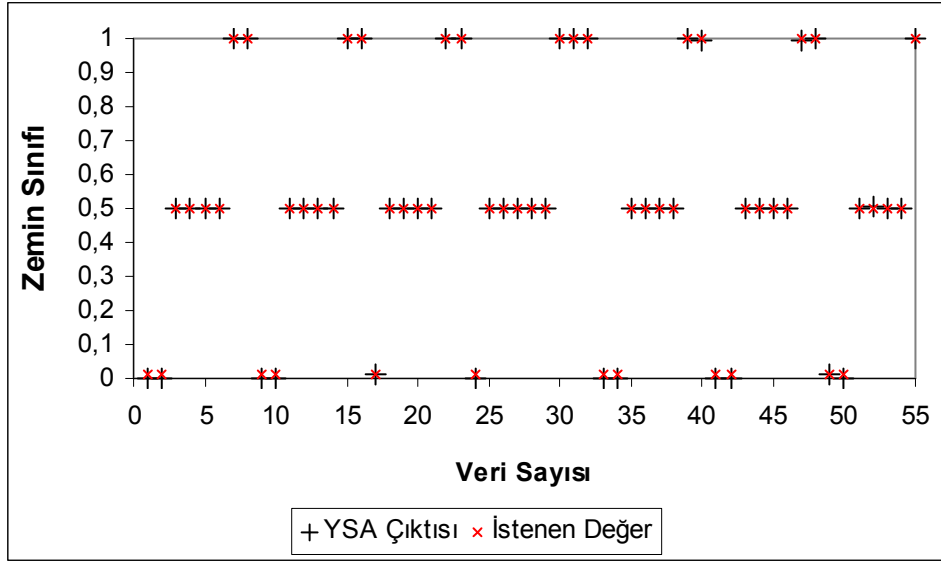
Geliştirilmiş olan YSA modelinin test setine ait 56 adet kıvam limitleri deney sonuçlarının determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) değerleri Tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.2. Test setine ait performans değerlendirmesi

Test Seti	
$R^2$	0,99992
OKH	0,00002
OMH (%)	18,005

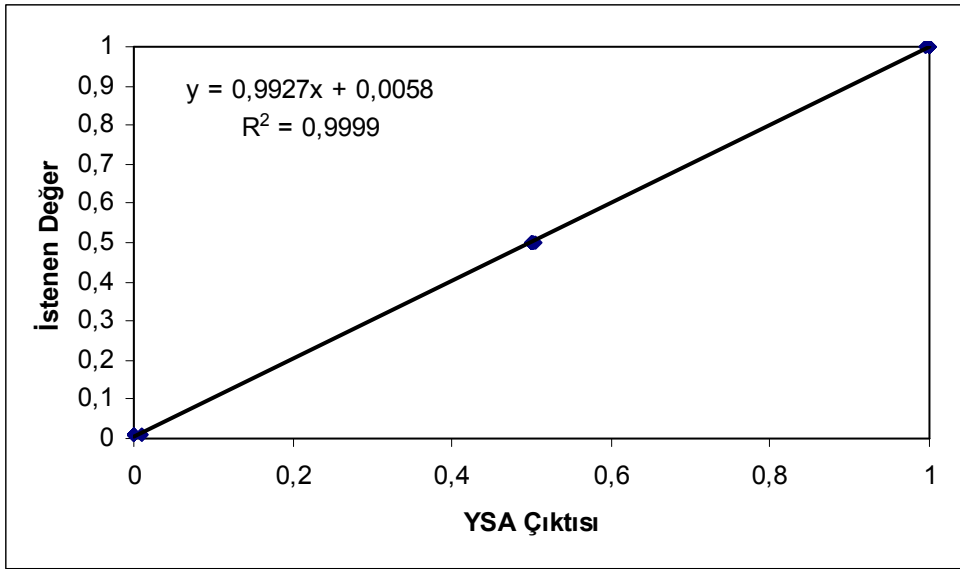
Test setine ait determinasyon katsayısı  $R^2 = 0,99992$  değerinin 1’e yakın olması değişkenler arasında doğrusal bağımlılığın kuvvetli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, istenen değer ile YSA modelinin üretmiş olduğu çıktı arasındaki hatayı karesel ve mutlak olarak gösteren  $OKH=0,00002$  ve  $OMH(\%)=18,005$  değerlerinin sıfıra yakın olması tahmin edilen değerlerin kuvvetli biçimde doğruya yakınsadığını göstermektedir. Şekil 7.5’de test setine ait 56 adet kıvam limitleri deney sonuçları

için YSA modelinin üretmiş olduğu çıktılar ile deneysel sonuçlar verilmiştir. Burada, YSA modelinin üretmiş olduğu çıktıların deneysel sonuçlara oldukça yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 7.5. Test setine ait YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi

