

168681

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**YOL İNŞAATLARINDA SIKIŞTIRILMIŞ ZEMİNLERİN
KONTROL PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
İNCELENMESİ**

Emrah GEDÜK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 624.01.00

Sunuş Tarihi: 10/08/2005

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Selim ALTUN

Bornova-İZMİR

III

Sayın Emrah Gedük tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak sunulan “Yol İnşaatlarında Sıkıştırılmış Zeminlerin Kontrol Parametreleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi” adlı bu çalışma, “Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği’nin”ve Enstitü yönergesinin ilgili hükümleri dikkate alınarak,

Jüri Başkanı : Yrd. Doç. Dr. Selim ALTUN

Üye : Doç. Dr. H. Recep YILMAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gürkan ÖZDEN

tarafından değerlendirilmiş olup yapılan Tez Savunma Sınavında aday
oy birliği..... ile başarılı bulunmuştur.

ÖZET

YOL İNŞAATLARINDA SIKIŞTIRILMIŞ ZEMİNLERİN KONTROL PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

GEDÜK, Emrah

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Selim ALTUN

Ağustos 2005, 133 sayfa

Bu tez çalışmasında, yapay sinir ağları ve istatistiksel yöntemler kullanılarak, belirli bir bölgedeki kum konisi ve nükleer deneyler sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi verilerinin karşılaştırılması suretiyle deneylerin güvenilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmada ana hedef, yapay sinir ağları ve istatistiksel yöntemlerin zemin parametreleri üzerinde denenmesi ve en doğru sonucu veren deney yönteminin saptanmasıdır. Bu doğrultuda öncelikle ilgili deneyler anlatılmış, sonra da yapay sinir ağları ve istatistiksel yöntemlere ait analiz sonuçları araştırılmıştır

Son bölümde ise arazi çalışması sonucunda elde edilen veriler, bilgisayar ortamına aktararak, yapay sinir ağları ve istatistiksel yöntemlerin karşılaştırması yapılmış ve elde edilen sonuçlar ile hangi yöntemin daha kararlı neticeler verdiği açıklanarak, ileriki çalışmalarda kullanacak olan araştırmacılara yarar sağlayacağı düşünülmüştür.

Anahtar sözcükler: Zemin iyileştirme yöntemleri, Kompaksiyon, Kum konisi deneyi, Nükleer deney, Yapay sinir ağları, İstatistiksel yöntemler.

ABSTRACT
INVESTIGATION OF COMPACTED SOIL CONTROL
PARAMETERS IN HIGHWAY CONSTRUCTIONS

GEDÜK, Emrah

MSc. in Civil Engineering

Supervisor: Ass. Prof. Selim ALTUN

August 2005, 133 pages

In this thesis, a comparison of field tests results was taken up for the reliability of sand cone test and nuclear gauge test was researched using artificial neural networks and statistic methods.

The main target of this project was to test dry unit weight, water content and compression index parameters and find out the more appropriate solution via artificial neural networks and statistic methods. For this goal, first related tests were described, and then explanatory information about artificial neural networks and statistic methods were presented to the reader.

In the last part of the study, data taken from field tests were transferred to the computer, comparison of the artificial neural networks and statistic methods were made; with the stability of results steadiest method was found out and represented to researchers for their future investigations.

Keywords: Field improvement methods, Compaction tests, Sand cone test, Nuclear gauge test, Artificial neural networks, Statistical methods

TEŞEKKÜR

Çalışmalarındaki katkılarından dolayı başta, Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Ana Bilim Dalı üyesi, danışmanım, Sayın Yrd. Doç. Dr. Selim Altun'a, yardımcı danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. A. Burak Göktepe'ye ve tezin biçimlenmesinde değerli yardımlarını aldığım bölüm elemanı Sayın Araş.Gör. Alper Sezer'e saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında desteklerini gördüğüm tüm arkadaşlarıma ve her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
TEŞEKKÜR.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIII
TABLolar DİZİNİ	XVI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XVIII
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. YOL MÜHENDİSLİĞİNDE ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ	11
3.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri.....	11
3.1.1. Kompaksiyon ile Zemin İyileştirmesi.....	12
3.1.2.Konsolidasyon yardımı ile Zemin İyileştirilmesi.....	18

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.1.3. Stabilizasyon ile Zemin İyileştirmesi.....	20
3.1.4. Drenaj ile Zemin İyileştirmesi	21
3.2. İyileştirilmiş Zeminin Parametrelerinin Kontrolü	23
3.2.1. Laboratuarda kompaksiyon deneyi ve arazide gerçekleştirilen kompaksiyonun kontrolü	23
3.2.2. Kum Konisi Deneyi	27
3.2.3. Nükleer Nem-Yoğunluk Deneyi.....	29
4. İSTATİSTİKSEL HİPOTEZLER, DAĞILIMLAR VE TESTLER.....	31
4.1. Giriş.....	31
4.2. İstatistiğin Mühendislikteki Önemi.....	32
4.3. İstatistiksel Parametreler	33
4.3.1. Merkezi Eğilim Ölçütleri	34
4.3.2. Yayılma Ölçütleri.....	34
4.3.3. Çarpıklık Ölçütleri	34
4.4. İstatistiksel Hipotezlere Giriş.....	35
4.4.1. Hipotez Testleri.....	37

