

**T. C.**  
**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**YAPAY SINIR AĞLARI (YSA) MODELİ KULLANILARAK**  
**ÇİMENTO İLE STABİLİZE EDİLMİŞ KİLİN SERBEST**  
**BASINÇ DAYANIMININ TAHMİNİ**

Yüksek Lisans Tezi

**ZAINAB RAZZAQ ABDULABBAS ALMAHMUDI**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mukhallad Mohammed Mawlood

AL-MASHHADANI

**İstanbul – 2023**



## TEZ TANITIM FORMU

- Yazar Adı Soyadı** : ZAINAB RAZZAQ ABDULABBAS ALMAHMODI
- Tezin Dili** : Türkçe
- Tezin Adı** : Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli Kullanılarak Çimento İle Stabilize Edilmiş Kilin Serbest Basınç Dayanımının Tahmini
- Enstitü** : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
- Anabilim Dalı** : İnşaat Mühendisliği
- Tezin Türü** : Yüksek Lisans
- Tezin Tarihi** : 12 / 07 / 2023
- Sayfa Sayısı** : 66
- Tez Danışmanları** : Dr. Öğr. Üyesi Mukhallad Mohammed Mawlood AL-MASHHADANI
- Dizin Terimleri** : Yapay sinir ağları (YSA) , çimento ile stabilize , Serbest basınç dayanımının , kil zemin .
- Türkçe Özet** : Bu çalışmanın temel amacı, daha önceki birkaç çalışmadan alınan çimento ile sabitlenmiş kil zemin numunelerinin serbest basınç dayanımı için yapay sinir ağları kullanarak bir tahmin modeli uygulamaktır.
- Dağıtım Listesi** : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne  
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

*İmzası*

*Zainab Razzaq Abdulabbas ALMAHMODI*

**T. C.**  
**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**YAPAY SINIR AĞLARI (YSA) MODELİ KULLANILARAK**  
**ÇİMENTO İLE STABİLİZE EDİLMİŞ KİLİN SERBEST**  
**BASINÇ DAYANIMININ TAHMİNİ**

Yüksek Lisans Tezi

**ZAINAB RAZZAQ ABDULABBAS ALMAHMUDI**

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mukhallad Mohammed Mawlood

AL-MASHHADANI

**İstanbul – 2023**

## **BEYAN**

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını beyan ederim.

Zainab Razzaq Abdulabbas ALMAHMODI

12/07/2023



**T.C.**  
**İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

Zainab Razzaq Abdulabbas ALMAHMODI' nın “**Yapay Sinir Ağları (YSA) Modeli Kullanılarak Çimento İle Stabilize Edilmiş Kilin Serbest Basınç Dayanımının Tahmini**” adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı İnşaat Mühendisliği Bilim Dalı YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan

*Dr. Öğr. Üyesi Ferruh MAHNAMFAR*

Üye

*Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORI*

Üye

*Dr. Öğr. Üyesi Mukhallad Mohammed Mawlood*

*AL-MASHHADANI*

(Danışman)

**ONAY**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

.... / .... / 2023

*Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ*

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Killi toprak, su içeriğindeki değişimden büyük ölçüde etkilenir ve bu durum altyapı ve binalara zarar verdiği için inşaat mühendisliği projelerini olumsuz etkiler ve bu hasarların onarımı için mali bir yük getirir. Bu nedenle inşaat mühendisliği projelerinde Killi toprakların stabilizasyonu gereklidir, bu nedenle ekonomik avantajları ve kullanım kolaylığı nedeniyle çimento ile zemin iyileştirme en verimli ve etkili kimyasal stabilizasyon yöntemlerinden biridir. Laboratuvar deneyleri için gereken zamandan ve emekten tasarruf etmek amacıyla bu çalışmada, çimentolu Killi toprakların Serbest basınç dayanımını tahmin eden bir model geliştirmek için Levenberg-Marquardt algoritması kullanılarak bir yapay sinir ağı (YSA) tekniği uygulanmıştır. Bu çalışma için veri sayısı (206) önceki araştırma çalışmalarından (12) toplanmıştır. Giriş parametreleri şu şekilde seçilmiştir: likit limit (LL)%, plastisite indeksi (PI)%, kil fraksiyonu (CF)%, kum %, silt %, su içeriği ( $W_c$ ) % , kür süresi (gün) ve çimento içeriği (c)% Çıkış parametresi olarak Serbest basınç dayanımı ( $q_u$ ) seçildi, ardından veriler min-maks yöntemi kullanılarak normalleştirildi. Tahmin modeli, MATLAB yazılımındaki yapay sinir ağları araçları kullanılarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen kestirimci modelin performansını değerlendirmek için, modelin istatistiksel analizi regresyon ( $R^2$ ), Kareysel Ortalama Hata (MSE), Karekök ortalama hata (RMSE) ve etkinlik katsayısı (CE) kullanılarak yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** Yapay sinir ağları (YSA) , çimento ile stabilize , Serbest basınç dayanımının , kil zemin.

## SUMMARY

Clay soil is greatly affected by the change in its water content, which negatively affects civil engineering projects, as it damages infrastructure and buildings and places a financial burden to repair these damages. Therefore, stabilization of clay soils is necessary in civil engineering projects, so soil treatment with cement is one of the most efficient and effective chemical stabilization methods due to its economic advantages and ease of use.

In order to save the time and effort required for laboratory experiments, in this study, an artificial neural network (ANN) technique was applied using the Levenberg-Marquardt algorithm to develop a model that predicts the unconfined compressive strength of cementitious clay soils. The number of data for this study was (206) collected from (12) previous research studies. The input parameters were chosen as follows: likit limiti(LL)%, plastisite indeksi (PI)%, kil fraksiyonu (CF)%, kum %, silt %, water content (Wc) % , curing time (day) and cement ratio (C)% The unconfined compressive strength ( $q_u$ ) was chosen as an output parameter, then the data was normalized using the min-max method. The predictive model was developed using the artificial neural network tools in MATLAB software. In order to evaluate the performance of the predictive model developed in this study, the statistical analysis of the model was performed using regression ( $R^2$ ), mean square error (MSE), root mean square error (RMSE), and coefficient of efficiency (CE).

**Keywords:** artificial neural networks (ANN), cement soil stabilization, unconfined compressive strength, clay soil.



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>GRAFİKLER LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>EKLER LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>x</b>
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>Sorunun Arka Planı</b> .....	<b>1</b>
<b>Problemin Bildirimi</b> .....	<b>2</b>
<b>Amaç ve Hedefler</b> .....	<b>3</b>

## BİRİNCİ BÖLÜM

### LİTERATÜR TARAMASI

1.1 Giriş.....	4
1.2 Killi topraklara genel bakış.....	5
1.3 Toprak Stabilizasyon Teknikleri.....	6
1.3.1 Mekanik Stabilizasyon .....	6
1.3.2. Kimyasal Stabilizasyon .....	6
1.3.2.1. Geleneksel Stabilizatörler.....	7
1.3.2.2. Geleneksel Olmayan Stabilizatörler .....	10
1.4. Yapay sinir ağlarına giriş .....	10
1.4.1 Biyolojik ve Yapay Sinir Ağları.....	11
1.4.2 Yapay Sinir Ağı Tipleri.....	13
1.4.3 Sinir ağlarının öğrenme yöntemleri.....	14
1.5 Geoteknik Mühendisliğinde Yapay Sinir Ağları .....	15

## İKİNCİ BÖLÜM METODOLOJİ

2.1 Toprak Verilerinin Toplanması.....	18
2.2 Veri Kümesi .....	19
2.3 Ön İşleme .....	25
2.4 Yapay Sinir Ağları Geliştirme : .....	25
2.4.1 Veri Bölümü :.....	25
2.4.2 Sinir Ağları Mimarisini Tanımlayın.....	26
2.4.3 Sinir Ağı Eğitimi .....	26
2.5 Model Performans Değerlendirmesi.....	277

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Genel.....	29
3.2 Serbest basınç dayanımının (UCS) tahmini için YSA Modelinin Geliştirilmesi: .....	29
3.3 Tahmine dayalı YSA modeli veri analizi.....	31
3.3.1 Regresyon ( $R^2$ ).....	31
3.3.2 Karesel Ortalama Hata (MSE): .....	31
3.3.3 Kök Karesel Ortalama Hata (RMSE) :.....	32
3.3.4 Verimlilik katsayısı (CE) : .....	32
3.4 Tartışmalar .....	33
3.4.1 Numune hazırlama .....	35
3.4.2 kütleme koşulları.....	35
3.4.3 Numunelerdeki su ve çimento içeriği.....	36
<b>SONUÇLAR .....</b>	<b>37</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>38</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>44</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>51</b>

## KISALTMALAR

<b>YSA</b>	: Yapay sinir ağ
<b>UCS</b>	: Serbest basınç dayanımının
<b>L.L</b>	: likit limit
<b>P.I</b>	: plastisite indeksi
<b>CF</b>	: kil fraksiyonu
<b>W<sub>c</sub></b>	: su içeriği
<b>C%</b>	: çimento içeriği
<b>R<sup>2</sup></b>	: regresyon katsayısı
<b>MSE</b>	: Karenel Ortalama Hata
<b>RMSE</b>	: Kök Karenel Ortalama Hata
<b>CE</b>	: verimlilik katsayısı

## TABLULAR LİSTESİ

<b>Tablo 1:</b> Biyolojik ve yapay sinir ağları arasındaki benzerliklerin gözden geçirilmesi.....	11
<b>Tablo 2:</b> Çalışma verilerimizin toplandığı araştırma çalışmaları.....	18
<b>Tablo 3:</b> Parametrelerin tanımlayıcı istatistikleri.....	20
<b>Tablo 4:</b> Geoteknik mühendisliğinde ANN kullanarak önceki öngörüsül çalışmalarda seçilen giriş parametrelerini. gözden geçirin .....	22
<b>Tablo 5:</b> Geoteknik mühendisliğinde ANN kullanarak önceki öngörüsül çalışmalarda seçilen giriş parametrelerini gözden geçirin .....	30
<b>Tablo 6:</b> Regresyonun doğruluğu (Chin, 1998).....	31
<b>Tablo 7:</b> Tahmine dayalı modelin etkinliğinin istatistiksel analizinin sonuçlarının gözden geçirilmesi.....	32
<b>Tablo 8:</b> çalışma verilerimizin toplandığı araştırma çalışmalarının her birinde numune hazırlama ve kütleme yönteminin bir özetidir.....	34

## GRAFİKLER LİSTESİ

**Grafik (1)** gözlem ve tahmin edilen  $q_u$  verileri arasındaki regresyon ilişkisini göstermektedir ..... 33



## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil 1:</b> Biyolojik ve Yapay Sinir Ağı.....	12
<b>Şekil 2:</b> (a) Tek Katmanlı Sinir Ağı                      (b) Çok Katmanlı Sinir Ağı .....	13
<b>Şekil 3:</b> Tekrarlayan sinir ağı .....	14
<b>Şekil 4:</b> Model geliştirme için kullanılan parametrelerin histogramı. ....	21
<b>Şekil 5:</b> FFBP YSA Modelinin Matlab nntool kullanılarak gerçekleştirilmesi.....	27

## EKLER LİSTESİ

<b>Ek 1.</b> Bu çalışmada kullanılan verilerin tablosu .....	43
--	----



## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, İstanbul Gelişim Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans tezi olarak çimento ile stabilize edilmiş Killi topraklar için tahmini bir serbest basınç dayanımı modeli geliştirilmiştir. Yüksek lisans tezi sürecindeki emeği, bilimsel rehberliği ve yardımları için değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mukhallad Mohammed Mawlood AL-MASHHADANI' ye teşekkür ederim. Eş danışmanım Doç.Dr. Süleyman Ali Süleyman Mohamed Khatrush'a bu eserin her sayfasında bilimsel rehberlik, fikir ve düşünceleriyle bana destek oldukları için teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım . Ayrıca akademik hayatım boyunca bana destek olan aileme, özellikle maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme ve babama teşekkürü bir borç bilirim Onların emekleri, destekleri ve duaları olmasaydı bugün olduğum kişi olamazdım. Bu çalışmanın pratik uygulama alanında faydalı olmasını dilerim.

**ZAINAB RAZZAQ ABDULABBAS ALMAHMODI**

**İstanbul , 2023**



# GİRİŞ

## Sorunun Arka Planı

Killi topraklar, yeryüzünün önemli bir bölümünü kaplayan ve inşaat mühendisliği projelerinde birçok soruna neden olan problemlili zeminlerden biridir. Bu zemin genellikle, inşaat mühendisliği binasında ciddi hasara neden olabilen şişme, büzülme, oturma, konsolidasyona neden olan kayma dayanımında bir azalmaya yol açan su içeriğindeki bir değişiklikle ilişkilendirilir Abdulkareem, (Shams v.d. (2021)). Mühendislik yapılarındaki inşaatların çoğu, özellikle bina ve yol inşaatları, tercihen sağlam ve stabil zemin üzerine inşa edilir. Bununla birlikte, uygulamada, yüksek dayanım ve yüksek dayanıklılık sağlayan doğal zemin bulmak zordur. Bu daha az yeterli zeminlerin dayanımını ve sertliğini arttırmak için, çeşitli tipte zemin stabilizasyonu yaygın olarak uygulanmaktadır (Hamzah, Hazamaah Nur, et al. (2015)).

Toprak stabilizasyonu, toprak kütlelerinin geçirgenliğini ve sıkıştırılabilirliğini azaltmanın yanı sıra, toprağın kayma dayanımı parametrelerini iyileştirmek ve böylece toprağın taşıma kapasitesini arttırmak gibi toprak özelliklerini iyileştirmek için bir veya daha fazla toprak özelliğinin değiştirilmesi veya korunmasıdır. ve kesme dayanımını arttırmak (Afrin, Habiba(2017)) . İnşaat için mevcut olan zemin yapısal yükü taşımaya uygun olmadığında gereklidir. Zemin iyileştirme için yıllardır kullanılan stabilizasyon teknikleri fiziksel, mekanik ve kimyasal stabilizasyon işlemlerini içerir . Kimyasal stabilizasyon, toprağın Serbest basınç dayanımını arttırmak ve su emmesini azaltmak için diğer malzemelerle karıştırılması ve ayrıca (kireç, cüruf, çimento gibi) çimento malzemeleri katılarak toprağın istenen Geoteknik özelliklerinin elde edilmesi işlemidir. vb.) (Hamzah, Hazamaah Nur, et al. (2015)).

Çimento, çimento parçacıklarının su ile etkileşiminden kaynaklanan toprak parçacıklarının bağlanması olan toprak stabilizasyon tekniğinin icadından bu yana kullanılan en eski

bağlayıcı maddelerden biridir ve birbirleriyle iç içe geçebilen kristaller halinde büyürler. yüksek basınç dayanımı (Solihu, Habeeb (2020)).

Bu stabilize edilmiş zeminlerin performansının, Serbest basınç dayanımı (UCS), likit limit (L.L), Plastisite indeksi (PI), Yerinde su içeriği, Kil (%) , Silt (%) , Kum (%) , kürlenme süresi, çimento (%) , vb. gibi önemli parametreleri kullanarak kontrol edilmesi gerekir. (Jeremiah, Jeremiah J., et al.(2021)).