Şekil 7.6'da test seti için, geliştirilmiş olan YSA modelinin çıktısı ile deneysel veri değişkenlerinin x-y düzleminde işaretlenmesi ile elde edilmiş olan grafikte, değişkenler arasında bir korelasyon bağıntısının var olup olmadığı görülmektedir. Yaklaşık olarak noktaların hepsi aynı doğru üzerinde bulunduğundan, değişkenler arasında doğrusal bir bağıntı olduğu söylenebilir.



Şekil 7.6. Test setine ait YSA çıktıları ile deneysel verilerin değişimi

Yukarıda eğitim ve test seti için geliştirilmiş olan YSA modelinin çıktıları ile deneysel veriler arasındaki ilişkiler genel olarak sunulmuştur. Burada, YSA modeli için dışardan girilen kıvam limitlerine bağlı olarak elde ettiğimiz zemin sınıflarının (CL, CI, CH) her birinde hem eğitim hem de test seti için ele alınan global istatistiksel yöntemlerden determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hata fonksiyonları (OKH) ve ortalama mutlak hata fonksiyonu (OMH) yöntemleri ile hesaplanabilen değerler sunulacaktır. Bu yöntemle yapılmış olan çalışmanın performansı, zemin sınıfları için analiz edilecektir.

İlk olarak kullanılan YSA modelinin eğitim setine ait, düşük plastisiteli kil (CL), orta plastisiteli kil (CI) ve yüksek plastisiteli kil (CH) zemin sınıfları için hesaplanabilen determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) değerleri Tablo 7.3., 7.4. ve 7.5'de verilmiştir.

Tablo 7.3. Eğitim setine ait CL zemin sınıfı için performans değerlendirmesi

<b>Eğitim Seti (CL)</b>	
$R^2$	Hesaplanamadı
OKH	0,00009
OMH (%)	86,75675676

Tablo 7.4. Eğitim setine ait CI zemin sınıfı için performans değerlendirmesi

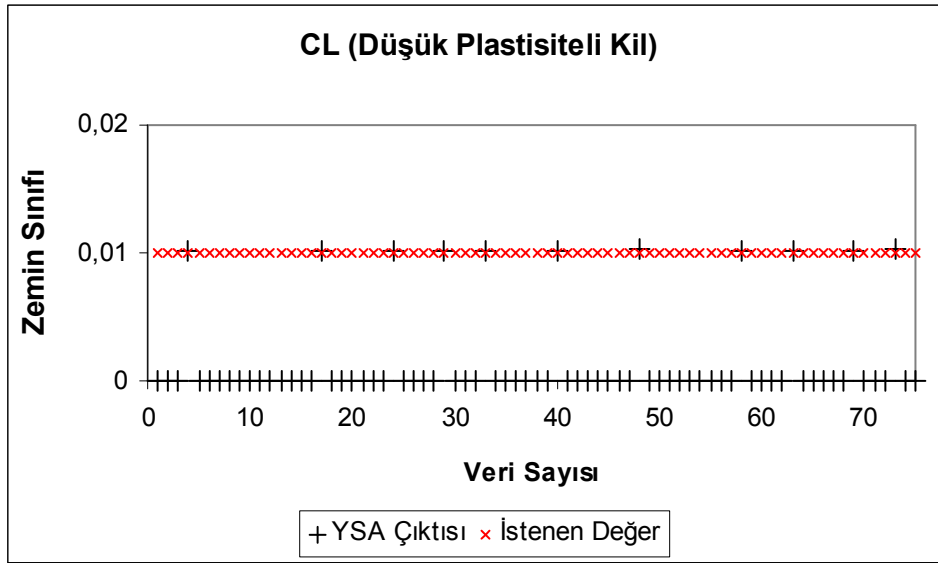
<b>Eğitim Seti (CI)</b>	
$R^2$	Hesaplanamadı
OKH	0,0000
OMH (%)	0,164333333