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.5. T Testi	38
4.6. Varyans Analizi.....	39
4.7. Ki-Kare Testi.....	40
4.8. Anderson Darling Testi	42
5. DENEYSEL VERİLER VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ	43
5.1. İstatistiksel Parametrelerin Değerlendirilmesi	43
5.2.T Testi Analizi.....	51
5.3. Varyans Analizi.....	54
5.4. Ki-Kare Testi Analizi.....	56
5.5. Anderson-Darling Testi Analizi.....	57
5.6. Parametreler Arası Saçılma Analizi	64
6. REGRESYON İLE MODELİN OLUŞTURULMASI	72
6.1. Regresyon Analizi	72
6.2. Korelasyon Analizi.....	74

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

6.3. Parametreler Arasındaki Doğrusal Olmayan İlişkinin Araştırılması	79
6.4. Parametreler Arasındaki Doğrusal Olmayan İlişkinin Değerlendirilmesi.....	87
7. YAPAY SİNİR AĞLARI	90
7.1. Yapay Sinir Ağlarına Giriş	90
7.2. Biyolojik Sinir Ağı Hücresi	91
7.3. Yapay Sinir Ağı Hücresi.....	94
7.4. Aktivasyon Fonksiyonları.....	96
7.4.1. Eşik Aktivasyon Fonksiyonu	98
7.4.2. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu.....	98
7.4.3. Logaritma - Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu.....	99
7.5. Yapay Sinir Ağı Modelleri.....	100
7.5.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları	100
7.5.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	101
7.6. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi.....	102
7.7. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları.....	102

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

7.7.1.Geri Yayınım Öğrenme Algoritması.....	104
8. DENEY SONUÇLARI KULLANILARAK SİNİR AĞI MODELİNİN OLUŞTURULMASI	106
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	117
KAYNAKLAR	120
EKLER.....	128
Ek 1 Kum Konisi ve Nükleer Deney Sonuçları	129
Ek 2 YSA Ağırlık Matrisinin Gösterimi	132
ÖZGEÇMİŞ	133

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Demir Bandajlı Silindir.....	14
Şekil 3.2. Keçi ayaklı Silindir	15
Şekil 3.3. Pnömatik Silindir	16
Şekil 3.4. Kuru birim hacim ağırlık – Su muhtevası ilişkisi.....	18
Şekil 3.5. Sürşarj dolgu ile önyükleme örneği.....	20
Şekil 3.6. Menfez yerleşimi	23
Şekil 3.7. Yoğunluk – Birim hacim ağırlık düzeneği	29
Şekil 4.1. Tek yönlü ve çift yönlü kuyruk testleri.....	36
Şekil 5.1. Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin normal dağılım grafiği	45
Şekil 5.2. Nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin normal dağılım grafiği	47
Şekil 5.3. Kum konisi deneyine ait su muhtevası değerlerinin normal dağılım grafiği.....	48

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

Şekil 5.4. Nükleer deneye ait su muhtevası değerlerinin normal dağılım grafiği..... 49

Şekil 5.5. Kum konisi deneyine ait sıkışma yüzdesi değerlerinin normal dağılım grafiği..... 50

Şekil 5.6. Nükleer deneye ait sıkışma yüzdesi değerlerinin normal dağılım grafiği..... 51

Şekil 5.7. Kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesideğerlerine ilişkin uygunluk testleri

a)Weibull Dağılımı

b)Lognormal Dağılım

c)Exponential Dağılım

d) Loglojistik Dağılım

e)3 Parametre Weibull Dağılımı

f)3 Parametre Lognormal Dağılım

g)2 Parametre Üssel Dağılım

h)3 Parametre Loglojistik Dağılım

i)En Küçük Ekstrem Değerler Dağılımı

j)Normal Dağılım

k)LojistikDağılım..... 59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

Şekil 5.8. $\gamma_k - w_k - S_k$ değişiminin üç boyutlu saçılma ve kontur diyagramı üzerinde gösterimi65

Şekil 5.9. $\gamma_n - w_n - S_n$ değişiminin üç boyutlu saçılma ve kontur diyagramı üzerinde gösterimi66

Şekil 5.10. $w_n - \gamma_n - \gamma_k$ değişiminin üç boyutlu saçılma ve kontur diyagramı üzerinde gösterimi67

Şekil 5.11. $w_n - \gamma_n - S_k$ değişiminin üç boyutlu saçılma ve kontur diyagramı üzerinde gösterimi68

Şekil 5.12. Kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin dağılım grafiği69

Şekil 5.13. Kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen su muhtevası değerlerinin dağılım grafiği70

Şekil 5.14. Kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen sıkışma yüzdesi değerlerinin dağılım grafiği71