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin mekanizmasını simüle edebilen bir makine öğrenme teknolojisi olan bir yapay zeka biçimidir. YSA'lar, geoteknik mühendisliği problemlerinin hemen hemen tüm yönlerine başarıyla uygulanmış ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında tahmin yeteneği göstermiştir (Shahin, Mohamed A. v.d. (2009)).

Bu çalışmada, Portland çimentosu kullanarak yumuşak Killi toprakları stabilize etmek için çeşitli çalışmalardan alınan farklı numuneler için bir UCS tahmin modeli geliştirmek için YSA tekniği uygulanmıştır. Su ve çimento içeriğinin, kullanılan numune hazırlama yönteminin ve kürlenme yöntemlerinin stabilize edilmiş zeminin Serbest basınç dayanımı üzerindeki etkisi de tartışılmıştır.

## **Problemin Bildirimi**

Son yıllarda kentleşme ve sanayileşmenin bir sonucu olarak, killi topraklarda altyapı tasarım ve inşaat hacmi büyük ölçüde artmıştır. Yumuşak killi topraklar, kil parçacıklarının suyu tutma kabiliyeti nedeniyle ıslanırsa genişler ve toprak kurduğunda büzülür. Zemindeki bu hacim değişiklikleri, üzerine inşa edilen altyapıda ek baskılara yol açmakta, bu da zamanla binalarda çatlaklara neden olmakta ve bu hasarların altyapıya tamiri için mali bir yük oluşturmaktadır. topraktaki hacimsel değişiklikler nedeniyle (Ahmed, A. Dukuly (2021)) . bu nedenle, inşaat mühendisliği projelerinde, geliştirilmiş zeminin istenen özelliklerini elde etmek için zemin stabilizasyonu gerekli hale gelmiştir; bunlar, stabilite, stabilite ve yeraltı suyu ve diğer çevresel sorunları çözmek için arttırılmış dayanım, düşük sıkıştırılabilirlik ve uygun geçirgenliktir (Horpibulsuk, Suksun v.d. (2005)).

Çimento ile zemin iyileştirme, ekonomik avantajları ve kullanım kolaylığı nedeniyle en verimli ve etkili kimyasal stabilizasyon yöntemlerinden biridir. Çimento kullanımı, kolayca bulunabilmesinin yanı sıra, diğer stabilizatörlere kıyasla hacim artışını azaltabilir (Solihu, Habeeb (2020)).

Bu çalışmada, Portland çimentosu kullanılarak yumuşak Killi toprakların stabilizasyonuna yönelik çeşitli çalışmalardan alınan farklı numuneler için bir UCS tahmin modeli geliştirmek için Levenberg-Marquardt algoritmasını kullanan YSA tekniği uygulanacaktır. Bu prosedürler genellikle büyük miktarda veri üretir, bu nedenle arazide deneysel veriler ile toprak performans modellemesini ilişkilendirmek için bir regresyon analizi gerekir (Jeremiah, Jeremiah J., et al.(2021)).

### **Amaç ve Hedefler**

Bu çalışmanın temel amacı, çimento ile işlenmiş farklı yumuşak killi zemin örneklerinin verileri için bir UCS tahmin modeli oluşturmak üzere yapay sinir ağı (YSA) tekniğini uygulamaktır. Bu amaca ulaşmak için, çalışmanın izleyeceği özel hedefler aşağıda listelenmiştir :

- 1- Farklı çalışmalardan çimento ile stabilize edilmiş killi zemin numuneleri için veriler toplanmıştır.
- 2- UCS tahmin modelini matlab yazılımı kullanılarak seçilen parametrelere göre oluşturmak için yapay sinir ağı (YSA) tekniği uygulandı.
- 3- Modelin tahmin edilen performansını değerlendirmek için test verilerinin istatistiksel analizini yapmak.

# BİRİNCİ BÖLÜM

## LİTERATÜR TARAMASI

### 1.1. Giriş

Zayıf topraklarda binaların ve altyapının inşasının dikkate alınmaması, zayıf kayma dayanımı ve yüksek sıkıştırılabilirlik nedeniyle büyük bir tehlike oluşturmaktadır, bu nedenle kanıtlanmış toprak stabilizasyon teknikleri kullanılarak toprağın stabilize edilmesi önemlidir (Ghadir, Pooria, and Navid Ranjbar(2018)) . Bu nedenle, zayıf veya yumuşak topraklara sahip alanlarda inşa edilen inşaat mühendisliği projeleri, toprağın dayanımını ve stabilitesini arttırmak ve yerel olarak mevcut en uygun malzemeleri kullanarak inşaat maliyetini düşürmek amacıyla çeşitli inşaat mühendisliği çalışmalarında toprak stabilizasyonu kullanıldığından, bazı yöntemler kullanılarak toprak özelliklerinin iyileştirilmesini içerir (Roy, Aparna(2014)) En yaygın toprak stabilizatörlerinden biri çimentodur, çünkü çimento içeriğinin etkisinin toprak yapısını etkilediği ve stabilize toprağı daha katı hale getirdiği, bu nedenle çimento içeriği arttırıldığında toprak yapısının daha da güçlendiği için toprağın stabilize edilmesinde çimento içeriği arttırılmıştır çünkü yumuşak killi topraklar için iyi bir stabilizatör olarak iş görmektedir (Ho, Meei-Hoan, and Chee-Ming Chan (2011)) . Yapay ağlar, doğası gereği aşırı dalgalanmalar gösteren çoğu Geoteknik mühendislik malzemesinin karmaşık davranışını modellemek için çok uygundur. Yapay ağların deneyimlerden öğrenme yeteneğine ek olarak, yapay sinir ağları çoğu geleneksel modelleme yöntemine göre üstünlük sağlamıştır, çünkü eldeki sorunu yöneten temel kurallar hakkında varsayımlarda bulunmaya gerek yoktur (Shahin, Mohamed v.d. (2008)) .

## 1.2. Killi topraklara genel bakış

Kil, uzun yıllardır Geoteknik mühendislerinin büyük bir endişesi olmuştur, çünkü killi toprakların nem içeriğini değiştirmek, binalarda ve temelerde ciddi hasara yol açan büyük ölçekli değişikliklere yol açmaktadır. Ek olarak, killi topraklar kuruduklarında genellikle serttir ve doymuş hale geldiklerinde sertliklerini bırakırlar (Firoozi, Ali Akbar v.d. (2016)).

Killi topraklar, mevsimsel nem değişimi ile birlikte yapısal yük ve hacimsel değişim nedeniyle yapılar için her zaman bir sorun olmuştur. Bu nedenle sonuçlar genellikle temel sistemlerine, yapısal elemanlara ve mimari özelliklere zarar veren aşırı çarpıklıklar ve diferansiyel hareketlerdir (Petry, Thomas M., and Dallas N. Little (2002)) .

Toprak, montmorillonit, genleşebilir illit ve kaolinit gibi yüksek oranda kil mineralleri içerdiğinde, şişmeye ve büzülmeye eğilimlidir ve bu nedenle yollara, binalara, köprülere ve diğer altyapılara birçok maliyetli zarara neden olur (Firoozi, Ali Akbar (2017)) .

Kil mineralleri ve toprak organik maddesi kolloidlerdir. Kolloidlerin en önemli özelliği, küçük boyutları ve geniş yüzey alanlarıdır, çünkü kolloidlerin dış ve iç yüzeylerine bağlı olarak yüzey alanları 10 m<sup>2</sup>/g ile 800 m<sup>2</sup>/g arasında değişebilir. Toprak kolloidleri ayrıca dış ve iç yüzeylerinde negatif veya pozitif yükler taşırlar. Yükün varlığı, yük iyonlarını yüzeylere veya yüzeylerden çekme veya itme yeteneğini etkiler. Kil parçacıkları, toprakta rol oynayan ve topraktaki kirleticilerin, minerallerin ve besin maddelerinin hareketini ve tutulmasını etkileyen kimyasal reaksiyonda çok önemli bir rol oynamaktadır (Firoozi, Ali Akbar (2017)).

Killi zemin davranışı, su miktarı ve tutulan enerjiden etkilenir; ayrıca kıvam, dayanım ve yoğunluk katsayıları su içeriği ve hacim değişim özelliklerinden etkilenir.. Nem içeriği hareketleri mühendislik konularına atfedilir (Murali, K., K. Sambath(2018)).

### **1.3. Toprak Stabilizasyon Teknikleri**

Toprak stabilizasyonu, sıkıştırılabilirlik, dayanım, geçirgenlik ve dayanıklılık gibi Geoteknik özelliklerinden bir veya daha fazlasını iyileştirmek için doğal toprağa özel toprak, çimentolama malzemesi veya diğer kimyasallar ekleyerek toprak özelliklerini ve mühendislik performansını iyileştirme yöntemidir (Afrin, Habiba(2017)) . Toprak stabilizasyon teknikleri, mekanik ve kimyasal stabilizasyon ve katkı maddeleri kullanılarak stabilizasyon olan çeşitli tekniklere ayrılmıştır .

#### **1.3.1. Mekanik Stabilizasyon**

Mekanik stabilizasyon, zayıf toprağın özelliklerini derecelendirmesini değiştirerek iyileştirme işlemidir. Bu işlem, çeşitli tipte silindirler, tokmaklar, titreşim teknikleri ve bazen patlatma (Afrin, Habiba(2017)) . kullanarak mekanik enerji uygulayarak toprağın sıkıştırılmasını ve yoğunlaştırılmasını içerir. Bu şekilde stabilizasyon, toprağın doğal özelliklerine bağlıdır. Bu karışım iki veya daha fazla farklı toprak gradasyonu(iyileştirmesi) içerebilir, çünkü bu işlem toprağın gerekli özelliklerini elde etmeyi amaçlamaktadır (Hamzah, Hazamaah Nur, et al.(2015)).

Toprak, toprakla sıkıştırıldığında yoğun bir kütle üretilmesi için gradasyonu uygun olması gereken agrega parçacıkları ile iç içe geçecek şekilde sıkıştırılır. Mekanik stabilizasyon, malzemelerin düzgün bir şekilde karıştırılması ve daha sonra karışımın iyice sıkıştırılmasıyla sağlanabilir. Sıkıştırma yöntemlerinin seçimi toprak derecelendirmesine bağlı olduğundan, sıkıştırmadan sonra homojen, iyi derecelendirilmiş, yoğun bir toprak-agrega karışımı oluşturmak için sıkıştırmadan önce alternatif olarak ince agrega eklenebilir (Onyelowe Ken, C. Et al. (2006)) .

#### **1.3.2. Kimyasal Stabilizasyon**

Kimyasal stabilizasyon, stabilize edilecek toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştiren, toprağa kimyasal bir katkı maddesi eklenerek toprağın mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi yoluyla toprak stabilizasyonu işlemidir (Ahmed, A. Dukuly(2021)) . Kimyasal stabilizasyonun amacı, toprak malzemesinin tane boyutunu artırarak, plastisite indeksini, şişme ve büzülme potansiyelini ve

sementasyonu azaltarak toprak stabilitesini arttırmaktır (Fondjo, Armand Augustin, (2021)) .

Kullanılan stabilizatörün tipi, esas olarak işlenecek toprağın türüne (plastisite, kil içeriği, toprak mineralleri), iyileştirilecek toprağın özelliklerine, iyileştirilecek toprağın dayanım ve dayanıklılığına, maliyete ve çevre koşullarına bağlıdır (Onyelowe Ken et al.(2006)) .

Kimyasal stabilizatörlerin iki ana sınıflandırması geleneksel ve geleneksel olmayan stabilizatörlerdir.

### **1.3.2.1. Geleneksel Stabilizatörler**

Toprak için en geleneksel kullanılan kimyasal stabilizatörler kireç, çimento ve uçucu küldür. Bu katkı maddelerinin stabilize edilmesinin yolları, katyonların değişimine ve katkı maddesi ile stabilize edilecek toprak mineralleri arasındaki puzolanik etkileşimlere bağlıdır. Konvansiyonel stabilizatörler en yaygın kullanılan katkı maddesidir, çünkü etkili, kullanılabilir ve toprak stabilizasyonu için nispeten düşük maliyetli bir çözüm sunarlar (Ahmed, A. Dukuly (2021)).

#### **1.3.2.1.1. Kireç**

Kireç ekleyerek toprağı iyileştirme yöntemidir, çünkü kireç toprak stabilizasyonu için ekonomik bir yöntem sağlar. Killi toprakları stabilize etmek için iki kireç sınıfı kullanılır: genellikle sönmemiş kireç olarak adlandırılan kalsiyum oksit (CaO) ve genellikle hidratlanmış kireç olarak adlandırılan kalsiyum hidroksit (Ca (OH)<sub>2</sub>). (Ahmed, A. Dukuly (2021)). Killi toprağın niteliğine, işlenme şekline ve süresine, binanın yöntemine ve kalitesine bağlı olarak toprak farklı oranlarda kireçle karıştırılır (Bell, F. G. (1996)).

Killi toprağa sönmemiş kireç (kalsiyum oksit) eklendiğinde, suyu kilden uzaklaştıran aşağıdaki reaksiyon meydana gelir:



Bu reaksiyon yüksek ısı ürettiğinden (65 kJ / mol üretilir), reaksiyon yeterince hızlı gerçekleşirse, toprak-kireç karışımı buhar üretimi yoluyla daha fazla su kaybeder, böylece kireç kuruduktan sonra kilin dayanımını ve işlenebilirliğini artırır (Rogers et al. (2000)) .

Toprağı kireçle işlerken, bu işlem iki aşamadan geçer. İlk adım, kil ve kireç arasındaki kation değişimini içerir, bu da toprağın elastikiyetini ve dokusunu değiştiren flokların ve aglomeraların oluşumuna neden olur (Little, D. N. (1994)) . Kil parçacıklarının yeniden düzenlenmesi yoluyla kümelerin veya aglomeraların oluştuğu süreç, flokülasyon veya aglomerasyon olarak bilinir ve bu süreç, toprak ve suyun mineralleri ve kimyasından güçlü bir şekilde etkilenir. Bu işlem toprağı daha gevrek, işlenebilir ve sıkıştırılabilir hale getirir (Little, D. N. (1994)).

İkinci adım, toprakları ve toprakları kil parçacıklarına bağlayan puzolanik işlemi içerir. Bu adım, toprak dayanımını artırır çünkü puzolanlar, hidratlı kireç (kalsiyum hidroksit) ve su ile reaksiyona girerek toprakların sert çimentolu bileşikler oluşturmasına neden olan ince, gevşek silisli veya alüminli malzemelerdir. (Little, D. N. (1994)).

Gerekli kireç miktarı yüzde 4 ila 6 arasındadır ve eklenen kireç oranı toprağın türüne bağlıdır, çünkü toprak ne kadar kötü olursa, toprağı stabilize etmek için kullanılan kireç oranı o kadar büyük olur (Pandey(2017)).