Tablo 7.5. Eğitim setine ait CH zemin sınıfı için performans değerlendirmesi

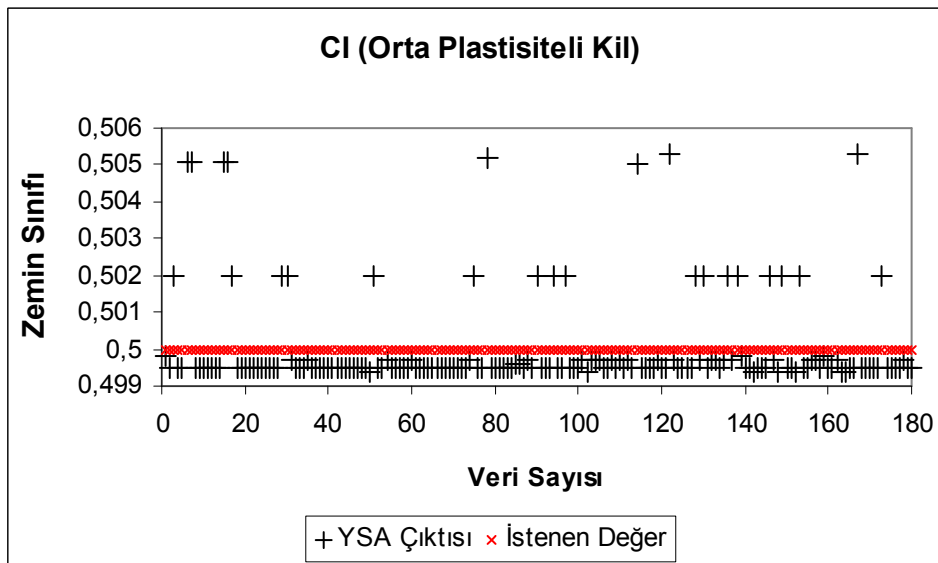
<b>Eğitim Seti (CH)</b>	
$R^2$	Hesaplanamadı
OKH	0,0000
OMH (%)	0,008321678

Eğitim setine ait CL, CI ve CH zemin sınıflarında değerlerin birbirine yakın olması nedeniyle  $R^2$  değeri hesaplanamamıştır. OKH bakımından, CH ve CI zemin sınıfları OKH=0 olarak sonuç verirken aynı değer CL zemin sınıfında OKH=0,00009 olarak elde edilmiştir. OMH bakımından ise en iyi sonucu OMH(%)=0,008321678 değeri ile CH zemin sınıfı vermiştir, aynı değer CI zemin sınıfında OMH(%)=0,164333333, CL zemin sınıfında ise OMH(%)=86,75675676 olarak bulunmuştur. Buradan hareketle CI ve CH zemin sınıflarının CL zemin sınıfına göre daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

Geliştirilmiş olan YSA modelinin eğitim setine ait, CL, CI ve CH zemin sınıfları için YSA modelinin üretmiş olduğu çıktılar ile deneysel sonuçların eşleştirilmesi Şekil 7.7., 7.8. ve 7.9'da verilmiştir. Eğer CI ile CH zemin sınıfları arasında bir kıyaslama yapılmak istenirse, Şekil 7.8. ve 7.9'da sunulmuş olan grafiklerden CH zemin sınıfının CI zemin sınıfına oranla daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