Şekil 7.1. Biyolojik sinir hücresi.....92

Şekil 7.2. Sinir sisteminde bilgi akışı.....93

Şekil 7.3. Yapay sinir ağı hücresinin fonksiyonel gösterimi96

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.4. Temel yapay sinir ağı hücresinin şematik gösterimi.....	97
Şekil 7.5. Eşik aktivasyon fonksiyonu	98
Şekil 7.6. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....	99
Şekil 7.7. Lojistik Sigmoid aktivasyon fonksiyonu	99
Şekil 7.8. İleri beslemeli yapay sinir ağı yapısı	101
Şekil 7.9. Geri beslemeli yapay sinir ağı yapısı	101
Şekil 7.10. İleri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağı	105
Şekil 8.1 Eğitim süreci içinde 10 gizli tabaka için MSE'nin değerleri	108
Şekil 8.2 YSA modeli sonucu ile kum konisi deneyi sonunda elde edilen γ_k değerlerinin karşılaştırılması	109
Şekil 8.3 Eğitim süreci içinde 30 gizli tabaka için MSE'nin değerleri	110
Şekil 8.4 YSA modeli sonucu ile kum konisi deneyi sonunda elde edilen γ_k değerlerinin karşılaştırılması.....	111
Şekil 8.5 Eğitim süreci içinde 50 gizli tabaka için MSE'nin değerleri	112

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Şekil

Sayfa

Şekil 8.6 YSA modeli sonucu ile kum konisi deneyi sonunda elde edilen γ_k değerlerinin karşılaştırılması.....113

Şekil 8.7 Eğitme süreci içinde 70 gizli tabaka için MSE'nin değerleri114

Şekil 8.8 YSA modeli sonucu ile kum konisi deneyi sonunda elde edilen γ_k değerlerinin karşılaştırılması.....115

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1. Zemin Türüne Göre Silindir Seçimi	17
Tablo 5.1. Kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi verilerinin değerlendirilmesi	43
Tablo 5.2. Kum konisi deneyine ait verilerin t testi değerleri	52
Tablo 5.3. Nükleer deneye ait verilerin t testi değerleri	52
Tablo 5.4. γ_k - γ_n değerlerine ait eşleştirilmiş t testi sonuçları.....	53
Tablo 5.5. w_k - w_n değerlerine ait eşleştirilmiş t testi sonuçları	53
Tablo 5.6. S_k - S_n değerlerine ait eşleştirilmiş t testi sonuçları	54
Tablo 5.7. γ_k ve γ_n değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	55
Tablo 5.8. w_k ve w_n değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	55
Tablo 5.9. S_k ve S_n değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	56
Tablo 5.10. Kum konisi ve nükleer deney verilerine ait χ^2 değerleri	56

TABLOLAR DİZİNİ(devam)

Tablo

Sayfa

Tablo 5.11. Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin uygunluk test sonuçları59

Tablo 5.12. Nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin uygunluk test sonuçları60

Tablo 5.13. Kum konisi deneyine ait su muhtevası değerlerinin uygunluk test sonuçları61

Tablo 5.14. Nükleer deneye ait su muhtevası değerlerinin uygunluk test sonuçları.....62

Tablo 5.15. Kum konisi deneyine ait sıkışma yüzdesi değerlerinin uygunluk test sonuçları63

Tablo 5.16. Nükleer deneye ait sıkışma yüzdesi değerlerinin uygunluk test sonuçları64

Tablo 6.1. Regresyon Modelinin Şematik Gösterimi74

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a, b, c, d	Regresyon katsayıları
b_i	Sınır değerleri
C_s	Çarpıklık katsayısı
D_r	Rölatif sıklık
e_i	Beklenen frekans
f	Aktivasyon fonksiyonu
F	Fisher değeri
H_0	Farksızlık hipotezi
IRI	Uluslar arası pürüzlülük indeksi
K_0	Yanal toprak basıncı katsayısı
M	Sınıf aralığı
MSE	Ortalama karesel hata

SİMGELER VE KISALTMALAR (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
n	Örnekteki eleman sayısı
o_i	Gözlenen frekans
$o(k)$	Sinir ağının çıkışı
OCR	Aşırı konsolidasyon oranı
PCI	Üstyapı durum indeksi
r	Korelasyon katsayısı
R^2	Determinasyon katsayısı
t_j	Sınır değerleri
X	Bağımsız değişken
$y(k)$	Elde edilmek istenen çıkış
Y	Bağımlı değişken
YSA	Yapay sinir ağı

SİMGELER VE KISALTMALAR (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
w	Su muhtevası
w_{opt}	Optimum su muhtevası
w_i	Ağırlık faktörleri
α	Önem katsayısı
β	Eğim Sabiti
γ_n	Doğal birim hacim ağırlığı
γ_k	Kuru birim hacim ağırlığı
γ_{kk}	Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık
γ_{kn}	Nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık
γ_{kmax}	Maksimum kuru birim hacim ağırlığı
χ^2	Ki-Kare istatistiği
Δ	Gecikme süresi

SİMGELER VE KISALTMALAR (devam)SimgelerAçıklama σ

Standart sapma



1. GİRİŞ

Yol enkesiti esas olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, yolun trafik yüklerini taşıyan gerilmeleri dağıtan ve yolun taban yüzeyi üzerine yerleştirilen üstyapı sistemi; ikincisi ise, yol üstyapısının altında yer alan ve üstyapıdan gelen yükleri temel zeminine aktaran altyapı sistemidir.

Yol üstyapısını esnek ve rijit üstyapılar olarak iki ana gruba ayırmak mümkündür. Üstyapı tabakası genel olarak kaplama tabakası, temel ve alt temel tabakaları olmak üzere üç kısımdan oluşur.

Kaplama tabakası, üstyapının trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek elastisite modülüne sahiptir. Kaplama tabakasının kalınlığı arttıkça yolun trafik yüklerine karşı direnci de artar. Temel tabakasına iletilen basınç ve kayma gerilmeleri azalır.