### **1.3.2.1.2 Çimento**

Çimento, geçen yüzyılın altmışlı yıllarında toprak stabilizasyon tekniklerinin keşfinden bu yana toprak stabilizasyonu için yaygın olarak kullanılan bağlayıcılardan biridir (Hamzah, Hazamaah Nur, et al.(2015)). Hem kireç hem de çimento, puzolanik reaksiyonun ortaya çıkması için gerekli kalsiyumu içerdiğinden, toprak kireç kullanılarak stabilize edildiğinde meydana gelen aynı puzolanik reaksiyonun meydana gelmesi nedeniyle çimento ile sabitlen (Geiman, Christopher Matthew(2005)İyi bir bağ elde etmek için, çimento parçacıkları, çimento parçacıkları ile toprak arasında iyi temas sağlamak ve böylece toprağı etkili bir şekilde stabilize



etmek için toprak parçacıklarının çoğunu kaplamalıdır. Bu nedenle, çimento ve toprağı belirli bir parçacık boyutu dağılımı ile karıştırmak gerekir. Toprak-çimento karışımı, çimento su ile reaksiyona girip sertleştikçe çimento hidratlandığında katı ve güçlü bir madde haline gelir (Afrin, Habiba.(2017)). Kireç ile toprak stabilizasyonundan farklı olarak, çimento stabilizasyonu toprak özelliklerinden biraz bağımsızdır; Ancak toprağın, hidrasyon işlemini başlatmak için herhangi bir toprakta bulunan suyun bir kısmını içermesi şartıyla (Geiman, Christopher Matthew.(2005)) . Çimento toprak stabilizasyon işlemi, su-çimento içeriğı, kürlenme koşulları gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Çimento, toprak tipine ve nem içeriğine bakılmaksızın en etkili toprak stabilizatörlerinden biri olarak kabul edilir, ancak nem içeriğinin toprağın dayanımını arttırmada güçlü bir etkisi olduğu görülmektedir (Rafalko, Susan D., et al.(2007)) . Çimentolu kil, ilave çimentolu bileşiklerin oluşumu nedeniyle kireçle kürlenmiş kil ile karşılaştırıldığında daha yüksek basınç dayanımı gösterirken, kireç daha iyi işlenebilirlik sağlar. Bu nedenle, çimento granül ve düşük plastik topraklar için uygundur, kireç ise genişletilmiş kil gibi yüksek plastik topraklar için idealdir (Barman, Dharmendra et al. (2022)).

Virginia'da killi toprakları stabilize etmek için yapılan çalışmanın sonuçları, su-çimento içeriğinin çimento ile toprak stabilizasyonunun etkinliğini etkileyen ana faktör olduğunu göstermektedir (Geiman, Christopher Matthew(2005)) Çimento ile toprak stabilizasyonunun, serbest basınç dayanımını% 4 oranında arttırdığı kanıtlanmıştır, burada çimentonun optimum oranının% 10 olduğu bulunmuştur ve daha sonra, çimento ile muamele edilmiş numuneler, işlenmemiş numunelerden daha kırılğan bir şekilde davrandığından, çimento içeriğı% 10'dan fazla arttığında toprak basınç dayanımının azaldığı bulunmuştur (Jan, Obaid Qadir et al. (2019)Bangkok'ta yumuşak killi toprağı işlerken, çimento ile muamele edilmiş numunelerde nem içeriğinin işlenmemiş numunelere kıyasla azaldığı gözlenmiştir, Ayrıca% 10-20 oranında çimento ilavesinin çimento ile muamele edilmiş toprağın serbest basınç dayanımını arttırmada en etkili olduğu belirtilmiştir (Uddin, K., A. S. Balasubramaniam et al. (1997)) . Çimento toprak stabilizasyonunun, granül toprakları stabilize etmek için daha etkili ve ucuz bir çözüm olduğu kanıtlanmıştır.

### 1.3.2.2. Geleneksel Olmayan Stabilizatörler

Geleneksel stabilizatörler, verimlilikleri nedeniyle tüm dünyada kullanılmaktadır. Bununla birlikte, toprak dayanımını önemli ölçüde artırmak için genellikle uzun kürlenme süreleri ve nispeten büyük miktarda katkı maddesi gerektirirler. Bazen geleneksel olmayan stabilizatörlerin kullanılması tercih edilir. Çimento, kireç ve uçucu kül gibi kalsiyum bazlı ürünler, sülfürik topraklarda olumsuz kimyasal reaksiyonlar geliştirme potansiyeline sahiptir. Bu endişeler nedeniyle, işletmeler ve devlet kurumları konsantre sıvı stabilizatörleri, atık yan ürünleri ve sentetik malzemeler gibi alternatif stabilizasyon yöntemleri aramışlardır (Tingle, Jeb S. Et al.(2003)) Geleneksel olmayan stabilizatörlerin çoğu, üretim işletmelerinin atık ürünleri veya onlardan kurtulmak için uygun ve etkili mekanizmalara ihtiyaç duyulan diğer atık malzemelerdir. Geleneksel olmayan stabilizatörlerin bazı örnekleri granül yüksek fırın cüruf, enzimler, polimerler, maden atıkları, sülfonlu yağlar, reçineler, fırın tozu, tuzlar, kauçuk lastikler, pirinç kabuğu ve liflerdir (Caballero, Santiago, et al.(2016)) . Polimer, geleneksel olmayan en iyi stabilizatörlerden biri olarak kabul edilir. Bazıları zayıf ve yumuşak toprakların iyileştirilmesinde kullanılmıştır. Lingsülfinite ayrıca toprak işlemede önemli sonuçlar verir, ancak polimer gibi değildir (Zahri, Azura Md et al.(2019)). Geleneksel olmayan toprak stabilizasyon stabilizatörlerinin toprak mühendisliği özelliklerinin iyileştirilmesinde daha çevre dostu, daha ucuz ve etkili olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca toplam proje maliyetini ve sera gazı emisyonlarını azaltırken çöp sahası alanından tasarruf sağlarlar (Amakye, Samuel Y. et al.(2021)).

### 1.4. Yapay sinir ağlarına giriş

Yapay bir sinir ağı, insan beyinde kullanıldığına inanılan bazı "organizasyonel" ilkeleri kullanan biyolojik sinir ağlarından esinlenen hesaplamalı bir sistemdir. Yapay sinir ağları, karmaşık problemleri insan beyniyle aynı şekilde çözmek için yapay nöronları tanımlamanın bir yolunu sunar (Huang, Yanbo. (2009)). Çok katmanlı yapay sinir ağlarında, insan beyin hücrelerine benzer şekilde düzenlenmiş

nöronlar vardır. Her nöronun belirli parametrelerle diğer nöronlara bağlandığı yerlerde, eğitim sürecinde, ağın tanınabilmesi için bilgi bu bağlantı noktalarına dağıtılır (Mijwel, Maad M. (2018)). Yapay sinir ağlarında, öğrenme süreci ağ eğitimi için önemli bir davranıştır. Öğrenme süreci, gerçek verilere ve edinilen bilgilere dayanarak karar verme becerilerini kazanmalarına yardımcı olmak için bu alandaki ağ deneyimini tanıtmak amacıyla kullanılan bir tekniktir. Böylece, yapay sinir ağı, daha önce edindiği öğrenme yeteneğinden yararlanarak belirli bir problemi çözebilecek öngörücü bir model oluşturacaktır (Karsoliya, Saurabh. (2012)).

#### 1.4.1 Biyolojik ve Yapay Sinir Ağları

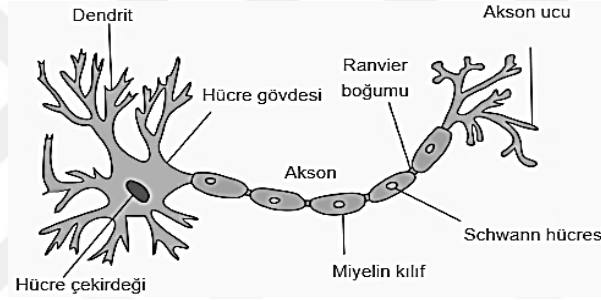
İnsan beyni öğrenme ve yeni durumlara uyum sağlama konusunda dikkate değer bir yeteneğe sahiptir, ancak belki de insan beyninin en şaşırtıcı yönü, sırf bir kişi öğrenmek istediği için yazılımı programlamadan veya yükseltmeden öğrenme yeteneğidir (Krogh, Anders. (2008)). İnsan beyni geniş bir nöron ağıdır. İnsan beynine benzer şekilde, yapay sinir ağları, beyindeki nöronlara karşılık gelen unsurlar olan nöronların bağlantılarından oluşur. Yapay sinir ağı, beynin en önemli mekanizması olan insan beynindeki nöronların bağlantısını, ağırlıkların değerini kullanarak simüle eder (Kim, Phil. (2017)). Tablo ( 1) Biyolojik ve yapay sinir ağı arasındaki benzerlikleri gözden geçirmektedir.

**Tablo 1: Biyolojik ve yapay sinir ağları arasındaki benzerliklerin gözden geçirilmesi.**

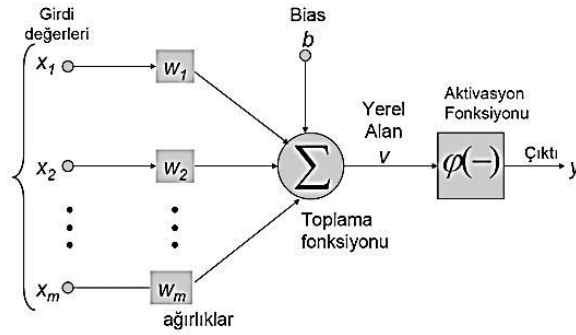
<b>Biyolojik sinir ağı</b>	<b>yapay sinir ağı</b>
Hücre gövdesi	<b>Düğüm</b>
Dendrit	<b>Girdi</b>
Akson	<b>Çıktı</b>
Sinaps	<b>Ağırlık</b>

Nöronlar, soma, dendritler ve aksonlar olarak da adlandırılan bir hücre gövdesinden oluşan ortak bir yapıya sahiptir. Hücre gövdesi veya soma ana kısımdır. Aynı zamanda çekirdeği de içerir. Hücre gövdesi toplanan sinyalleri bütünleştirir ve bir yanıt sinyali üretir. Dallanmış bir akson boyunca, yanıtı dendritlerle bağlantılar yoluyla diğer birçok nörona dağıtır (Dongare, A. D., R. R. Kharde(2012)). Aynı

şekilde, çok katmanlı yapay sinir ağlarında, insan beynine benzer şekilde düzenlenmiş nöronlar da vardır. Her nöron, belirli parametrelerle diğer nöronlara bağlanır. Eğitim sürecinde yapay sinir ağının tanınabilmesi için bilgiler bu bağlantı noktalarına dağıtılır (Mijwel, Maad M.(2018)) . Çok katmanlı bir yapay sinir ağı, giriş, çıkış ve gizli katmanlar olarak bilinen üç katmandan oluşur. Sinyalin giriş birimlerinden çıkış birimlerine iletilmesi. Giriş ve çıkış katmanları arasındaki ara katman, ağ eğitim işlemi sırasında tüm hesaplamaların yapıldığı gizli katmandır (Abraham, Ajith.(2005)). Ağırlıklar kullanılarak, düğümler birbirine bağlanır ve ağırlığın boyutu, giriş değişkenlerinin çıkış değerleri üzerindeki etkisini belirler (Kim, Phil. (2017)).



a) Biyolojik sinir ağı



b) Yapay sinir ağı

**Şekil 1: Biyolojik ve Yapay Sinir Ağı.**

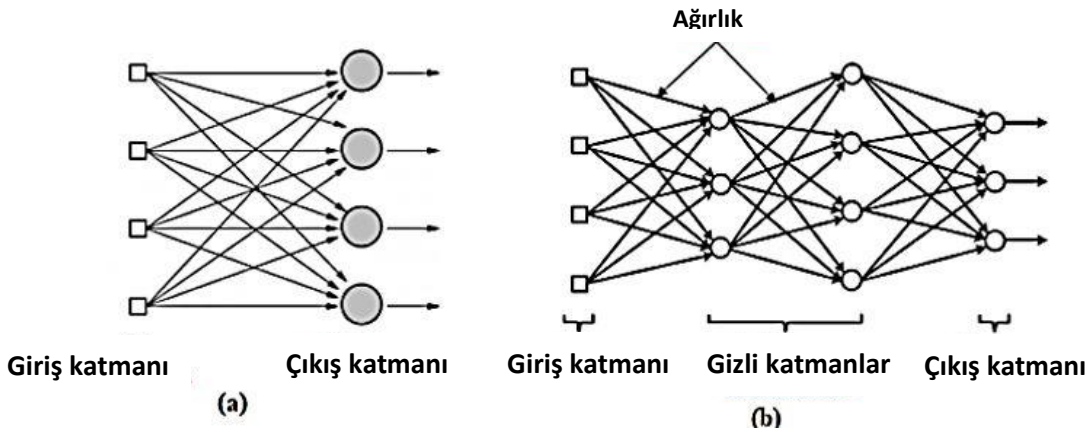
## 1.4.2 Yapay Sinir Ağı Tipleri

Farklı yapay sinir ağları vardır. Sınıflandırmaları yapılarına, yani nöronlar arasındaki iletişim türüne bağlıdır. Genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler:

- i. İleri beslemeli Sinir Ağı ve
- ii. Tekrarlayan Sinir Ağı .

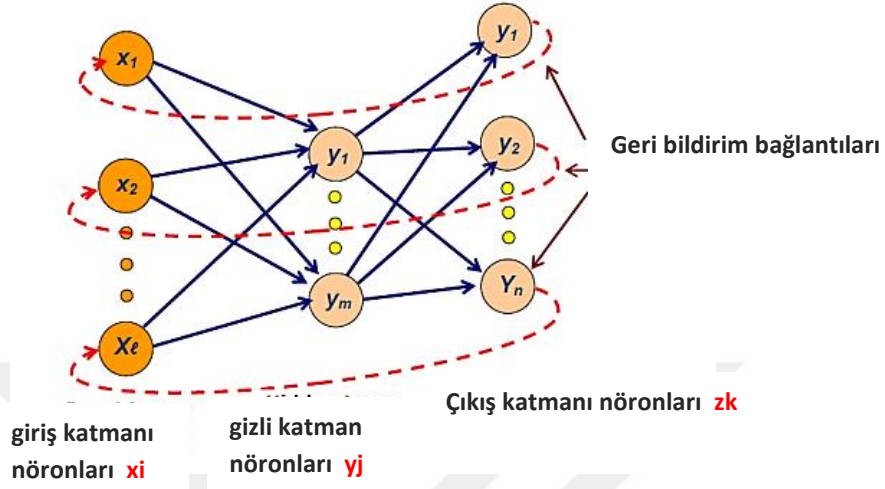
İleriye doğru beslemeli bir sinir ağı, sinyallerin giriş katmanından çıkış katmanına doğru bir yönde akmasını sağlar. Veri işleme birden fazla katmana yayılabilir, ancak geri bildirim bağlantıları yoktur (Abraham, Ajith.(2005)) İleriye dönük bir sinir ağı, tek bir nöron katmanı kullanarak basit problemleri çözmek için uygundur. Fonksiyonlar, iki katmandan oluşan bir ağ ile makul bir şekilde temsil edilebilir: doğrusal bir çıkış katmanını besleyen bir sigmoid katman. Önyargılı ağlar, önyargısız ağların aksine, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkileri kolayca temsil edebilir (Howard Demuth , et al. 2002)

Tekrarlayan bir sinir ağının veya ağda döngüler oluşturarak hem ileri hem de geri yönde hareket eden sinyaller içeren bir geri bildirim mimarisinin aksine, bu ağlar hesaplama açısından çok güçlüdür ve birçok uygulama için çok karmaşık ve uygun hale gelebilir. Bu ağlar denge noktasına ulaşana kadar durumlarını sürekli değiştirirler ve girdilerden biri değişene ve yeni bir denge bulmaya ihtiyaç duyana kadar denge noktasında kalırlar (Eluyode, O. S. Et al. (2013)).