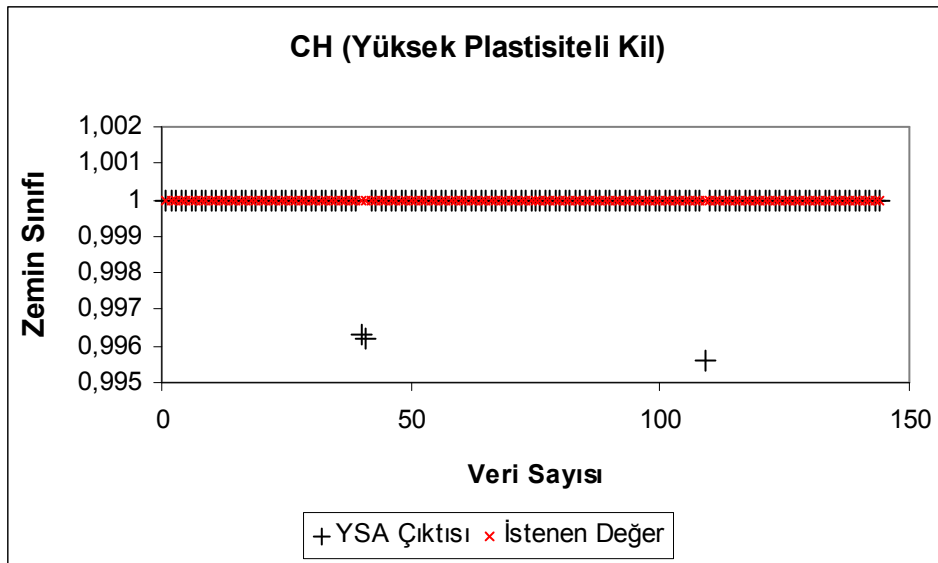


Şekil 7.7. Eğitim setine ait CL zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi



Şekil 7.8. Eğitim setine ait CI zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi





Şekil 7.9. Eğitim setine ait CH zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi

Geliştirilen YSA modelinin test setine ait, düşük plastisiteli kil (CL), orta plastisiteli kil (CI) ve yüksek plastisiteli kil (CH) zemin sınıfları için hesaplanabilen determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) değerleri Tablo 7.6., 7.7. ve 7.8’de verilmiştir.

Tablo 7.6. Test setine ait CL zemin sınıfı için performans değerlendirmesi

<b>Test Seti (CL)</b>	
$R^2$	Hesaplanamadı
OKH	0,00009
OMH (%)	91,18181818

Tablo 7.7. Test setine ait CI zemin sınıfı için performans değerlendirmesi

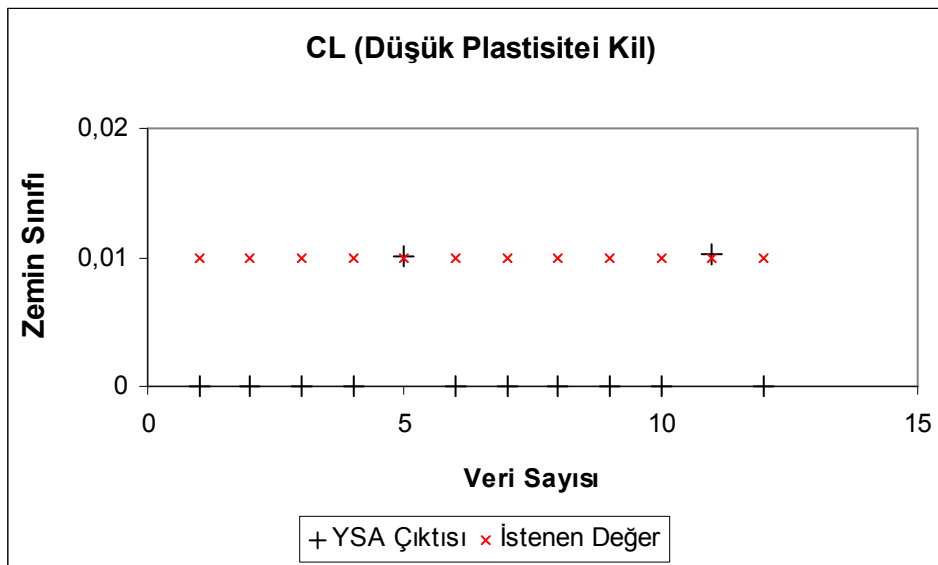
<b>Test Seti (CI)</b>	
$R^2$	Hesaplanamadı
OKH	0,0000
OMH (%)	0,161428571