Kaplama tabakasının altında üstyapının oturduğu doğal zemini, yani taban zeminini koruyan temel tabakası bulunur. Temel tabakası bir veya birden fazla tabakadan oluşabilir. Temel tabakasının görevi, taşıtların geçişlerinden dolayı gerilmeleri taban zemininin taşıma gücü sınırları içerisinde yaymak olup, drenaj özelliği de mevcuttur. Temel tabakası duruma göre çimentolu veya bitüm bağlayıcıli karışım ile stabilize edilerek tasarlanabilir.

Temel tabakasının altında, alt temel tabakası yer almaktadır. Alt temel tabakasının görevi, bitümlü tabakaların inşası için uygun bir ortam hazırlamakla birlikte, yolu su ve donun yol açabileceği zararlı etmenlere karşı korumaktır.

Üstyapının önemli bir kısmını oluşturan temel ve alt temel tabakalarının en önemli görevleri, etkisi altında kaldığı trafik yüklerini ve

taşıtların oluşturduğu tekerlek yüklerini, tabanın taşıma kapasitesini aşmayacak şekilde yaymak ve oluşabilecek ani dinamik etkiyi ortadan kaldırmaktır. Buna göre, temel ve alt temel tabakalarının taşınması gereken başlıca şartlar:

- Yeterli mukavemete sahip olması,
- Oluşabilecek deformasyonların minimum seviyede gerçekleşmesi,
- Su ve don gibi mevsimsel değişikliklerle meydana gelebilecek zararlı etkilere karşı yeterince dirençli olması

şeklinde sıralanabilir.

Yol mühendisliğinde temel ve alt temel tabakalarının sıkıştırılmasının, üstyapıda ileride meydana gelebilecek olumsuz etkilere karşı alınabilecek en önemli unsurlardan biri olduğu söylenebilir. Zeminin öngörülen koşullar altında sıkıştırma işlemi gerçekleştirildikten sonra, inşaat için gerekli ortam hazır hale getirilmiş olur. Zeminin sıkıştırılmasında incelenen en önemli iki parametre olan kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası değerleri, yapılan arazi de laboratuvar deneyleri sonucunda tasarım aşamasında belirlenen değerlere eriştiğinde, zemin yol inşasına uygun konuma getirilmiş olur.

Laboratuvarda ve arazide, zeminin sıkıştırılarak stabilize edilmesi amacı ile yapılan deneyler sonucunda, temel ve alt temel tabakalarına ait kuru birim hacim ağırlık, boşluk oranı, rölatif sıklık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi gibi zemin parametreleri ölçülmektedir. Farklı bir ifadeyle, zemin parametrelerindeki istenilen değişim ile birlikte, mukavemet artışı sağlanmış olur, aynı zamanda deformasyonlarda da azalma görülecektir.

Zeminin sıklığının kontrol edilmesi amacıyla, laboratuvarda yapılan başlıca deneyler standart ve modifiye Proktor deneyleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Belirli kompaksiyon enerjileri dahilinde uygulanan bu deneyler sonucunda, sıklık kontrol parametreleri olan su muhtevası ve kuru

birim hacim ağırlık değerleri elde edilmektedir. Arazide yapılan sıkılık deneyleri ise kum konisi deneyi ve nükleer nem – yoğunluk deneyi olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Arazi ve laboratuvarında gerçekleştirilen bu deneylerin asıl amacı, sıkılık kontrol parametreleri olan kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevasının hesaplanarak tasarım için uygun koşulların hazırlanmasıdır.

Yapılan çalışmada, üç farklı bölgeye ait, arazi deneyleri sonuçları kullanılarak zemin sıkıştırma çalışmaları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Sıkıştırma parametrelerini kontrol etmek amacıyla arazide kullanılan deneylerden nükleer deney ve kum konisi deneyleri sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi parametrelerinin değişimleri incelenmiş, arazi üzerinde aynı noktalarda birlikte yapılan deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylece nükleer deneyin hızlı yapılabilme avantajına karşın, kum konisi yöntemi ile bulunan değerlere ne ölçüde yakınsadığı, çalışma kapsamında çeşitli yöntemlerle araştırılmıştır. Aynı zamanda, kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi parametreleri kullanılarak doğrusal olmayan eşitlikler geliştirilmiş, böylelikle sonraki çalışmalara bir referans teşkil edecek sonuçlar elde edilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yol inşaatlarında kullanılan zeminlerin mühendislik açısından uygun koşulları yerine getirmesi amacıyla laboratuarda ve arazide yapılan çalışma ve incelemeler ile birlikte geçmişte yapılan teorik çalışmalarla da uygun zeminlerin seçimi ve özelliklerinin belirlenmesi konusunda gelişmeler sağlanmıştır. Özellikle yol zeminlerinin önceden öngörülen özelliklerinin arazide ne ölçüde gerçekleştirildiği konusunda yapılan çalışmalar arazide yürütülen belirli deneylerin sonuçlarının genellikle bağımsız olarak kullanılması kapsamında yapılmaktadır. Bu deneysel yöntemlerin güvenilirliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Özellikle bu çalışmada da kullanılan yapay sinir ağları ve regresyon analizi metodlarının inşaat mühendisliğinde kullanımı geçmişte çeşitli araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmalarla ele alınmıştır.