Şekil 2: (a) Tek Katmanlı Sinir Ağı

(b) Çok Katmanlı Sinir Ağı



Şekil 3: Tekrarlayan sinir ağı

### 1.4.3 Sinir ağlarının öğrenme yöntemleri

Öğrenme yöntemleri, yapay bir sinir ağının eğitildiği süreçtir.

Aşağıdaki gibi üç tür öğrenme yöntemi vardır:

- i. Denetimli Öğrenme
- iii. Denetimsiz Öğrenme ve
- iv. Güçlendirilmiş Öğrenme

Denetimli öğrenmede, hem gerçek giriş hem de çıkış değerleri sağlanır. Eğitim sürecini tamamladıktan sonra, aralarındaki farkı azaltmak için modelin çıktısı istenen çıktıyla karşılaştırılacaktır. Denetimsiz öğrenme yönteminde, ağın giriş değerlerinin yapısal özelliklerine dayanarak çıkış değerlerini öğrenmenin bir yolunu bulmasına izin vereceğinden, gerçek çıkış değerleri sağlanmadan ağa yalnızca giriş değerleri sağlanır. Güçlendirilmiş öğrenme yöntemine gelince, bu yöntem yalnızca çıktının doğru olup olmadığını gösterir. Denetimsiz öğrenmede olduğu gibi, gerçek çıktı ağa

sağlanmayacak ve bu yöntem önceki iki yöntem kadar kullanılmayacaktır (Panchal, Foram S. Et al. (2014)).

## 1.5 Geoteknik Mühendisliğinde Yapay Sinir Ağları

Son zamanlarda, yapay sinir ağlarının (YSA'lar) kullanımı, başta Geoteknik mühendisliği olmak üzere mühendisliğin birçok alanında yaygın olarak artmıştır (Mohamed A. Shahin et al.(2001)). Sınıflandırma ve tahmin, denetimli öğrenme yapay sinir ağlarının en yaygın uygulamalarıdır. Sınıflandırma, verilerin hangi gruba ait olduğunu belirlemeye odaklanırken, tahmin gerçek verilere dayanarak belirli bir değeri tahmin etmeye çalışır (Kim, Phil.(2017)). YSA tekniği geoteknik mühendisliğinde zemin sınıflandırması, toprak sıkıştırılabilirlik özelliklerinin tahmini, toprak geçirgenliği, şev stabilitesi, yapıların stabilitesi ve diğer geoteknik mühendislik uygulamaları için uygulanabilir (Shahin, Mohamed A. Et al. (2009)).

H. I. Park, YSA modelini eğitmek ve test etmek için Kore'deki 21 şantiyede yapılan 379 yerinde geçirgenlik testini kullanarak toprak geçirgenlik katsayısının öngörücü bir modelini inceledi. Sinir ağının girdi parametreleri olarak; su içeriği, özgül ağırlık, çakıl, kum, silt ve kilin ağırlık yüzdesi, yaşı ve sinir ağının çıktısı, toprağın tahmin edilen geçirgenlik katsayısıdır. Sonuçlar, geçirgenlik katsayısının esas olarak su içeriğinden ve çakıl, kum ve silt yüzdesinden etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca, geliştirilen ANN modelinin, aşırı saha testlerine gerek kalmadan sahadaki toprağın geçirgenlik katsayısı için basit ve güvenilir bir öngörücü araç olarak iş görebileceği de belirtilmiştir (Park, H. I.(2011)).

Grzegorz Wrzesinski ve Anna Markiewicz (2022), şu verilere dayalı olarak toprak geçirgenlik katsayısı  $k$  için bir tahmin modeli oluşturmak üzere bir yapay sinir ağı kullandı: toprak tipi, bağıl yoğunluk kimliği, boşluk oranı  $e$  ve etkin toprak çapı  $d_{10}$ . Regresyon katsayısı  $R = 0,97$  ve bağıl hata  $RE = \pm \%4$  ve bireysel maksimum bağıl hata  $Maks RE = \%7,59$  Toprak geçirgenlik katsayısını tahmin etmeye yönelik YSA modelinin, toprak geçirgenliğini belirlemek için laboratuvar veya saha testleri

yapmak için gereken maliyetleri ve zamanı azaltmak (Wrzesiński, Grzegorz et al. (2022)).

Grzegorz Wrzesinski ve Anna Markiewicz (2022), aşağıdaki verilere dayanarak toprak geçirgenlik katsayısı  $k$  için öngörücü bir model oluşturmak için yapay bir sinir ağı kullandılar: toprak tipi, bağıl yoğunluk  $ID$ , boşluk oranı  $e$  ve etkili toprak çapı  $d_{10}$ . Regresyon katsayısı  $R = 0.97$  ve göreceli hata  $RE = \pm 4\%$  bireysel maksimum bağıl hata  $Max RE = \%7.59$  ve, toprak geçirgenlik katsayısını tahmin etmek için ANN modelinin, toprak geçirgenliğini belirlemek için laboratuvar veya saha testleri yapmak için gereken maliyetleri ve zamanı azaltarak oldukça verimli bir öngörücü modelin geliştirilmesine izin verdiği sonucuna vardılar (Das, Sarat Kumar et al. (2011)).

Sarat Kumar Das v.d. (2010), çimento stabilize edilmiş toprakların serbest basınç dayanımını (UCS) tahmin etmek için yapay bir sinir ağı modeli geliştirmiştir. Giriş parametreleri sıvı sınırı (LL), plastisite indeksi (PI), kil fraksiyonu (CF)%, kum (S)%, çakıl Gr (%), nem içeriği (MC), çimento içeriği (Ce) ve çıkış parametresi olarak serbest basınç dayanımı değeri  $q_u$  idi . Korelasyon katsayısının değeri (R) = 0.851 iken, etkinlik katsayısının değeri  $E = 0.73$  idi (Sarat , Pijush and Akshaya K. Sabat (2010))

Mintae Kim v.d. (2022), Tahmin modeli tasarımında giriş parametreleri olarak kullanılmayan kayma dayanımını ( $c_u$ ), etkili gerilmeyi ( $v'$ ), Standart Penetrasyon Test Sonuçlarını (NSPT), sıvı limitini (LL), plastik limiti (PL) ve plastisite indeksini (PI) tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirmiştir. Beklenen modelin etkinliğini belirlemek için yapılan istatistiksel analiz sonuçları aşağıdaki gibidir: korelasyon katsayısı ( $R = 0.83$ ) ve daha düşük hata oranları ( $MAE = 14.64$  ve  $RMSE = 22.74$ ) (Kim, Mintae, et al.(2022)) .

Van-Ngoc Pham, çimento ile işlenmiş kumlu toprakta basınç dayanımını tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirdi. İstatistiksel analiz sonuçları, bu çalışmada geliştirilen önerilen modelin yüksek korelasyon katsayısı ve düşük kök ortalama kare hataları ile doğru ve güvenilir olduğunu göstermiştir. Ayrıca, UCS tahmin modelinin



dış kriterleri iyi karşıladığını gösterdi; Sonuç olarak, bu çalışmalar YSA tekniğinin Geoteknik parametreler için öngörücü yeteneğinin büyük potansiyelini göstermektedir (Pham, Van-Ngoc, et al.(2021))



## İKİNCİ BÖLÜM

### METODOLOJİ

#### 2.1 Toprak Verilerinin Toplanması

Yapay sinir ağı teknolojisini kullanan literatür taramasındaki Geoteknik mühendislik uygulamalarının çoğuna benzer şekilde, bu çalışma serbest basınç dayanımı (UCS) için öngörücü bir model geliştirmek için Levenberg-Marquardt algoritmasını (LMNN) kullanmaktadır. Bu modelin geliştirilmesinden önce, bu çalışmanın verileri, Tablo (2)'de gösterildiği gibi, laboratuvarında çimento ile muamele edilmiş killi toprak örnekleri üzerinde yapılan önceki bilimsel araştırmalardan toplanmıştır. Dünyanın çeşitli bölgelerinden alınan birkaç çeşit killi toprak için 12 bilimsel araştırmadan alınan örnek sayısı 206'ya ulaşmıştır. Serbest basınç dayanımı üzerinde en büyük etkiye sahip olması beklenen toprak parametreleri, literatür incelemesinde gözlemlendiği şekilde tanımlanmıştır.

**Tablo 2: Çalışma verilerimizin toplandığı araştırma çalışmaları.**

<b>Kaynakça</b>	<b>Çalışma alanı</b>	<b>Toprak Sınıflandırması</b>
K.Uddin v.d. (1997)	Bangkok	siltli kil
Tugba Eskisar (2015)	Izmir	Siltli toprak
Hassnen M. Jafer v.d. (2016)	Liverpool (UK)	siltli kil
S. H. Chew , A. H. M. Kamruzzaman v.d. (2004)	Singapore	siltli kil
Obaid Qadir Jan and Kumeep Raj (2019)	Keşmir vadisinden Pampore Karewas.	siltli toprak
Qutaiba G. Majeed, Abdalla M. Shihab v.d. (2021)	Diyala (Irak)	düşük plastisiteli kil

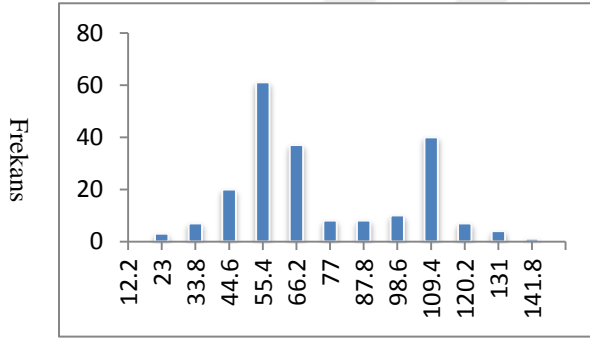
Yan-Jun Du, Ning-Jun Jiang v.d. (2013)	—————	düşük plastisiteli kil
H. K. Preetham and Sitaram Nayak (2019)	Chitrapura,Mangalore, Dakshina_Kannada, Karnataka, Hindistan.	yüksek plastisiteli kil
M. M. Rahman, A. Siddique and M. K. Uddin (2012)	Bangladeş	siltli kil
Glen Légère and Hélène Tremblay (2003)	Iroquois Şelalesi	siltli kil
Wathiq Al-Jabban 1,2 , Jan Laue v.d. (2019)	Göteborg, İsveç'in güneybatı kıyısı .	kumlu killi silt
Mohammed O. A. Bazne, Farshid Vahedifard, and Isaac L. Howard (2017)	Memphis, Tennessee (İngiltere) C1'den Mobile, Alabama'dan (Birleşik Krallık) C2	C <sub>1</sub> : siltli kil  C <sub>2</sub> : siltli kil

## 2.2 Veri Kümesi

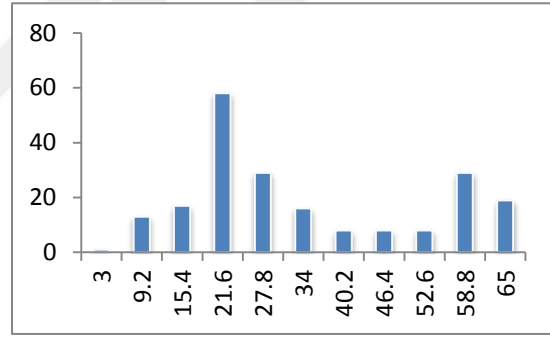
Serbest basınç dayanımı ( $q_u$ ), yapay sinir ağları kullanılarak bu çalışmada tahmin edilmesi gereken çıkış Parametreleridir ve iyi ve doğru tahmin sonuçları elde etmek için, giriş Parametreleri doğru ve çıkış Parametresi ile yakından ilişkili olarak seçilmelidir. Bu çalışma, 206 örneklemden elde edilen ( $q_u$ ) sonuçları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bir çıktı parametresi olarak kabul edilmiştir.. 8 giriş parametresi seçildi, likit limit (L.L)% , plastisite indeksi (P.I)% , kil fraksiyonu (CF)% , kum % , silt % , su içeriği ( $W_c$ ) % , kür süresi (gün) ve çimento içeriği (c )% Tablo (3)'de, bu çalışmanın veri parametrelerinin istatistiksel bir açıklaması sunulmaktadır. Ek olarak, Şekil (2-1) tahmin modelini geliştirmek için kullanılan değişkenlerin histogram çizimini göstermektedir.