Tablo 7.8. Test setine ait CH zemin sınıfı için performans değerlendirmesi

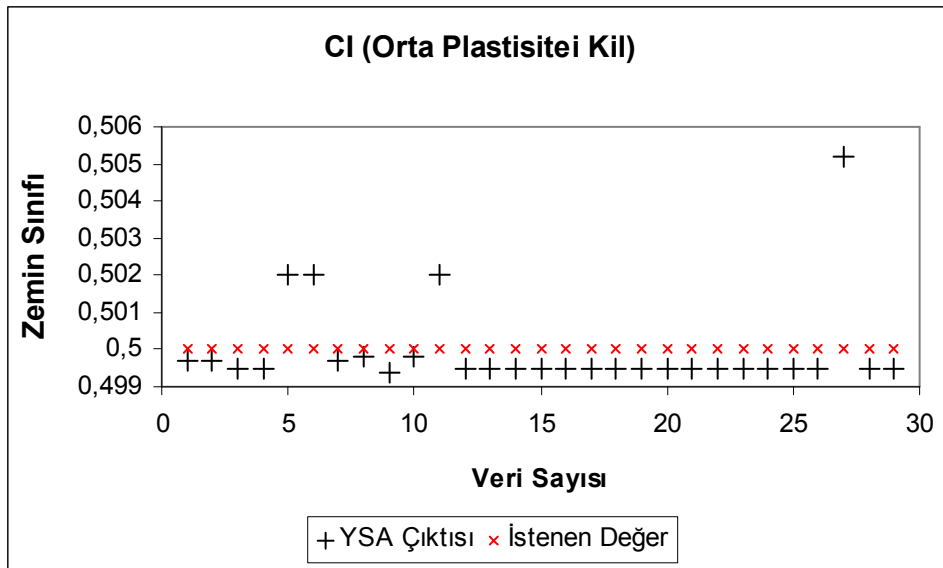
Test Seti (CH)	
$R^2$	Hesaplanamadı
OKH	0,0000
OMH (%)	0,054285714

Test setine ait CL, CI ve CH zemin sınıflarında değerlerin birbirine yakın olması nedeniyle  $R^2$  değeri hesaplanamamıştır. OKH bakımından ise CH ve CI zemin sınıfları OKH=0 olarak sonuç verirken aynı değer CL zemin sınıfında OKH=0,00009 olarak elde edilmiştir. OMH bakımından en iyi sonucu OMH(%)=0,054285714 değeri ile CH zemin sınıfı vermiştir, aynı değer CI zemin sınıfında OMH(%)=0,161428571, CL zemin sınıfında ise OMH(%)=91,18181818 olarak bulunmuştur. Buradan hareketle CI ve CH zemin sınıflarının CL zemin sınıfına göre daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

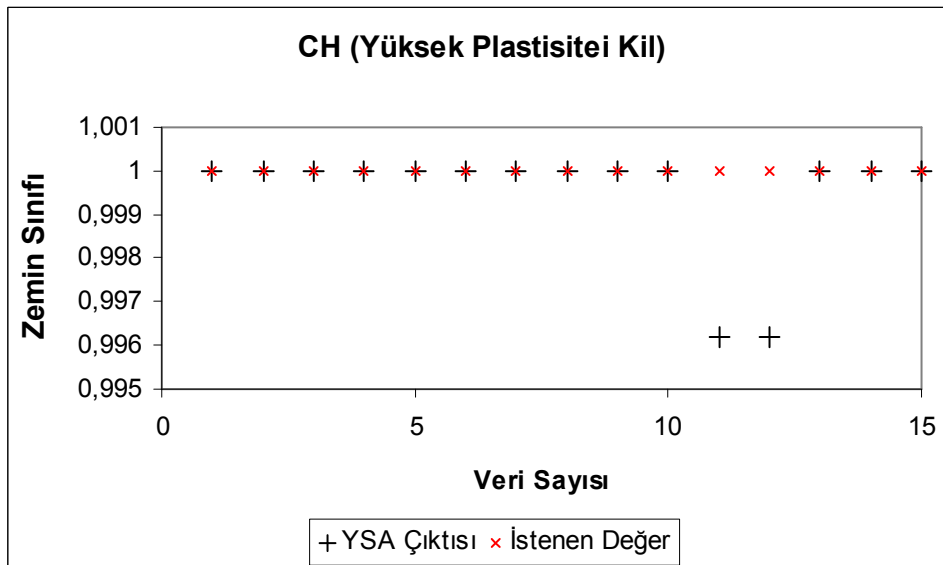
Geliştirilmiş olan YSA modelinin test setine ait, CL, CI ve CH zemin sınıfları için YSA modelinin üretmiş olduğu çıktılar ile deneysel sonuçların eşleştirilmesi Şekil 7.10, 7.11. ve 7.12'de verilmiştir. Eğer CI ile CH zemin sınıfları arasında bir kıyaslama yapılmak istenirse, Şekil 7.11. ve 7.12'de sunulmuş olan grafiklerden CH zemin sınıfının CI zemin sınıfına oranla daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.