Shahin ve Becker (1984), üstyapı performans tahmin modeli geliştirmek için bir havaalanında elde edilen verileri kullanmışlardır. Üstyapı Durum İndeksi (Pavement Condition Index-PCI) adında bir parametre geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model hem esnek hem de rijit üstyapılar için kullanılabilir. Bu modeli, diğer modellerle karşılaştırarak, daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Colucci ve Sinha (1985), ağ düzeyinde yeniden kaplama önceliklerini belirlemek için bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Modelde farklı tip yeniden kaplama çalışmaları uygulamışlardır. Üstyapı pürüzlülüğündeki azalma için yeniden kaplama stratejileri ile ilişkili bir performans modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca, gelecekteki düzgünsüzlük tahmini için bir regresyon modeli uygulanmıştır. Geliştirdikleri model, farklı maliyet senaryolarının etkisini ele alabilmektedir. Bu model, gelecek 5 yıllık periyotta optimal yeniden kaplama programını elde edebilmek için üstyapı kesimi ve yeniden yüzeylendirme stratejisinin ne olacağını tahmin edebilir.

Ayrıca çalışmalarında, optimizasyon modelinin örnek uygulamasını bir ağ üzerinde denemişlerdir.

Fwa ve Chan (1993), karayolu üstyapı bakım gereksinimlerinin önceliklerinin belirlenmesi için yapay sinir ağları yönteminin kullanmışlardır. Test sonuçları, yapay sinir ağlarının, öncelik belirlemesi için karayolu yapımcı kuruluşları tarafından kullanabileceğini göstermiştir.

Argawal vd.(1994), yapay sinir ağları ile, istatistiksel yöntemlerde olduğu gibi örnek veriler yardımıyla fonksiyonların tahmin edilebileceğini göstermişlerdir. Yöntemle arasındaki en büyük farkın; istatistiksel yaklaşımların çıkış değerlerindeki fonksiyonel bağıllık olduğunu gösterip; diğer taraftan yapay sinir ağlarının fiziksel yada matematiksel bir modelle bağlanma gereksinimi duymadıklarını ifade etmişlerdir. Yaptıkları bu çalışmayla, ayrıca modelleme ve tahmin gibi çeşitli görevleri yerine getirebilen bir yapay sinir ağının eğitilmesinde, karşılaştırmalı kolaylık sağlamışlardır.

Ellis vd.(1995), değişen tane dağılımları ile gerilme geçmişleri için, kumların gerilme-şekil değiştirme özelliklerinin belirlenmesinde yapay sinir ağları ile bir model geliştirmişlerdir. Yapay sinir ağının eğitimi için, sekiz farklı kum numunesine ait drenajsız üç eksenli basınç deneyine ait verileri kullanmışlardır. Ayrıca yükün boşaltılıp tekrarlanması yapay sinir ağının davranışını da incelemişlerdir. Sonuçta zemin modellerine dayalı yapay sinir ağlarının, geniş veritabanı ile düzgün eğitime ve öğrenme algoritmalarıyla geliştirilebileceği ve yapılacak çalışmalarda çok faydalı olacağı sonucuna varmışlardır.

Zeminde, bazı geoteknik mühendisliği özelliklerinin kompaksiyon karakteristikleri ile ilişkilendirilmesinde birçok regresyon modeli geliştirilmiştir. Basheer ve Najjar (1995), optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığın tahmini için yapay sinir ağlarına

dayalı, regresyon modeline alternatif bir yaklaşım modeli geliştirmişlerdir. Çalışmada, optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinin belirlenmesinde, zemine ait kıvam limitleri ve birim hacim ağırlık değerlerinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmini öngörülmüştür. Kurmuş oldukları yapay sinir ağı modeli ile oluşturulan tahminleri, deneysel değerler ve geçmişte oluşturulan farklı regresyon eşitlikleri sonucu elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçta regresyon modelleri ile karşılaştırılan yapay sinir ağı değerlerinin, onlardan daha kararlı neticeler verdiği gözlenmiştir. Ayrıca araştırmalarında, geliştirilen yapay sinir ağı modellerinin tahmin yeteneklerinin, geçmişte kullanılan regresyon metotlarına olan avantajlarına da değinilmiştir.

Zhu vd (1998), yapmış oldukları çalışmada, yinelemeli bir yapay sinir ağı modeli geliştirerek, iyi derecelendirilmiş artık (rezidüel) zeminler ve kumların kesme davranışını tahmini ve simülasyonu üzerine bir araştırma yapmışlardır. Hawaii volkanik artık zemini için, drenajsız şekil değiştirme kontrollü deneyler ile drenajlı gerilme kontrollü deneylere ait verilen eğitimi aşamasında, geliştirilen ağ modeli, artık zeminde kesme davranışının değişkenliğini ele almaktadır. Sonuçta, deneyler sonunda elde edilen veriler ile modelleme sonuçları arasında, gerilme-şekil değiştirme davranışı ve hacimsel değişim karakteristikleri bakımından mükemmel bir uyum elde edilmiştir. Geleneksel modelle karşılaştırıldığında, yinelenen yapay sinir ağı modelinin geçerliliğinin fazla ve daha az çaba gerektirdiği görülmüştür.