**Tablo 3: Parametrelerin tanımlayıcı istatistikleri.**

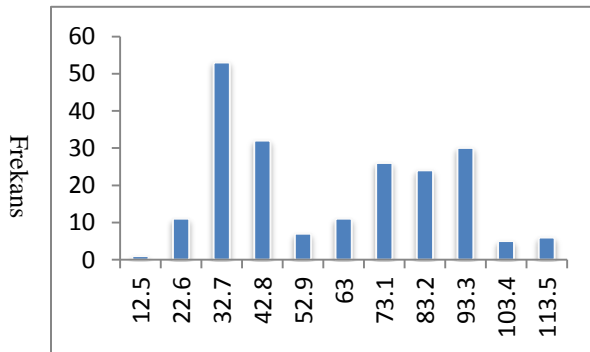
Değişken	Min.	Max.	Ortalama	Standart sapma
Likit limiti (L.L)%	23	103	68.75	26.85
plastisite indeksi (PI)%	3	65	31.18	17.55
Su içeriği (Wc) %	12.5	113	54.65	26.76
kil fraksiyonu (CF)%	12	69	43.83	17.61
silt %	11	85	43.81	15.96
kum %	0	31	12.36	15.84
kürlenme süresi (gün)	0	90	25.54	16.48
çimento içeriği (c)%	0	50	7.69	7.59
Serbest basınç dayanımı (qu) (kpa)	5	990	271.94	238.64



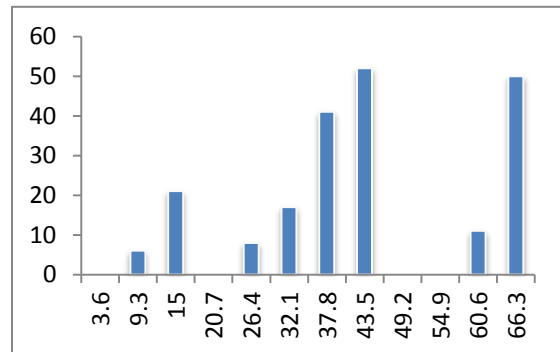
plastisite indeksi (PI)%



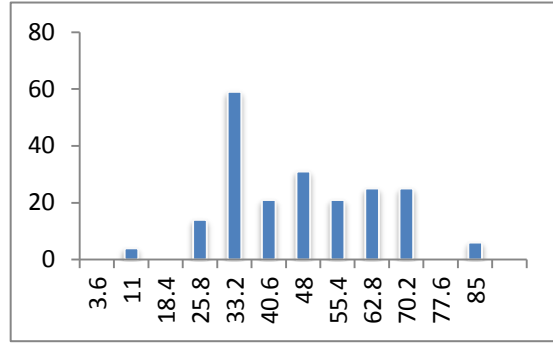
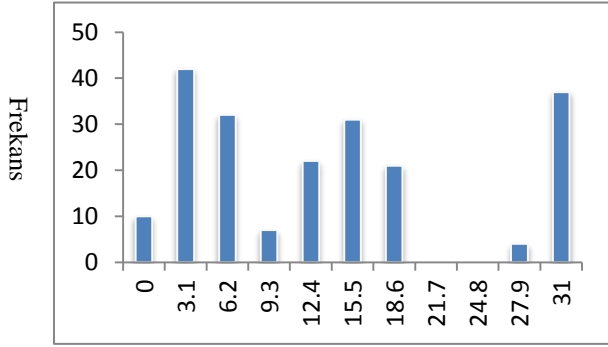
Likit limiti (L.L)%



kil fraksiyonu (CF)%

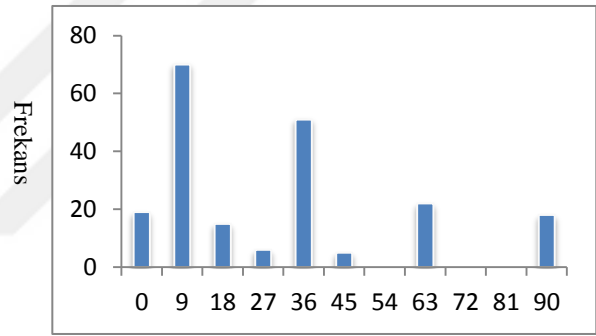
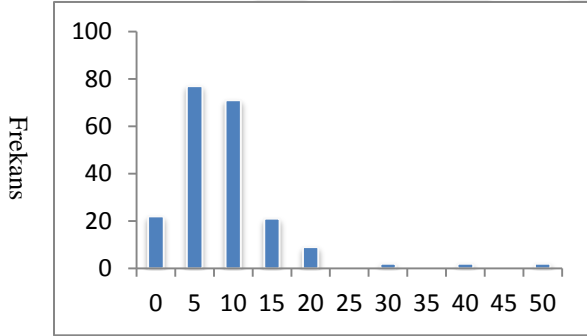


Su içeriği (Wc) %



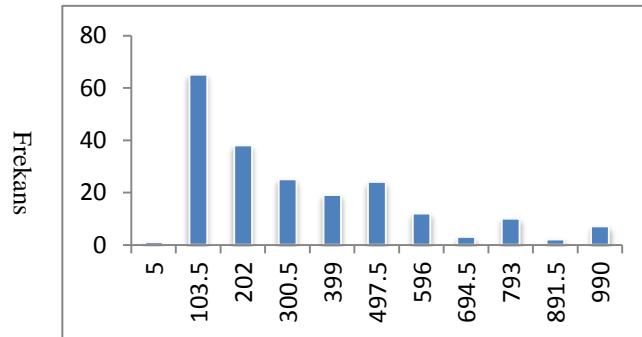
Silt%

kum %



kürlenme süresi (gün)

çimento içeriği (c)%



Serbest basınç dayanımı (qu) (kpa)

**Şekil 4: Model geliştirme için kullanılan parametrelerin histogramı.**

İstatistiksel analiz, tahmin modellerinin performansını ölçmek ve değerlendirmek için çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada, regresyon modellerinin performansının değerlendirilmesinde öngörülen parametrelerin regresyon değeri ( $R^2$ ), Karesel Ortalama Hata (MSE), kök Karesel Ortalama Hata (RMSE) ve verimlilik katsayısı (CE) hesaplanmıştır. Tablo (4), önceki araştırma çalışmalarından bazılarını ve seçtikleri girdi parametrelerini gözden geçirmektedir.

**Tablo 4: Geoteknik mühendisliğinde ANN kullanarak önceki öngörüsül çalışmalarda seçilen giriş parametrelerini. gözden geçirin**

No.	GİRİŞ Parametreleri	Başlık	Araştırmacı
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• likit limiti(LL)</li> <li>• plastisite indeksi (PI)</li> <li>• kil fraksiyonu (<math>C_F</math>)%</li> <li>• kum %</li> <li>• çakıl <math>G_r</math>%</li> <li>• Su içeriği (<math>M_C</math>)% and çimento içeriği (C)%</li> </ul>	Application of Artificial Intelligence to Maximum Dry Density and Unconfined Compressive Strength of Cement Stabilized Soil. (Yapay Zekanın Çimentoyla Stabilize Edilmiş Toprağın Maksimum Kuru Yoğunluğuna ve Serbest Basınc Dayanımına Uygulanması).	<b>Sarat Kumar Das, Pijush Samui, Akshaya K. Sabat</b>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etkili gerilim (<math>\sigma_v'</math>)</li> <li>• standart penetrasyon testi sonucu (NSPT)</li> <li>• likit limiti(LL)</li> <li>• plastik limit (PL)</li> <li>• plastisite indeksi (PI)</li> </ul>	Prediction of Undrained Shear Strength by the GMDH-Type Neural Network Using SPT-Value and Soil Physical Properties.( SPT-Değeri ve Zemin Fiziksel Özelliklerini Kullanarak GMDH-Tipi Sinir Ağı ile Drenajsız Kayma Dayanımının Tahmini).	<b>Mintae Kim , Osman Okuyucu v.d. (2022).</b>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toprak kil içeriği (%)</li> </ul>	A novel approach based on soft	<b>Joaquim Tinoco,</b>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toprak kumu içeriği (%)</li> <li>• Toprak silt içeriği (%)</li> <li>• Toprak organik madde içeriği (%)</li> <li>• Su içeriği (%)</li> <li>• Çimento içeriği (%)</li> <li>• Su/çimento içeriği</li> <li>• Karışımın yaşı (gün)</li> <li>• Bağlayıcı tipi ile ilgili katsayı</li> <li>• İkincil bir bağlayıcı ile ilgili katsayı</li> </ul>	<p>computing techniques for unconfined compression strength prediction of soil cement mixtures . (Toprak çimento karışımlarının sınırsız basınç dayanımı tahmini için yumuşak hesaplama tekniklerine dayalı yeni bir yaklaşım).</p>	<p><b>Anto'nio Alberto v.d. (2019)</b></p>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• F0.5 (%)</li> <li>• F0.25 (%)</li> <li>• F0.1 (%)</li> <li>• CaO (%)</li> <li>• TiO<sub>2</sub> (%)</li> <li>• SiO<sub>2</sub> (%)</li> <li>• SO<sub>3</sub> (%)</li> <li>• K<sub>2</sub>O (%)</li> <li>• Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</li> <li>• Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</li> <li>• Çimento içeriği (kg/m<sup>3</sup>)</li> <li>• kürlenme süresi (gün)</li> </ul>	<p>Prediction of unconfined compressive strength of cement-stabilized kumy soil in Vietnam using artificial neural networks (ANNs) model. (Yapay sinir ağları (YSA) modeli kullanılarak Vietnam'da çimento ile stabilize edilmiş kumy toprağının serbest basınç dayanımının tahmini).</p>	<p><b>Van-Ngoc Pham v.d. (2021)</b></p>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• likit limiti(LL)</li> <li>• plastik limit (PL)</li> <li>• plastisite indeksi,</li> <li>• Yüzde para cezaları,</li> <li>• Yüzde kumlar,</li> </ul>	<p>Estimating maximum dry density and optimum Su içeriği of compacted soils. (Sıkıştırılmış zeminlerin maksimum kuru yoğunluğunun ve optimum Su</p>	<p><b>K.S. Ng et al. (2015)</b></p>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüzde çakıl,</li> <li>• özgül ağırlık</li> </ul>	içeriğinin tahmin edilmesi).	
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• likit limiti(LL)</li> <li>• plastik limit (PL)</li> <li>• Yüzde para cezaları,</li> <li>• Kum%,</li> <li>• Geçiş ince içerik oranı</li> </ul>	Estimating compaction parameters of fine- and coarse-grained soils by means of artificial neural networks. (İnce ve iri daneli zeminlerin kompaksiyon parametrelerinin yapay sinir ağı ile tahmin edilmesi).	<b>Fatih Isik and Gurkan Ozden (2012)</b>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Su içeriği (%)</li> <li>• Kil %</li> <li>• Silt%</li> <li>• OMC</li> <li>• plastisite indeksi</li> <li>• Çimento içeriği %</li> <li>• Kireç %</li> <li>• uçucu kül %</li> </ul>	Using artificial neural network and genetics algorithm to estimate the resilient modulus for stabilized subgrade and propose new empirical formula. (Stabilize alt zemin için esneklik modülünü tahmin etmek ve yeni ampirik formül önermek için yapay sinir ağı ve genetik algoritma kullanma).	<b>Shadi Hanandeh v.d. (2020)</b>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• plastisite indeksi</li> <li>• likit limiti(LL)</li> <li>• Yüzde para cezaları</li> <li>• Kum %</li> <li>• çakıls %</li> <li>• özgül ağırlık</li> </ul>	ANN prediction of some geotechnical properties of soil from their index parameters. (İndeks parametrelerinden toprağın bazı jeoteknik özelliklerinin YSA tahmini).	<b>Kumro Lemos Machado v.d. (2014)</b>



### 2.3. Ön İşleme

Makine öğrenimi sistemlerinde, veri kalitesi genellikle önemli bir endişe kaynağıdır. Mümkün olduğunca iyi ve yaygın olarak uygulanabilir bir tahmin modeli oluşturmak için, değişkenlerin birliğe bağımlılığını ortadan kaldırmanın yanı sıra, bağımsız değişkenler normalleştirilmeli ve belirli bir aralıkta birleştirilmelidir (Kim, Mintae, et al.(2022)) . Bu nedenle, verileri dönüştürme ve belirli bir aralıkta sınırlama yöntemi olan normalleştirme gerçekleştirilir ve özellikle veriler normalleştirildikten sonra kullanılan birim tipinin sonucu etkilemeyeceği sinir ağlarında yararlıdır (Hana Adugna (2021)).

Bu çalışmada, yapay sinir ağını eğitirken tüm özelliklerin aynı aralıkta ölçeklendirilmesini ve eşit dikkat görmesini sağlama yeteneği nedeniyle, değişkenlerin normalleştirilmesinde min-max yöntemi kullanılarak normalizasyon yapılacaktır. Tüm veri değerleri “unit”lerinden bağımsızdır (Hana Adugna (2021)). Veriler aşağıdaki formülasyon ile Excel kullanılarak normalleştirildi:

$$X_{\text{norm}} = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1)$$

burada x ve Xnorm sırasıyla veri değerini ve normalleştirilmiş verileri temsil eder.

### 2.4 Yapay Sinir Ağları Geliştirme :

YSA modelini geliştirmek için aşağıdaki adımlar izlenmiştir :

#### 2.4.1 Veri Bölümü :

Veriler normalleşmeden sonra eğitim ve test olmak üzere iki gruba ayrıldı. Bu çalışmada verilerin oranı deneme yanılma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. En iyi oran, ortaya çıkan sinir ağının performansına göre seçildi ve Karesel Ortalama Hatanın (MSE) en düşük değerini veren oran ve en yüksek eşdeğerlik katsayısı CE'ye ek olarak en yüksek korelasyon

katsayısı  $R^2$ , sinir ağlarının eğitimi için en iyi oran olarak alındı. Sırasıyla %80 ve %20 oranının eğitim ve test için en iyi oran olduğu bulunmuştur.

#### **2.4.2 Sinir Ağları Mimarisini Tanımlayın**

İki katmanlı bir ileri-besleme ağ yapısı, bir gizli katman ve çıktı katmanı kullanılmıştır. Bu katmanda hiçbir hesaplama yapılmadığı için giriş katmanı hesaplanmadı. Frontal bir sinir ağında, bilginin geriye doğru iletimi yoktur, bilgi sadece bir sonraki katmanın nöronlarına ileri yolda iletilir.

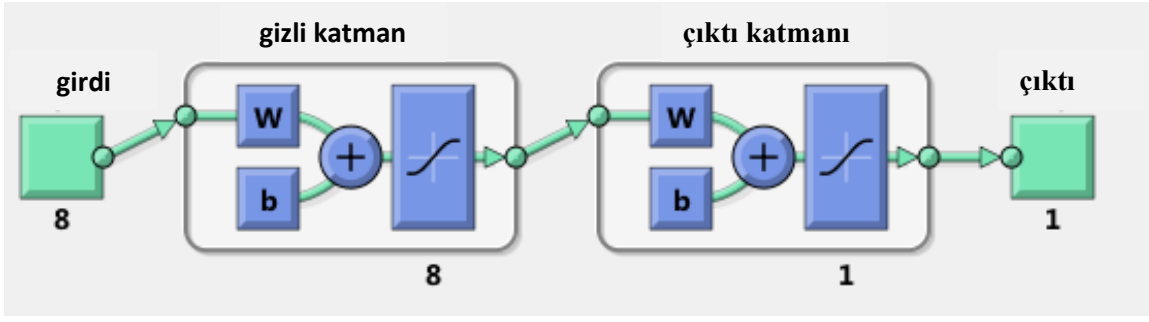
Giriş nöronlarının sayısı, 8 nöron olan giriş değişkenlerinin sayısına eşittir, böylece YSA ağı aşırı derecede eğitilmez, bu da zayıf tahmine neden olur (Kaul, Monisha et al. (2005)) ve çıkış nöronlarının sayısı, bir nöron olan çıktı değişkenlerinin sayısına eşittir.

#### **2.4.3 Sinir Ağı Eğitimi**

Eğitim aşamasında, tahmin modelini oluşturmak için MATLAB sinir ağı araç setini kullandık. İlk adım olarak, sinir ağını eğitirken hem karşılık gelen giriş hem de çıkış değerleri sağlandı.

Şekil ( 2.2 ) 'de gösterildiği gibi daha iyi sonuçlar verdiği için gizli bir katman kullanıldı. Besleme ağına ek olarak, ağırlıkları ve önyargıyı ayarlamak için standart Levenberg-Marquardt geri yayılma algoritması kullanıldı, böylece potansiyel hatayı azalttı. 'Trainlm' genellikle en hızlı geri yayılma algoritması olarak kullanılır ve ilk tercih öğrenme algoritması olarak önerilir. Bu eğitim işlevi diğer yöntemlerden daha fazla bellek tüketiyor olmasına rağmen, hızlı bilgi işlem gücü nedeniyle seçildi .

Transfer fonksiyonu için en yaygın fonksiyon olan teğetsel sigmoid transfer fonksiyonunu (TANSIG) kullandık (Kaul, Monisha et al. (2005)).



Şekil 5: FFBP YSA Modelinin Matlab nntool kullanılarak gerçekleştirilmesi.