Şekil 7.10. Test setine ait CL zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi



Şekil 7.11. Test setine ait CI zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi



Şekil 7.12. Test setine ait CH zemin sınıfı için YSA çıktıları ile deneysel verilerin eşleştirilmesi

## BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, mühendislik analizi ve tahminlerinde alternatif bir metot olarak başarı ile kullanılan yapay sinir ağları (YSA) ile killi zeminlerin sınıflandırılması irdelenmiştir. Bunun için öncelikle, Adapazarı bölgesindeki killi zemin seviyelerinde yapılan SPT deneyleri ile elde edilen numuneler üzerinde, ilgili laboratuvar deneyleriyle bulunan kıvam limitleri değerleri kullanılarak geliştirilmiş olan YSA modeli ile zemin sınıflandırması yapılmıştır. Bilindiği üzere YSA modelinde kullanılan örneklerin sayısının artırılmasıyla modelin hata oranı azalmaktadır. Bu amaçla, çalışma sahası olan Adapazarı bölgesinde 17 Ağustos 1999 Marmara depremi sonrası yapılmış olan zemin etüd raporları ile bölgedeki diğer geoteknik raporların bir kısmı incelenerek olabildiğince çok sayısal veri toplanmaya çalışılmıştır. YSA modelinin geliştirilmesi amacıyla seçilen 400'ü eğitim seti 56'sı ise test seti olmak üzere toplam 456 adet kıvam limitleri deney sonuçları kullanılmıştır. Geliştirilmiş olan YSA modeli tek gizli katmandan oluşturulmuş olup, gizli katmanda 4 işlem elemanı seçilmiştir. Eğitilen YSA modeli test edilerek modelin performansının uygun olduğu gösterilmiştir.

En uygun YSA modeli belirlendikten sonra, YSA modelinin üretmiş olduğu çıktılar ile çalışma sahası olan Adapazarı bölgesindeki geoteknik rapordan elde edilen veriler yapılan istatistik analiz yardımıyla karşılaştırılmıştır. Bu performans değerlendirmesi için, istatistiksel parametreler olan determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) kullanılmıştır.

Yapılan istatistik analiz sonucu geliştirilmiş olan YSA modelinin eğitim setine ait,  $R^2=0,99994$ ,  $OKH=0,00002$  ve  $OMH(\%)=16,126925$  olarak bulunmuştur. Bu değerler bize YSA modelinin üretmiş olduğu sonuçların gerçeğe en kuvvetli biçimde yakınsadığını göstermektedir. Eğitilen YSA modeli test edildikten sonra üretilmiş olan çıktılar ile deneysel verilerin, yapılan istatistik analiz yardımıyla

karşılaştırılması sonucu  $R^2=0,99992$ ,  $OKH=0,00002$  ve  $OMH(\%)=18,005$  olarak bulunmuştur. Buradan hareketle geliştirilen YSA modelinin, killi zeminlerin sınıflandırılmasında etkin bir biçimde kullanılabileceği ve bu çalışmanın yapılabilmesi için bölgedeki geoteknik raporlardan elde edilen veriler ile yapılan zemin sınıflandırma çalışmalarının güvenilirliği test edilmiştir.