Owusu-Ababio (1998), üstyapı çatlak tahmini için yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Çatlak alanı tahmini için, üstyapı yaşı, yüzey kalınlığı ve eşdeğer dingil yükü sayısını girdi olarak kullanmıştır. Ayrıca bir, iki ve üç gizli katmanlı yapay sinir ağı modeli kullanmıştır. En iyi modelin tek gizli katmanlı model olduğunu belirlemiştir.

Penumadu ve Zhao (1999), geri beslemeli yapay sinir ağlarını kullanarak, kum ve çakılların drenajlı üç eksenli basınç deneyi koşullarında,

zeminin gerilme-şekil değiştirme ve hacim değişmesini modellemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada, üç zemin modelinin eğitilmesinde, test edilmesinde ve tahmin safhalarında geniş bir veritabanı kullanmışlardır. Çalışmada ayrıca gizli katmanların sayısı, geri besleme sırasında şekil değiştirmenin büyüklüğü ve fazla eğitimden kaynaklanan hatalar incelenmiştir. Bu modeller mineroloji, çakıl şekli, dane dağılımı ve boşluk oranının etkileri için ele alınmaktadır. İncelenen davranışlardan, doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, düşük gerilme düzeyinde basınçlı hacim değişimi ve yüksek gerilme düzeyinde ise hacimsel genişleme, kurulan modellerde ele alınmıştır.

Attoh-Okine (1999), esnek üstyapı performansını tahmin etmek amacıyla eğitilen yapay sinir ağları algoritmalarında momentum terimi ve öğrenme oranının etkisini göstermek için, gerçek üstyapı durumu ve trafik verilerini kullanmıştır. Sonuçta, yapılan araştırma sonucunda, çok düşük bir öğrenme hızı ve momentum süresi elde edilmiş olup, bu değerlerle spesifik bir veri seti ve ağ mimarisi için, tatminkar sonuçlar elde edilemeyeceği saptanmıştır.

Türk vd (2001), yapmış oldukları çalışmada, öncelikle Slovenya'nın değişik bölgelerine ait 217 farklı kohezyonlu zemin numunesi için, yapay sinir ağlarını eğitmişlerdir. Daha sonra, elde edilen bulguları laboratuvar deneyleri sonucunda belirlenen değerler ile karşılaştırarak, yapay sinir ağı tahminleri arasında iyi bir uyum bulunduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışma zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışları ile temel zemin parametreleri arasındaki ilişkiyi doğrulamakla birlikte, zeminin sıklığına dair eksenel şekil değiştirme davranışının yapay sinir ağları ile modellenemediğini göstermektedir. Yapay sinir ağlarının tahmini ve ampirik formüllerin karşılaştırılması, yapay sinir ağlarıyla elde edilen sonuçların daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Gulen vd. (2001), geniş bir veri tabanı kullanarak, farklı üstyapılara sahip şehir içi ve şehirlerarası yollar için regresyon modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model pürüzlülük göstergesi olan IRI değerini üstyapı yaşına ve yıllık ortalama günlük trafik değerine bağlı olarak tahmin etmektedir. Genel olarak buldukları determinasyon katsayısı (R^2) 0,50 civarında olmuştur.

Sundin ve Braban-Ledoux (2001) üstyapı mühendisliği alanında, 1980'lerden itibaren geliştirilen yapay zeka esaslı uygulamalarını incelemiştir. Karşılaştıkları uygulamaların özellikle üstyapı yönetimi alanında yoğunluk gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bu uygulamaların da daha çok üstyapı gereksinimlerinin belirlenmesi ve bakım yönteminin seçilmesi konusunda olduğunu belirlemiştir. Kullanılan yapay zeka yöntemlerinin ise, uzman sistemler, yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritma ve melez sistemler olduğunu belirlemiştir.

Atttoh-Okine (2002), çalışmasında üstyapı performans modellemesinde yapay sinir ağları ve pürüzlülük uygulamalarını birleştiren bir model geliştirmiştir. Geliştirdiği modelde, düzgünsüzlük verilerini yapay sinir ağı modeli için girdi olarak kullanmıştır. Modelin örnek uygulaması için Kansas Ulaştırma Teşkilatından alınan gerçek veriler kullanılmıştır.

Juang vd. (2002), yapmış oldukları çalışmada, rölatif sıkılık (D_r), yanal toprak basıncı katsayısı (K_o) ve aşırı konsolidasyon oranı (OCR) gibi parametrelerin konik penetrasyon deney ölçümlerine dayanarak tahmin edilmesi üzerine kurulan bir yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Önerilen sistem, fonksiyon yakınlaştırması için, geri yayımlı yapay sinir ağlarını; sınıflandırma içinse, olasılık içerikli yapay sinir ağlarını kullanmaktadır. Stratejik olarak, iki sinir ağı modelinin birleştirilmesi ile, önerilen sistem konik penetrasyon deneyi ölçümleri ile elde edilen D_r , K_o ve OCR ve diğer parametreleri doğru bir biçimde tahmin edebilmektedir. Çalışmada ayrıca öngörülen sistemin gelişimine ait detaylar sunulmuş ve

halen kullanılan metotlar ile elde edilen sonuçların karşılaştırması yapılmıştır.