## 2.5 Model Performans Değerlendirmesi

Bu çalışmada geliştirilen yapay sinir ağı modelinin performansını değerlendirmek amacıyla, regresyon modellerinin performansının değerlendirilmesinde tahmini ve gerçek hedef parametreler için regresyon ( $R^2$ ), Karesel Ortalama Hata (MSE), kök Karesel Ortalama Hata (RMSE) ve verimlilik katsayısı (CE) değerleri hesaplanmıştır. Burada ( $R^2$ ), (MSE), (RMSE) ve (CE) değerleri matematiksel olarak aşağıdaki gibi hesaplandı :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_{mea} - y_{pre})^2}{\sum_{i=1}^N (y_{mea} - y_m)^2} \quad (2)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_m - y_{pre})^2}{N} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_m - y_{pre})^2}{N}} \quad (4)$$

$$\mathbf{CE} = \mathbf{1} - \frac{\sum_{i=1}^N (y_m - y_{pre})^2}{\sum_{i=1}^N (y_{pre} - y_{mea})^2} \quad (5)$$

Kısaltmalar:

$y_m$  : gerçek çıkış değeri .

$y_{pre}$  : tahmini çıktı değeri.

$y_{mea}$  : gerçek çıkış değerinin ortalaması.

$N$  : toplam veri sayısını temsil eder.

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Genel

Bu bölüm, serbest basınç dayanımını tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirilmesinin sonuçlarını sunmaktadır. YSA modellerinden ,istatistiksel analiz kullanarak modelin verimliliğini doğrulamaya ek olarak, elde edilen en iyi sonuç sunulmuştur. Numunelerin hazırlanması ve kürlenmesi için koşullar ve bunların serbest basınç dayanımı üzerindeki etkileri de tartışılacaktır. Modelin geliştirilmesi sırasında farklı tipte girdi kümeleri, gizli nöronlar ve farklı eğitim ve test verileri oranları incelenmiştir.

#### 3.2 Serbest basınç dayanımının (UCS) tahmini için YSA Modelinin Geliştirilmesi:

Bu çalışmada, en iyi ve en yaygın kullanılan LMNN algoritmasını kullanarak çimento ile işlenmiş toprağın serbest basınç dayanımını tahmin etmek için ANN modeli geliştirilmiştir. Giriş ve çıkış verilerinin iki gruba ayrıldığı da hatırlanmalıdır. Eğitim grubu verilerin % 70'ini oluşturuyordu ve sayısı toplam veri sayısının 144'üdür. Bu grup inceleme ve öngörüü gerçekleştirmek için kullanıldı. İkinci grup, verilerin% 30'u olan test grubudur ve istatistiksel analiz kullanarak modelin verimlilik performansını analiz etmek için kullanıldığından, gerçek ve tahmin edilen qu değerleri için test verilerini görüntüleyen Tablo (5) 'de olduğu gibi sayısı 62 idi.

**Tablo 5: Geoteknik mühendisliğinde ANN kullanarak önceki öngörüs el çalışmalar da seçilen giriş parametrelerini gözden geçirin**

No.	$q_u$ gözlem	$q_u$ model	No.	$q_u$ gözlem	$q_u$ model
1	0.0944	0.0956	33	0.0569	0.0516
2	0.5736	0.5795	34	0.3503	0.2790
3	0.0457	0.0751	35	0.0081	0.0516
4	0.0863	0.0783	36	0.1168	0.0849
5	0.1878	0.1991	37	0.2183	0.2979
6	0.7208	0.7445	38	0.3503	0.3165
7	0.0152	0.0075	39	0.5127	0.4871
8	0.0254	0.0193	40	0.5442	0.6019
9	0.0325	0.0156	41	0.2477	0.2552
10	0.1340	0.0255	42	0.6294	0.6954
11	0.0041	0.0170	43	0.0102	0.0489
12	0.0284	0.0114	44	0.0711	0.0672
13	0.1391	0.0181	45	0.4061	0.4380
14	0.0041	0.0170	46	0.0102	0.0672
15	0.0457	0.0397	47	0.1350	0.1693
16	0.1980	0.3354	48	0.0102	0.0575
17	0.4213	0.4274	49	0.0112	0.0792
18	0.5127	0.6043	50	0.5025	0.6182
19	0.8071	0.7930	51	0.2284	0.3411
20	0.0051	0.0145	52	0.1980	0.1946
21	0.0558	0.0320	53	0.2284	0.2101
22	0.2284	0.2735	54	0.1523	0.1994
23	0.0041	0.0216	55	0.0132	0.0701
24	0.0365	0.0238	56	0.0761	0.0967
25	0.1726	0.1471	57	0.4914	0.5468
26	0.0061	0.0124	58	0.0142	0.0967
27	0.0569	0.0253	59	0.2162	0.2415
28	0.3503	0.6066	60	0.2589	0.2985
29	0.3807	0.9096	61	0.4010	0.4269
30	0.1848	0.1059	62	0.5127	0.5849
31	0.0030	0.0004			
32	0.0142	0.0401			

Bu çalışmanın öngörücü modeli, MATLAB programındaki yapay sinir ağı araçları kullanılarak 8 nöron ve bir gizli katman kullanılarak denetimli eğitim sürecinin yürütülmesiyle elde edilmiştir.

### 3.3 Tahmine dayalı YSA modeli veri analizi

Yapay bir sinir ağı kullanarak tahmine dayalı modelleme, öğrenme sürecine bağlı sayısal bir değere sahip değişkenler üzerinde çalıştığı için gelecekteki beklenen sonuçları tahmin etmek için mevcut verileri kullanan bir makine öğrenme tekniğidir. MATLAB programını kullanarak tahmini modelin çalışmasını tamamladıktan sonra ve bu tez çalışmasında öngörücü modelin performansını analiz etmek için birkaç istatistiksel yöntem kullandık:

#### 3.3.1 Regresyon ( $R^2$ )

Beklenen değerlerin gerçek değerlere ne ölçüde karşılık geldiğini belirlemek için kullanılan en önemli parametrelerden biridir ve modelin uygunluğunu veya beklenen sonuçların kalitesini gösterir.  $R^2$  değerleri 0 ile +1 arasında tanımlayıcıdır, Chin (1998)  $R^2$ 'nin doğruluk seviyesini tablo (6)'deki gibi tanımlamıştır.

**Tablo 6: Regresyonun doğruluğu (Chin, 1998)**

$R^2$	İstenilen Değer
0.67	Önemli
0.33	Daha ılımlı
0.19	Zayıf

#### 3.3.2 Karesel Ortalama Hata (MSE):

İstatistiksel modellerdeki hata miktarının bir ölçüsüdür. Gözlemlenen ve beklenen değerler arasındaki ortalama karesel farkı değerlendirir. Modelde hata olmadığında, (MSE) sıfırdır. Modeldeki hata arttıkça, (MSE) değeri de artar.

### 3.3.3 Kök Karesel Ortalama Hata (RMSE) :

Ortalama kareli hata değerinin kareköküdür (MSE ) , modelin hedef değeri (doğruluk) ne kadar iyi tahmin edebileceğine dair bir tahmin sağlar. Hata ne kadar düşük olursa, RMSE değeri sıfıra o kadar yakın olur.

### 3.3.4 Verimlilik katsayısı (CE) :

Tahmin edilen model verimliliğinin bir ölçüsüdür ve incelenen dönem boyunca gözlemlenen değerlerin varyansı ile normalleştirilen tahmin edilen ve gözlemlenen değerlerin karesel farklılıklarının toplamı eksi olarak tanımlanır. 1'e yakın CE değerleri, daha öngörücü beceriye sahip bir modeli gösterir.

Tablo (5)'de sunulan qu için gerçek ve tahmin edilen test verileri kullanılarak, tahmin edilen modelin performansının verimliliğini bulmak için istatistiksel analiz yapılmıştır. Modelin performansının istatistiksel analizinin sonuçları göz önüne alındığında, tahmin edilen model, tahmine dayalı modelin verimliliğinin istatistiksel analizinin sonuçlarını sunan Tablo (7) 'de gösterildiği gibi yüksek verimli olarak kabul edilebilir ve Şekil (3.1), qu gerçek ve tahmin edilen qu değerleri arasındaki regresyon ilişkisini sunar. Tablo (7) Bu çalışmanın tahmine dayalı model etkinliğinin istatistiksel analiz sonuçlarını göstermektedir.

**Tablo 7: Tahmine dayalı modelin etkinliğinin istatistiksel analizinin sonuçlarının gözden geçirilmesi**

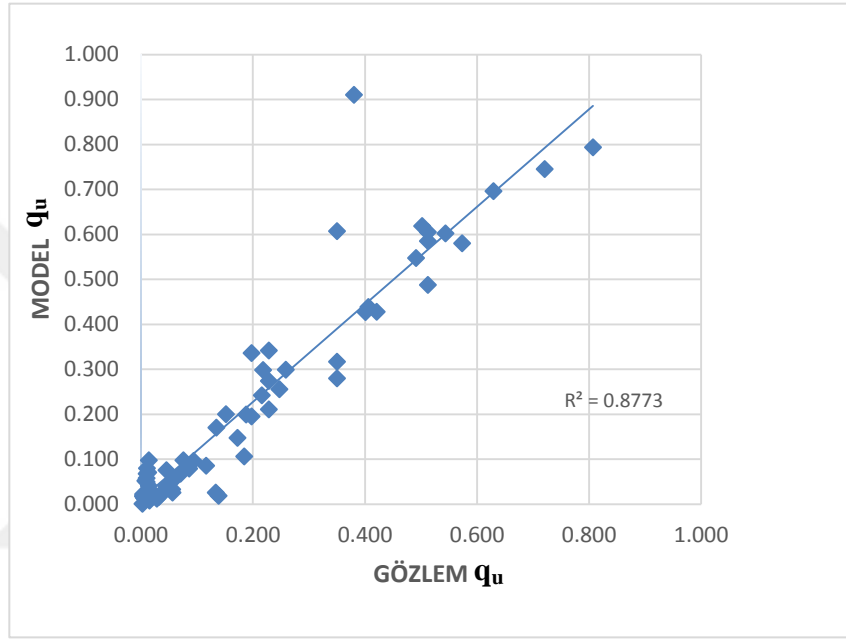
İstatistiksel analiz	değer
R <sup>2</sup>	0.8773
MSE	0.0081
RMSE	0.0900
CE	0.8102

Çalışmamızın verilerinin tamamen farklı koşullarda yapılan çeşitli çalışmalardan toplandığı göz önüne alındığında, modelin performansının istatistiksel analizi için bu değerler elde edildikten sonra öngörücü çalışma modelimizin sonuçları oldukça verimli sayılabilir, çünkü ortalama kare hata MSE değeri 0.0081 olup, bu da modelde düşük hata değerleri anlamına gelmektedir. 0,8102 (CE) değeri, yüksek verimli bir modeli gösterir.



Grafik (1) ile gösterilen  $R^2$ 'ye gelince, mükemmel eşitlik çizgisinden küçük bir sapma, iyi bir ilişkinin göstergesidir. Ek olarak, korelasyon katsayısının değeri  $R^2 = 0.8773$ , serbest basınç dayanımı  $q_u$ 'nun gerçek ve öngörülen değerleri arasında çok iyi bir ilişki olduğunu gösterir.

**Grafik (1), gerçek ve tahmin edilen  $q_u$  verileri arasındaki regresyon ilişkisini göstermektedir.**



### 3.4 Tartışmalar

Çimento ile işlenmiş toprağın serbest basınç dayanımı genellikle toprak tipi, su miktarı, eklenen çimento miktarı, numune hazırlama yöntemi ve numune kütleme yöntemi gibi çeşitli faktörlerden etkilenir (Archibong, G. A., et al.(2020)). Çalışmamız daha önceki 12 araştırma çalışmasından alınan verilere dayandığından, bu çalışmalarda hazırlanan örnekler farklı koşullar altında hazırlanmıştır. Örneklerin hazırlanması ve işlenmesine ilişkin koşulları ve bunların serbest basınç dayanımı üzerindeki etkilerini ve bu çalışmanın sonuçlarını tartışmak amacıyla, çalışmamızın verilerinin toplandığı araştırma çalışmalarının her birinde numune hazırlama yönteminin ve kürlenmesinin bir özetini sunan Tablo (8) hazırlanmıştır.

**Tablo 8: çalışma verilerimizin toplandığı araştırma çalışmalarının her birinde numune hazırlama ve kürlenme yönteminin bir özetidir.**

<b>Kaynakça</b>	<b>Su içeriği</b>	<b>çimento içeriği</b>	<b>Numune hazırlama</b>	<b>Kürleme süresi (gün)</b>	<b>Kürleme yöntemi</b>
K.Uddin v.d. (1997)	84%	5% , 7.5% , 10% , 12.5% , 15% ve 20%	Su içeriğinde sıkıştırma 84%.	7,14,28,42 ve 56	Hazırlanan numune kürlenmek üzere nemli bir odaya yerleştirildi.
Tugba Eskisar (2015)	30%	5% ve 10%	Su içeriğinde sıkıştırma 30%.	7 ve 28	Numuneler LLDPE film ile hava geçirmez şekilde sarılmış ve nemli bir odaya yerleştirilmiştir (25 °C'de ve %97 bağıl nemde)
Hassnen M. Jafer v.d. (2016)	36.8%	1.5% , 3% , 6% , 9% ve 12%	Sıkıştırma	1,3,7,14 ve 28	Numuneler streç film ile sarıldıktan sonra nem kabininde 20 ±2oC sıcaklıkta ve %100 nemde kürlenmek üzere saklanmıştır.
S. H. Chew , A. H. M. Kamruzzaman v.d. (2004)	120%	5% , 10% , 20% , 30% , 40% ve 50%	Bulamaç	7 ve 28	Kalıpların uçları filtre kağıdı ile kapatılmış ve numuneler tüm kür süresi boyunca su içerisinde tutulmuştur.
Obaid Qadir Jan and Sandeep Raj (2019)	19%	5% , 7.5% , 10% , 12.5% ve 15%	Sıkıştırma	7	---
Qutaiba G. Majeed, Abdalla M. Shihab v.d. (2021)	17.45%	10%	Su içeriğinde sıkıştırma OMC	7 ve 28	numuneler 25 ± 3o C'de kürlenmiştir.
Yan-Jun Du, Ning-Jun Jiang v.d. (2013)	59%	8% , 12% , 15% ve 18%	Su içeriğinde sıkıştırma 59%.	7 ve 28	Nem kaybını en aza indirmek için kalıplar polietilen kapaklarla sarıldı ve numuneler kontrollü ortam koşullarında (22 °C ve %95 bağıl nem) kürlendi.
H. K. Preetham and Sitaram Nayak (2019)	27%	2% , 4% , 6% , 8% ve 10%	Su içeriğinde sıkıştırma OMC.	7 ve 28	Numuneler 7 gün ve 28 gün kürlenir. Kürleşmeden sonra numuneler tamamen doymun hale gelir.
M. M. Rahman, A. Siddique and M. K. Uddin (2012)	83%	7.5% , 10% ve 15%	Su içeriğinde sıkıştırma 83% .	28 ve 84	Numuneler kalın polietilen torbalara sarılarak, yaklaşık olarak sabit sıcaklıkta (25 ± 2 oC) bir odada, planlanan farklı kür sürelerinin sonuna kadar saklandı.
Glen Légère	17% ve 20%	3% ve 6%	Sıkıştırma	7,28 ve 60	plastığe sarılmış ve kürlenme

and Hélène Tremblay (2003)					sırasında kapatılabilir bir torbada saklanmıştır. Sertleştirme 24°C oda sıcaklığında ve yaklaşık %50 bağıl nemde gerçekleştirilmiştir.
Wathiq Al- Jabban 1,2 , Jan Laue v.d. (2019)	12%	1% , 2% , 4% ve 7%	Su içeriğinde sıkıştırma OMC.	7,14,28,60 ve 90	Testten önce 20oC'de 7, 14, 28, 60 ve 90 gün kürlendi.
Mohammed O. A. Bazne, Farshid Vahedifard, and Isaac L. Howard (2017)	ME = 30% MO = 25%	2.5% , 5% ve 10%	Su içeriğinde sıkıştırma OMC.	7,28,56 ve 90	Örnekler plastik bir kapakla kapatıldı ve yaklaşık 22°C'de %100 bağıl neme sahip bir küreleme odasında saklandı.