Sonuç olarak, killi zeminlerin plastisite kartı yardımıyla sınıflandırılmasından farklı olarak geliştirilen YSA modelinin alternatif bir çözüm olduğu gösterilmiş olup, şimdiye kadar Adapazarı bölgesindeki killi zeminler üzerinde yapılmış olan sınıflandırma çalışmalarının güvenilirliği nümerik bir yöntemle test edilerek yapılan zemin sınıflandırmalarının güvenli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda geliştirilen bu modelin Adapazarı bölgesi dışındaki diğer bölgelerde bulunan killi zeminler içinde sağlıklı bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Ayrıca geliştirilmiş olan YSA modelinin hem eğitim hem de test setine ait, düşük plastisiteli kil (CL), orta plastisiteli kil (CI) ve yüksek plastisiteli kil (CH) zemin sınıflarının her biri için ayrı ayrı istatistik analizi Bölüm 7.3’de ayrıntılı bir biçimde ele alınmıştır. Bölüm 7.3’de sunulan çalışmalar neticesinde geliştirilen YSA modelinin bu üç zemin sınıfı için sağlıklı bir şekilde kullanılabileceği söylenebilir. Kullanılan istatistiksel parametreler, determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), ortalama karesel hata (OKH) ve ortalama mutlak hata (OMH) bakımından, CL, CI ve CH zemin sınıfları arasında performans analizi yapılacak olursa CH zemin sınıfının en iyi, CI zemin sınıfının iyi ve CL zemin sınıfının orta performans gösterdiği görülmüştür. Bunun anlamı, geliştirilen YSA modelinin üretmiş olduğu çıktıların gerçeğe en kuvvetli biçimde yakınsamasıyla zemin sınıflarının plastisitesinin artması arasında doğrusal bir orantı olduğudur. Bu doğrusal orantının nedeni, bundan sonra yapılabilecek olan başka bir çalışmanın konusu olabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] GÖKTEPE F., ARMAN H., ÇAĞLAR N., PALA M., “Adapazarı Bölgesinde Bulunan Killerin Sınıflandırılmasında Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı”, II. Türk Dünyası Matematik Sempozyumu, Sakarya, 4-7 Temmuz, 2007.
- [2] ARMAN H., FIRAT S., KUTANIŞ M., İPEK M., GÜNDÜZ Z., “Olası Depremlerde Adapazarı Ovasının Sıvılaşılabileme Özelliğinin İrdelenmesi”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 2003.
- [3] KOMAZAWA M., MORIKAWA H., NAKAMURA K., AKAMATSU J., NISHIMURA K., SAWADA S., ERKEN A., ARMAN H., ONALP A., “Bedrock structure in Adapazarı, Turkey-A possible cause of severe damage by 1999 Kocaeli earthquake”, 10<sup>th</sup> Int. Conf. on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Philadelphia, U.S.A, 97, on October 7-10, 2001.
- [4] CAGLAR N., ARMAN H., “The applicability of neural networks in the determination of soil profiles”, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, the Official Journal of the IAEG, Springer-Verlag 200610.1007/s10064-006-0075-9, 2006.
- [5] BISHOP C. M., “Neural networks for pattern recognition”, University Press, Oxford, 1995.
- [6] FAUSETT LAURENE V., “Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1994.
- [7] HAYKIN S., “Neural Networks: A Comprehensive Foundation”, Prentice Hall, NY, USA, 1999.
- [8] KULKARNI A. D., “Artificial neural networks for image understanding”, Van Nostrand Reinhold, NY, USA, 1994.
- [9] GÖKTEPE F., “Zemin Özelliklerinin Ölçümü”, Zemin Özelliklerinin Ölçümü Yüksek Lisans Dersi Ödevi, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2005.

- [10] GÖKTEPE F., “Killer ve İnşaat Mühendisliğindeki Önemi”, SAÜ Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Lisans Bitirme Tezi, Sakarya, Mayıs, 2005.
- [11] ÖNALP A., “Geoteknik Bilgisi I Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekaniği”, İkinci Basım, Birsen Yayınları, İstanbul, 2002.
- [12] ROBERT D. HOLTZ., WILLIAM D. KOVACS., Çeviren: KAYABALI K., “Geoteknik Mühendisliğine Giriş”, Birinci Basım, Gazi Kitabevi, Kasım, 2002.
- [13] MITCHELL J.K., “Fundamentals of Soil Behavior”, John Wiley&Sons, Inc., New York, 422pp, 1976.
- [14] UZUNER A. B., “Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği”, 6. Basım, Derya Kitabevi, Trabzon, 2005.
- [15] TS 1900., “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Mart, 2006.
- [16] TS 1500., “İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Aralık, 2000.
- [17] T.C. ADAPAZARI BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ PLANLAMA MÜDÜRLÜĞÜ “Adapazarı Revizyon İmar Planına Esas Jeolojik ve Jeoteknik Etüt Raporu”, Şubat, 2000
- [18] SARIASLAN M. M., YURDAKUL M. E., OSMANÇELEBİOĞLU R., BASA F., ŞENTÜRK K., “Sakarya İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları”, MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 1998.
- [19] SERT S., ÖZOCAK A., URAL N., “Adapazarın'da Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Geoteknik Amaçlı Kullanımı”, 4. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, İstanbul, 13-16 Eylül, 2006.
- [20] BOL E., “Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri”, Doktora Tezi, Sakarya, Mayıs, 2003.
- [21] ARMAN H., CAGLAR N., GARIP S. Z., “Artificial Neural Networks in Determination of Soil Profile of Adapazarı Region, Turkey”, Proceedings of International Conference on Problematic Soils, Cyprus, 25-27 May, 2005.
- [22] ELMAS M., CAGLAR N., MERT N., “Determination of Earthquake Damage on RC Structures Using Neural Network”, Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems, Sakarya, Turkey, 6-7 August, 1998.