Chen vd. (2002), fonksiyon yakınlaştırması için yapay sinir ağlarında geri yayılma algoritması ve sınıflandırmada ise istatistiksel yöntemleri kullanarak, konik penetrasyon deneyi ile zemin parametrelerinden rölatif sıkılık, yanıl toprak basınç katsayısı ve aşırı konsolidasyon oranının tahminine yönelik bir sistem geliştirmiştir. Elde edilen bu ağların birleştirilmesiyle, kumlarda konik penetrasyon deneyi ile zemin parametrelerinin doğru bir biçimde tahmin edilebildiğini göstermiştir.

Yoon vd. (2004) yapmış oldukları çalışmada, Kore'nin kıyı kesimlerindeki deniz kilinin sıkışma indisinin belirlenmesinde, 1200'den fazla örselenmemiş numune üzerinde konsolidasyon deneyine ait zemin özelliklerine dayanan tekli ve çoklu regresyon modelleri geliştirmişler. Hem tek hem de çoklu zemin özelliklerinin tahmininde, bölgeye özel ampirik korelasyonlar geliştirilmiştir. Daha sonra, oluşturulan regresyon eşitliklerini, varolan ampirik eşitliklerle karşılaştırılmışlardır. Sonuçta basit lineer bir regresyon modelini içeren doğal su muhtevası, boşluk oranı ve likit limit ile tahmin edilen sıkışma indisi, uygun şekilde zeminin gerçek sıkışma indisini hesaplayabilmektedir.

Neaupane ve Achet (2004), yaptıkları çalışmada, Matlab tabanlı bir geri yayılmalı yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. İki temel geoteknik mühendisliği uygulaması olan toprak kayması ve tüneller çevresindeki toprak hareketi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda elde edilen veriler, sinir ağının eğitiminde ve test edilmesinde kullanılmış ve toprak hareketi, direkt fiziksel öneme sahip olan girdi değişkenlerinin yardımı ile tahmin edilmiştir. Sonuçta, çıkış hedeflerini etkileyen girdi değişkenleri açık bir şekilde tanıtıldığında ve uygun sayıda veri mevcutsa, geri yayılmalı yapay sinir ağı, geoteknik araştırmalarda belirleyici ve tahmin aracı olarak kullanılabilir.

Yıldırım ve ark.(2004), killi zeminlerin su emme kapasitesinin tahmin edilmesinde yapay sinir ağıları kullanmışlardır. Su emme deneylerinden elde edilen 168 ayrı veri seti kullanılarak yapay sinir ağıları modeli kurulmuş ve modelde geri yayılma algoritması kullanılmıştır. Test aşamasında elde edilen sonuçlara göre en küçük ortalama karesel hatayı ve maksimum determinasyon katsayısını veren model optimal yapay sinir ağı modeli olarak belirlenmiştir. Ayrıca kurulan modelin sonuçları ile laboratuvar deney sonuçları karşılaştırılmıştır.



3. YOL MÜHENDİSLİĞİNDE ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

3.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Yol mühendisliğinde, zeminlerin rijitliği, yolun üzerine oturduğu zeminin yada dolguda kullanılan zeminin mühendislik özelliklerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Başka bir ifadeyle; zeminler, yol mühendisliğinde temel niteliği taşıdığından dolayı, yol kaplamaları ve trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmelere karşı, emniyet sınırları da göz önünde tutularak, yeterli direnci sağlayabilmelidir. Bunun yanında, çevresel ve iklim koşullarından dolayı zeminlerde meydana gelebilecek taşıma gücü kayıpları (kabarma-büzülme, don kabarması, oturmalar gibi) yada ilave gerilmelerin oluşması, yollarda olumsuz etkiler bırakmamalıdır.

Yol mühendisliğinde, yol inşaatı sırasında yolun ömrü, bakım giderleri gibi masraflar; kullanılan malzemeler, kaplamanın dizaynı, yapım tekniği vb. durumlara bağlı olduğu kadar zeminin rijitliği ile de doğrudan ilgilidir. Yol inşaatı için uygun nitelikler taşımayan zeminler, gerekli zemin iyileştirmeleri yapılarak duraylı bir konuma getirilmelidir. Zemin iyileştirme işleminin uygulanabilmesi için ise; yol mühendislerinin, yol inşaatlarının projelendirilmesi ve uygulamasında, zemin iyileştirme ile ilgili konuları göz önünde bulundurmaları gerekir.

Zemin iyileştirme yöntemlerini dört ana başlık altında toplanabilir:

- Zeminlerin kompaksiyon yardımıyla iyileştirilmesi
- Zeminlerin konsolidasyon yardımıyla iyileştirilmesi
- Zeminlerin stabilizasyon ile iyileştirilmesi
- Zeminlerin drenaj ile iyileştirilmesi

Hem projelendirme hem de inşaat aşamasında zemin iyileştirme konularında gerekli özen gösterilmelidir. İlgili zeminlerin iyileştirmesi ile zeminlerin ömrü ve performansı artarken, gereken kaplama kalınlığı da azalacaktır.