### 3.4.1 Numune hazırlama

Numunenin hazırlanması esas olarak toprağın türüne ve toprak stabilizasyon faktörlerine bağlıdır, örneğin, toprağın yapışkan olması durumunda, toprağın doğal gradasyonunu bozmadan tüm kümeler kırılmalıdır. Kuru karıştırma, ıslak karıştırma, manuel karıştırma veya makine karıştırma gibi uygun karıştırma yönteminin seçilmesi de önemlidir (Muhammad, Gul,(2018)) . Bu çalışmada kullanılan örnekler Tablo (8)'te gösterildiği gibi sıkıştırma ve bulamaç olmak üzere iki yöntemle hazırlanmıştır. Bu çalışmanın verilerinin alındığı araştırma çalışmalarının çoğu, çimentonun gerekli oranda su ile karıştırıldığı ve homojen bir bulamaç yapıldığı, daha sonra toprakla karıştırıldığı bulamaç yöntemiyle numune hazırlayan S. H. Chew, A. H. M. Kamruzzaman v.d. (2004) hariç, sıkıştırma yöntemiyle hazırlanan örneklerdir.

### 3.4.2 küreleme koşulları

Çimento işleme sonrası işlem süresi ve yöntemi, çimento ile işlem gören toprağın mühendislik özelliklerini etkileyen önemli noktalardan biridir. Bazen numuneler havada ve oda sıcaklığında, bazen de nemde işleme tabi tutulur. Çalışmamızın örneklerinin çoğu nemli bir ortamda, bazıları ise havadaydı. Nemli bir ortam daha yüksekti, örneğin, Wathiq Al-Jabban 1,2 , Jan Laue v.d. (2019) havadaki örnekler olarak işlediler, bu nedenle 7 günde qu'nun sonucu 140 kpa ve 28 günde 200 kpa idi. HK Preetham ve Sitaram Nayak'a (2019)

gelince, numuneleri nemli bir ortamda işledi, bu nedenle toprağın serbest basınç dayanımının sonuçları daha yüksekti, örneğin 7 günde  $q_u$  296 kpa'ya eşitti, ancak 28 günde 379 kpa idi. Bu nedenle, numunelerin nemde işlem görmesi, serbest basınç dayanımının değerini arttırır.

### **3.4.3 Numunelerdeki su ve çimento içeriği**

Killi toprağın mühendislik özelliklerini iyileştirmek ve toprağı çimento ile işlerken yüksek bir basınç dayanımı elde etmek için, hem su hem de çimento içeriği doğru bir şekilde belirlenmelidir. Genellikle kullanılan çimento miktarı az olur, ancak toprağın mühendislik özelliklerini iyileştirmek ve kilin katyonik değişimini daha da iyileştirmek yeterlidir. Yeterli su içeriğine gelince, bu çok gereklidir, çünkü yetersiz nem içeriği, nem içeriğini elde etmek için çimentonun toprakla rekabetine yol açar ve killi toprak durumunda, hidrasyon işlemi, sonunda nihai dayanımı etkileyecek olan yetersiz nem içeriği nedeniyle gecikebilir. Çalışmamızın dayandığı örneklerin çoğunda, çimento yüzdesi (1.5-20)% arasında değişmiştir, S.H Chew, A.H.M. Kamruzzaman ve ark. (2004), % 50 kadar yüksek bir çimento ile deney yapan,% 120'lik nispeten yüksek bir su içeriğine sahip. 28 gün,  $q_u$  değeri 760 kpa iken, OMC ile daha düşük çimento yüzdeleri kullanıldığında yaklaşık bir basınç dayanımı elde edildi. Örneğin, HK Preetham ve Sitaram Nayak (2019), sadece % 10 çimento ve 28 günlük bir kürlenme süresi eklerken  $q_u = 697$  kpa elde etti. Dolayısıyla, çimentodaki artıştan kaynaklanan çevresel hasara ek olarak, toprağın basınç dayanımını arttırmak için çok miktarda çimento kullanılması gerekli değildir.

## SONUÇLAR

Bu araştırmada, imento ile işlenmiş killi toprağın serbest basınç dayanımını tahmin etmek için bir ANN modeli geliştirilmiştir. Çalışmamızın verileri daha önce yapılmış 12 araştırma çalışmasından toplanmıştır. Giriş parametreleri olarak sıvı limiti (LL)%, plastisite indeksi (PI)%, su içeriği (Wc)%, kil fraksiyonu (CF)%, kum %, silt %, kürlenme süresi (gün) ve imento içeriği (c)% kullanılmıştır. Serbest basınç dayanımına gelince (  $q_u$  ), bir çıkış parametresi olarak kullanılmıştır.

Tüm veriler normalleştirildi ve daha sonra öngörücü modelimizi geliştirmek için MATLAB programında yapay sinir ağları araçları kullanıldı. Model, gerçek örneklem verileriyle karşılaştırılarak ve istatistiksel değerler kullanılarak verimliliği değerlendirilerek doğrulanmıştır. Model,  $R^2 = 0.8773$  regresyonu ve (MSE = 0.0081) hata oranı ile iyi performans gösterdi. Verimlilik katsayısı (CE=0.99) idi.

Yapay sinir ağı güvenilirdir ve finansal maliyet ve zamandan tasarruf sağlayan kapsamlı deneysel prosedürlere gerek kalmadan toprak tepkisinin kolay tahmin edilmesi için imento ile işlenmiş killi toprakların modellenmesi de dahil olmak üzere çok çeşitli Geoteknik mühendisliğinde modelleme için kullanılabilir.

Numune hazırlama koşulları ve su ve imento oranları tartışıldı. OMC'de toprağın kuru ağırlığının% 20'sini geçmeyen imento eklemenin daha iyi olduğu, çünkü killi toprağın özelliklerini az miktarda imento kullanarak iyileştirmenin mümkün olduğu belirtildi. imento ekleme işlemine tamamladıktan sonra toprağın oda sıcaklığında nemde işlenmesi de tercih edilir.

## KAYNAKÇA

- Abdulkareem, S. O., & Abbas, J. M. (2021). Effect of Adding Metakaolin Based Geopolymer to Improve Soft Clay Under Different Conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2-3.
- A. Abraham (2005) . Artificial Neural Networks. In, *Handbook of Measuring System Design*, (pp. 901-908). Stillwater, OK, USA: Peter H. Sydenham and Richard Thorn.
- Adugna, H. (2021). USE OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO PREDICT COMPACTION CHARACTERISTICS OF SOIL FROM SOIL INDEX PROPERTIES (CASE OF ADDIS ABABA). A *Research Submitted to School of Graduate Studies of Addis Ababa Institute of Technology in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Masters of Science in Civil Engineering*.
- Afrin, H. (2017). A Review on Different Types Soil Stabilization Techniques. *International Journal of Transportation Engineering and Technology*, 20-21.
- Al-Jabban, W., Laue, J., Knutsson, S., & Al-Ansari, N. (2019). A Comparative Evaluation of Cement and By-Product Petrit T in Soil Stabilization. *Applied sciences*, 1-20.
- Amakye, S. Y., & Abbey, S. J. (2021). Understanding the performance of expansive subgrade materials treated with non-traditional stabilisers: A review. *Elsevier-Cleaner Engineering and Technology*, 1-12.
- Archibong, G. A., Sunday, E. U., Akudike, J. C., et al. (2020). A REVIEW OF THE PRINCIPLES AND METHODS OF SOIL STABILIZATION. *International Journal of Advanced Academic Research*, 89-113.
- Barman, D., & Dash, S. K. (2022). Stabilization of expansive soils using chemical additives: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 1319-1336.
- Bazne, M. O., Vahedifard, F., & Howard, I. L. (2018). Effects of Light Cement Stabilization on Properties of Fine-Grained Dredged soils. *researchgate*.
- Bell, F. G. (1996). Lime stabilization of clay minerals and soils. *ELSEVIER - Engineering Geology*, 223-236.
- C., O. k., & O., O. F. (2012). A COMPARATIVE REVIEW OF SOIL MODIFICATION METHODS. *ARPN Journal of Earth Sciences*, 36-39.

- Caballero, S., Acharya, R., Banerjee, A., Bheemasetti, T. V., Puppala, A., & Patil, U. (2016). Sustainable Slope Stabilization Using Biopolymer-Reinforced Soil. *ASCE*, 116-124.
- Chew, S. H., Kamruzzaman, A. M., & Lee, F. H. (2004). Physicochemical and Engineering Behavior of Cement Treated Clays. *JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 696-703.
- Das, S. K., Samui, P., & Sabat, A. K. (2009). Application of Artificial Intelligence to Maximum Dry Density and Unconfined Compressive Strength of Cement Stabilized Soil. *Springer*, 329-342.
- Demuth, H., & Beale, M. (n.d.). *Neural Network Toolbox For Use with MATLAB®. User's Guide*.
- Dongare, A. D., Kharde, R. R., & Kachare, A. D. (2012). Introduction to Artificial Neural Network. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 189-193.
- Du, Y.-J., Jiang, N.-J., Liu, S.-Y., Jin, F., Singh, D. N., & Puppala, A. J. (2013). Engineering properties and microstructural characteristics of cement-stabilized zinc-contaminated kaolin. *NRC Research Press*, 289-300.
- Dukuly, A. A. (2021). EVALUATION OF METAKAOLIN-BASED GEOPOLYMER AS A STABILIZING AGENT FOR EXPANSIVE SOIL. *African University of Science and Technology*, 10-15.
- Eluyode, O. S., & Akomolafe, D. T. (2013). Comparative study of biological and artificial neural networks. *European Journal of Applied Engineering and Scientific Research*, 36-45.
- Eskisar, T. (2015). Influence of Cement Treatment on Unconfined Compressive Strength and Compressibility of Lean Clay with Medium Plasticity. *Springer*, 763-772.
- Firoozi, A. a., Firoozi, A. A., & Baghini, M. S. (2016). A Review of Clayey Soils. *Asian Journal of Applied Sciences*, 1319-1328.
- Firoozi, A. A., Firoozi, A. A., & Baghini, M. S. (2017). A Review of Physical and Chemical Clayey. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 64-69.
- Fondjo, A. A., Theron, E., & Ray, R. P. (2021). Stabilization of Expansive Soils Using Mechanical and Chemical Methods: A Comprehensive Review. *researchgate*, 1295-1304.
- Geiman, C. M. (2005). STABILIZATION OF SOFT CLAY SUBGRADES IN VIRGINIA PHASE I LABORATORY STUDY. *Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master*, 67-71.
- Ghadir, P., & Ranjbar, N. (2018). Clayey soil stabilization using geopolymer and Portland cement. *Construction and Building Materials*, 362-370.

- Hamzah, H. N., Al Bakri Abdullah, M. M., Yong, H. C., Arif Zainol, M. R., & Hussin, K. (2015). Review of Soil Stabilization Techniques: Geopolymerization Method One of the New Technique. *Key Engineering Materials*, 298-299.
- Ho, M.-H., & Chan, C.-M. (2011). Some Mechanical Properties of Cement Stabilized Malaysian Soft Clay. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 76-83.
- Horpibulsuk, S., Miura, N., & Nagaraj, T. S. (2005). Clay–Water/Cement Ratio Identity for Cement Admixed Soft clays. *JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 187-192.
- Huang, Y. (2009). Advances in Artificial Neural Networks – Methodological Development and Application. *algorithms*, 973-999.
- Inc., T. M. (2017). *MATLAB version: 9.13.0 (R2022b)*. Natick, Massachusetts, United States.
- Jafer, H. M., Hashim, K. S., Atherton, W., & Alattabi, A. W. (2016). A statistical model for the geotechnical parameters of cement-stabilised hightown's soft clay : A case study of liverpool , UK. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 937-942.
- Jan, O. Q., & Raj, S. (2019). Strength Behavior of Cement Stabilized Karewa Soil. *Springer*, 273-281.
- Jeremiah, J. J., Abbey, S. J., Booth, A. C., & Kashyap, A. (2021). Results of Application of Artificial Neural Networks in Predicting Geo-Mechanical Properties of Stabilised Clays—A Review. *Geotechnics*, 147-168.
- Jeremiah, J. J., Abbey, S. J., Booth, C. A., & Kashyap, A. (2021). Results of Application of Artificial Neural Networks in Predicting Geo-Mechanical Properties of Stabilised Clays—A Review. *Geotechnics*, 147-168.
- Karsoliya, S. (2012). Approximating Number of Hidden layer neurons in Multiple Hidden Layer BPNN Architecture. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 714-716.
- Kaul, M., Hill, R. L., & Walthall, C. (2005). Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. *Elsevier - Agricultural Systems*, 1-16.
- Kim, M., Okuyucu, O., Ordu, E., Ordu, S., Arslan, Ö., & Ko, J. (2022). Prediction of Undrained Shear Strength by the GMDH-Type Neural Network Using SPT-Value and Soil Physical Properties. *MDPI*, 1-14.
- Kim, P. (2017). *MATLAB Deep Learning*. Seoul, Soul-t'ukpyolsi, Korea: Library of Congress.
- Krogh, A. (2008). What are artificial neural networks? *NATURE BIOTECHNOLOGY*, 195-197.