- [23] KOHONEN T., “State Of The Art In Neural Computing”, IEEE First International Conference on Neural Networks, 1, 79-90., 1987.
- [24] ÖZTEMEL E., “Yapay Sinir Ağları”, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003.
- [25] ÇAĞLAR N., “Yapay Sinir Ağları ile Binaların Dinamik Analizi”, Doktora Tezi, Sakarya, Kasım, 2001.
- [26] BAYLAR A., EMİROĞLU E.M., ARSLAN A., “Geriye Yayılma Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Yanal Su Alma Yapısına Yönelecek Olan Sürüntü Maddesi Oranının Bulunması”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt: 1, Sayı: 2, sh. 1-12, Nisan, 1999.
- [27] [http://www.mekatronikkulubu.org/yazi/cok\\_katmanli\\_yapay\\_sinir\\_glari](http://www.mekatronikkulubu.org/yazi/cok_katmanli_yapay_sinir_glari)
- [28] KÖMÜR A. M., “Yapay Sinir Ağları ile Betonarme Binaların Statik İtme Analizi”, Doktora Tezi, Sakarya, Şubat, 2004.
- [29] <http://yapay-sinir-aglari.uzerine.com/>
- [30] ÇAĞLAR N., KÜYÜK S.H., KÖKSAL O. H., “Yapay Sinir Ağları ile Betonarme Kirişlerin Hasar Analizi ”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 23-25 Mart, 2005.
- [31] ÖZTEMEL E., “Integrating Expert Systems and Neural Networks for Intelligent On-Line Statistical Process Control”, PhD Thesis, School of Electrical , Electronic and Systems Engineering, University of Wales, Cardiff, December, 1992.
- [32] WASSERMAN P. D., “Neural Computing Theory and Practice”, Van Nostrand Reinhold, 1989.
- [33] KÜYÜK S. H., “Yapay Sinir Ağları ile Kesme Donatısız Betonarme Kirişlerin Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
- [34] MOLLER A. F., “A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning”, Neural Networks, 6, 525-533, 1993.
- [35] BAYAZIT M., OĞUZ B., “Mühendisler İçin İstatistik”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.
- [36] DOĞAN E., IŞIK S., “Sapanca Gölü Günlük Buharlaştırma Miktarının Radyal Temelli Yapay Sinir Ağı Modeli Kullanılarak Tahmin Edilmesi”, BMYS, Kocaeli, 2005.



- [37] DOGAN E., SASAL M., ISIK S., “Suspended Sediment Load Estimation in Lower Sakarya River by Using Soft Computational Methods”, Proceeding of the International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering, CMMSE, Alicante, Spain, pp. 395-406, June 27-30, 2005.

## ÖZGEÇMİŞ

Fatih GÖKTEPE, 28.12.1983 Karabük doğumludur. İlk, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamlamıştır. 1997–2001 yılları arasında Karabük Demir Çelik Süper Lisesinde eğitim aldıktan sonra, 2001 yılında kazanmış olduğu Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında mezun olmuştur. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Ağustos 2005-Aralık 2005 tarihleri arasında Sismik Yapı Denetim Hizmetleri A.Ş.'ne bağlı olarak, Toyota Fabrikası içerisindeki şantiyeler ve Toyota Boshoku Türkiye Fabrikası İnşaatı şantiyesinde Yapı Kontrol Mühendisi olarak görev yapmıştır. Aralık 2005 tarihinde Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atanmış olup, halen aynı birimde görevini sürdürmektedir.