- Légère, G., & Tremblay, H. (2002). Laboratory and Field Evaluation of Cement Kiln Dust and Lime for Stabilizing Clayey Silt on Low-Volume Unpaved Roads. *Transportation Research Record*, 3-10.
- Little, N. D. (1995). handbook for stabilization of pavement subgrades and base courses with lime. *the lime association of texas*, 100-188.
- Majeed, Q. G., Shihab, A. M., Abbas, J. M., & Sammen, S. S. (2021). Improving the Characteristics of a Soft Clay Soil Using Cement Activated Low-Calcium Fly Ash. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 8-20.
- Mijwel, M. M. (2018). Artificial Neural Networks Advantages and Disadvantages. *researchgate*, 1-2.
- Muhammad, G., & Marri, A. (2018). Difficulties in the Sample Preparation and Testing of Modified Soils. *Indian Journal of Science and Technology*, 1-20.
- Murali, D., Sambath, K., & Hashir, S. M. (2018). A Review on Clay and its Engineering Significance. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 8-10.
- Panchal, F. S., & Panchal, M. (2014). Review on Methods of Selecting Number of Hidden Nodes in Artificial Neural Network. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 455-463.
- Pandey, A., & Rabbani, A. (2017). Stabilisation of Pavement Subgrade Soil using Lime and Cement: Review. *researchgate*, 5733-5734.
- PARK, H. I. (2014). Development of Neural Network Model to Estimate the Permeability Coefficient of Soils. *Marine Georesources & Geotechnology*, 267-275.
- Petry, T. M., & Little, D. N. (2002). Review of Stabilization of Clays and Expansive Soils in Pavements and Lightly Loaded Structures—History, Practice, and Future. *JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING*, 447-457.
- Pham, V.-N., Do, H.-D., Oh, E., & Ong, D. E. (2021). Prediction of unconfined compressive strength of cement-stabilized sandy soil in Vietnam using artificial neural networks (ANNs) model. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 1-7.
- Preetham, H. K., & Nayak, S. (2019). Geotechnical Investigations on Marine Clay Stabilized Using Granulated Blast Furnace Slag and Cement. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*.
- Rafalko, S. D., Filz, G. M., Brandon, T. L., & Mitchell, J. K. (2007). Rapid Chemical Stabilization of Soft Clay Soils. *Journal of the Transportation Research Board*, 40-45.

- Rahman, M. M., Siddique, A., & Uddin, M. K. (2012). Clay-Water/Cement Ratio is the Prime Parameter for Fine Grained Soil Improvement at High Water Content. *DUET Journal*, 1-11.
- Rogers, C. D., & Glendinning, S. (n.d.). Lime Requirement for Stabilization. *Transportation Research Record*, 9-18.
- Roy, A. (2014). Soil Stabilization using Rice Husk Ash and Cement. *International Journal of Civil Engineering Research*, 50-53.
- Shahin, M. A., Jaksa, M. B., & Maier, H. R. (2001). ARTIFICIAL NEURAL NETWORK APPLICATIONS IN GEOTECHNICAL ENGINEERING. *Australian Geomechanics*, 49-59.
- Shahin, M. A., Jaksa, M. B., & Maier, H. R. (2008). State of the Art of Artificial Neural Networks in Geotechnical Engineering. *researchgate*, 2-14.
- Shahin, M. A., Jaksa, M. B., & Maier, H. R. (2009). Recent Advances and Future Challenges for Artificial Neural Systems in Geotechnical Engineering Applications. *Hindawi Publishing Corporation*, 2-5.
- Shahin, M. A., Jaksa, M. B., & Maier, H. R. (2009). Recent Advances and Future Challenges for Artificial Neural Systems in Geotechnical Engineering Applications. *Hindawi Publishing Corporation*, 1-5.
- Solihu, H. (2020). Cement Soil Stabilization as an Improvement Technique for Rail Track Subgrade, and Highway Subbase and Base Courses: A Review. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 1-6.
- Tingle, J. S., & Santoni, R. L. (n.d.). Stabilization of Clay Soils with Nontraditional Additives. *Transportation Research Record*, 72-83.
- Uddin, K., Balasubramaniam, A. S., & Bergado, D. T. (n.d.). Engineering Behavior of Cement-Treated Bangkok So. *ACADEMIA*, 89-119.
- Wrzesiński, G., & Markiewicz, A. (2022). Prediction of Permeability Coefficient  $k$  in Sandy Soils Using ANN. *MDPI*, 1-13.
- Zahri, A. M., & Zainorabidin, A. (2019). An overview of traditional and non traditional stabilizer for soft soil. *Materials Science and Engineering*, 1-6.

## EKLER

Ek 1. Bu çalışmada kullanılan verilerin tablosu

no.	L.L%	PI%	Water content%	CLAY%	silt%	sand%	curing time(day)	cement%	q (KPA)
1	103	60	84	69	28	3	7	0	33
2	103	60	84	69	28	3	7	5	38
3	104	62	84	69	28	3	7	7.5	46
4	104	59	84	69	28	3	7	10	150
5	104	59	84	69	28	3	7	12.5	200
6	105	59	84	69	28	3	7	15	315
7	105	59	84	69	28	3	7	20	440
8	103	60	84	69	28	3	14	5	40
9	103	60	84	69	28	3	14	7.5	50
10	104	62	84	69	28	3	14	10	220
11	104	59	84	69	28	3	14	12.5	260
12	104	59	84	69	28	3	14	15	400
13	105	59	84	69	28	3	14	20	510
14	105	59	84	69	28	3	21	5	43
15	103	60	84	69	28	3	21	7.5	100
16	103	57	84	69	28	3	21	10	280
17	104	58	84	69	28	3	21	12.5	380
18	104	57	84	69	28	3	21	15	490
19	104	57	84	69	28	3	21	20	710
20	105	58	84	69	28	3	28	5	48
21	103	59	84	69	28	3	28	7.5	165
22	103	56	84	69	28	3	28	10	310
23	104	57	84	69	28	3	28	12.5	420
24	104	56	84	69	28	3	28	15	510
25	104	56	84	69	28	3	28	20	800
26	105	57	84	69	28	3	42	5	50
27	103	59	84	69	28	3	42	7.5	170

28	103	55	84	69	28	3	42	10	385
29	104	56	84	69	28	3	42	15	625
30	104	56	84	69	28	3	42	20	850
31	105	56	84	69	28	3	56	5	53
32	103	57	84	69	28	3	56	7.5	180
33	103	54	84	69	28	3	56	10	400
34	104	55	84	69	28	3	56	12.5	510
35	104	55	84	69	28	3	56	15	730
36	104	55	84	69	28	3	56	20	930
37	33	12	30	33	67	0	0	0	101.76
38	33	12	30	33	67	0	0	0	28.09
39	64	28	40	33	67	0	7	5	150
40	56	24	60	33	67	0	7	5	100
41	64	28	40	33	67	0	28	5	170
42	56	24	60	33	67	0	28	5	150
43	54	12	40	33	67	0	7	10	220
44	60	23	60	33	67	0	7	10	100
45	54	12	40	33	67	0	28	10	500
46	60	23	60	33	67	0	28	10	230
47	44	20.22	36.8	43	43.92	13.08	0	0	200
48	46	19	36.8	43	43.92	13.08	0	1.5	230
49	47	17.5	36.8	43	43.92	13.08	0	3	240
50	48	16	36.8	43	43.92	13.08	0	6	330
51	48	14.5	36.8	43	43.92	13.08	0	9	350
52	47	14	36.8	43	43.92	13.08	0	12	380
53	44	20.22	36.8	43	43.92	13.08	1	0	210
54	46	19	36.8	43	43.92	13.08	1	1.5	300
55	47	17.5	36.8	43	43.92	13.08	1	3	350
56	48	16	36.8	43	43.92	13.08	1	6	510
57	48	14.5	36.8	43	43.92	13.08	1	9	780
58	47	14	36.8	43	43.92	13.08	1	12	900
59	44	20.22	36.8	43	43.92	13.08	3	0	215
60	46	19	36.8	43	43.92	13.08	3	1.5	360
61	47	17.5	36.8	43	43.92	13.08	3	3	380

62	48	16	36.8	43	43.92	13.08	3	6	695
63	48	14.5	36.8	43	43.92	13.08	3	9	920
64	44	20.22	36.8	43	43.92	13.08	7	0	218
65	46	19	36.8	43	43.92	13.08	7	1.5	360
66	47	17.5	36.8	43	43.92	13.08	7	3	400
67	48	16	36.8	43	43.92	13.08	7	6	700
68	48	14.5	36.8	43	43.92	13.08	7	9	950
69	44	20.22	36.8	43	43.92	13.08	14	0	219
70	46	19	36.8	43	43.92	13.08	14	1.5	380
71	47	17.5	36.8	43	43.92	13.08	14	3	430
72	48	16	36.8	43	43.92	13.08	14	6	710
73	48	14.5	36.8	43	43.92	13.08	14	9	990
74	44	20.22	36.8	43	43.92	13.08	28	0	220
75	46	19	36.8	43	43.92	13.08	28	1.5	390
76	47	17.5	36.8	43	43.92	13.08	28	3	450
77	48	16	36.8	43	43.92	13.08	28	6	715
78	87	52	70	68	22	10	7	0	20
79	119	65	120	68	22	10	7	5	30
80	131	60	120	68	22	10	7	10	80
81	128	50	120	68	22	10	7	20	140
82	129	47	120	68	22	10	7	30	240
83	124	39	120	68	22	10	7	40	360
84	120	35	120	68	22	10	7	50	475
85	87	52	70	68	22	10	28	0	25
86	118	54	120	68	22	10	28	5	60
87	124	53	120	68	22	10	28	10	160
88	117	42	120	68	22	10	28	20	280
89	114	38	120	68	22	10	28	30	440
90	116	30	120	68	22	10	28	40	720
91	115	31	120	68	22	10	28	50	760
92	35	8	19	12	85	3	0	0	132
93	34	6.5	19	12	85	3	7	5	400
94	33.5	5.5	19	12	85	3	7	7.5	420
95	31	3	19	12	85	3	7	10	500

96	35	9	19	12	85	3	7	12.5	480
97	38	9	19	12	85	3	7	15	380
98	34	11.2	17.45	63	11	26	7	0	45
99	45	16	17.45	63	11	26	7	10	300
100	34	11.2	17.45	63	11	26	28	0	45
101	45	16	17.45	63	11	26	28	10	410
102	53	13	59	33	63.3	3.7	7	8	90
103	53	13	59	33	63.3	3.7	7	12	175
104	53	13	59	33	63.3	3.7	7	15	215
105	53	13	59	33	63.3	3.7	7	18	415
106	61	20	59	33	63.3	3.7	28	8	225
107	61	20	59	33	63.3	3.7	28	12	500
108	61	20	59	33	63.3	3.7	28	15	690
109	91	58	27	36	33	31	0	0	98
110	91	58	27	36	33	31	0	2	98
111	90	57	27	36	33	31	0	4	107
112	86	50	27	36	33	31	0	6	121
113	83	45	27	36	33	31	0	8	148
114	76	37	27	36	33	31	0	10	157
115	91	58	27	36	33	31	7	2	182
116	90	57	27	36	33	31	7	4	296
117	86	50	27	36	33	31	7	6	417
118	83	45	27	36	33	31	7	8	487
119	76	37	27	36	33	31	7	10	541
120	91	58	27	36	33	31	28	2	249
121	90	57	27	36	33	31	28	4	379
122	86	50	27	36	33	31	28	6	501
123	83	45	27	36	33	31	28	8	582
124	76	37	27	36	33	31	28	10	697
125	47	22	62	63	29	8	0	0	41
126	100	50	83	63	29	8	28	7.5	291
127	101	46	83	63	29	8	28	10	179
128	103	43	83	63	29	8	28	15	106
129	93	43	83	63	29	8	84	7.5	405

130	101	36	83	63	29	8	84	10	267
131	98	38	83	63	29	8	84	15	172
132	23	6	12.5	27	63	10	7	0	130
133	23	6	17	27	63	10	7	0	130
134	23	6	20	27	63	10	7	0	130
135	33	7	20	27	63	10	7	3	325
136	34	6	20	27	63	10	7	6	950
137	33	7	20	27	63	10	28	3	340
138	34	6	20	27	63	10	28	6	900
139	33	7	20	27	63	10	60	3	420
140	37	17	12	16	55	29	0	0	21
141	42	19	12	16	55	29	7	1	38
142	46	20	12	16	55	29	7	2	70
143	47	19	12	16	55	29	7	4	140
144	48	19	12	16	55	29	7	7	420
145	42	19	12	16	55	29	14	1	41
146	46	20	12	16	55	29	14	2	90
147	47	19	12	16	55	29	14	4	190
148	48	19	12	16	55	29	14	7	490
149	42	19	12	16	55	29	28	1	51
150	46	20	12	16	55	29	28	2	88
151	47	19	12	16	55	29	28	4	200
152	48	19	12	16	55	29	28	7	560
153	42	19	12	16	55	29	60	1	50
154	46	20	12	16	55	29	60	2	90
155	47	19	12	16	55	29	60	4	170
156	48	19	12	16	55	29	60	7	570
157	42	19	12	16	55	29	90	1	50
158	46	20	12	16	55	29	90	2	90
159	47	19	12	16	55	29	90	4	190
160	48	19	12	16	55	29	90	7	600
161	90	58	30	37	58	5	0	0	5
162	66	29	30	37	58	5	7	2.5	9
163	65	27	30	37	58	5	7	5	37

164	66	18	30	37	58	5	7	10	137
165	64	30	30	37	58	5	7	2.5	9
166	67	31	30	37	58	5	7	5	33
167	65	22	30	37	58	5	7	10	142
168	66	29	30	37	58	5	28	2.5	9
169	65	27	30	37	58	5	28	5	50
170	66	18	30	37	58	5	28	10	200
171	64	30	30	37	58	5	28	2.5	9
172	67	31	30	37	58	5	28	5	40
173	65	22	30	37	58	5	28	10	165
174	66	29	30	37	58	5	56	2.5	10
175	65	27	30	37	58	5	56	5	60
176	66	18	30	37	58	5	56	10	230
177	64	30	30	37	58	5	56	2.5	9
178	67	31	30	37	58	5	56	5	41
179	65	22	30	37	58	5	56	10	175
180	66	29	30	37	58	5	90	2.5	11
181	65	27	30	37	58	5	90	5	61
182	66	18	30	37	58	5	90	10	211
183	64	30	30	37	58	5	90	2.5	9
184	67	31	30	37	58	5	90	5	42
185	65	22	30	37	58	5	90	10	187
186	70	46	25	42	40	18	0	0	8
187	53	26	25	42	40	18	7	2.5	19
188	55	26	25	42	40	18	7	5	61
189	57	20	25	42	40	18	7	10	350
190	55	26	25	42	40	18	7	5	13
191	61	24	25	42	40	18	7	10	120
192	53	26	25	42	40	18	28	2.5	15
193	55	26	25	42	40	18	28	5	75
194	57	20	25	42	40	18	28	10	405
195	55	26	25	42	40	18	28	5	15
196	61	24	25	42	40	18	28	10	138
197	53	26	25	42	40	18	56	2.5	15



198	55	26	25	42	40	18	56	5	75
199	57	20	25	42	40	18	56	10	485
200	55	26	25	42	40	18	56	5	16
201	61	24	25	42	40	18	56	10	155
202	53	26	25	42	40	18	90	2.5	18
203	55	26	25	42	40	18	90	5	80
204	57	20	25	42	40	18	90	10	489
205	55	26	25	42	40	18	90	5	19
206	61	24	25	42	40	18	90	10	218



# ÖZGEÇMİŞ

## Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ZAINAB RAZZAQ ABDULABBAS ALMAHMODI

Uyruğu : Iraklıyım

## Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans		2023
Lisans		2013
Lise		2009

## İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014- şimdiye kadar	Irak Sağlık Bakanlığı	inşaat mühendisi

Yabancı Dil : Arapça , İngilizce , Türkçe .

Yayımlar :

Hobiler : Spor ve okuma