3.1.1. Kompaksiyon ile Zemin İyileştirmesi

Zeminlerin sıkıştırılması sonucu yapılan iyileştirme işlemine kompaksiyon adı verilir. Zeminin içindeki hava boşluklarının azaltılarak yapılan sıkıştırma işlemi sonucunda zemin daha yoğun bir hale gelir ve bunun sonucunda da;

- Kalıcı deformasyonlara veya oturmalara karşı artan dayanım,
- Permeabilitede düşüş,
- Taşıma gücünde artış,
- Kayma mukavemetinde artış

sağlanabildiğinden zemin de iyileşmiş olacaktır (Tunç, 2001).

Kompaksiyon, zemin iyileştirme yöntemleri içerisinde en kolay, en ucuz ve en etkin biçimde uygulanabilir olanıdır. Kompaksiyon sonucunda zemin yoğunluğu artacağından, daneler arasındaki sürtünme kuvveti ve zeminin taşıma gücü artacak, ayrıca boşluklarının azalmasından dolayı zeminin permeabilitesi de azalacaktır. Dolayısıyla trafik yüklerinin yaratacağı deformasyonlara ve uzun süreli oturmalara karşı daha dirençli bir dolgu elde edileceğinden, yol kaplamasının performansı da artırılmış olacaktır. Bu nedenlerden dolayı, yol mühendisliğindeki yapılarda, zeminlerin kompaksiyon ile iyileştirilmesi çok önemli bir konudur.

Yol inşaatı sırasında, dolgu malzemesi yeterince sıkıştırılmazsa, yolda zamanla, kendi ağırlığı ve özellikle trafik yükleri etkisi altında kalarak, oturmalar meydana gelecektir. Bu oturmalar genellikle rastgele bir biçimde meydana gelmekle birlikte, oturmanın meydana geldiği bölgede yol

yüzeyinde çökmeler meydana gelmektedir. Ayrıca yüksek dolguların olduğu bölgelerde şev kaymaları meydana gelebilmektedir. Yol kaplaması ne kadar iyi yapılırsa yapılsın, oturmalar ve kaymalar sonucu kısa sürede deforme olarak kullanılamaz hale gelebilir. Bu durumlara karşı, yol mühendisliğinde zemin türüne uygun yöntemlerle sıkıştırmanın yapılması gerekir. Zeminin kompaksiyon yardımı ile iyileştirme işlemi, laboratuvarında sıklık kontrol parametrelerinin elde edilerek arazide uygulanması şeklinde gerçekleşmektedir.

Arazide kompaksiyon işleminin yapılabilmesi için çeşitli araçlara gereksinim duyulur. Arazide kompaksiyon enerjisini sağlayan kompaksiyon makineleri :

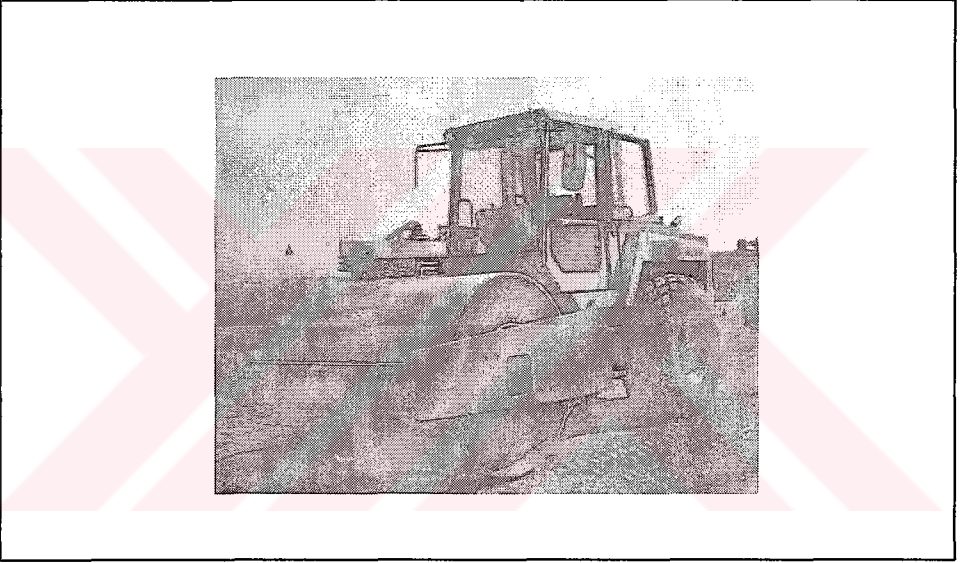
- Vibrasyonlu Silindirler
- Statik Silindirler

olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlar da kendi içlerinde beş grupta toplanır :

- Demir bandajlı
- Keçiyak
- Kütayak
- Pnömatik
- Kombine (Vibrasyonlu)

tipleri mevcut olup, değişik tür zeminlerde değişik silindirler kullanılmalıdır. Demir bandajlı silindirler; tek bandajlı, çift bandajlı ve 3 bandajlı olmak üzere üç tip olarak 1.5 tondan 18 tona kadar değişen ağırlığa sahiptirler. Şekil 3.1’de bir örneğinin görüldüğü, bu tip silindirler; granüler, kum – çakıl – kil karışımı zeminlerle ve kaya dolgularda en iyi sonucu verirler. Ayrıca keçi veya kütayak silindirlerin aksine, tabakaları yukarıdan aşağıya doğru sıkıştırdıklarından dolayı killi ve siltli zeminlerde çok iyi sonuç

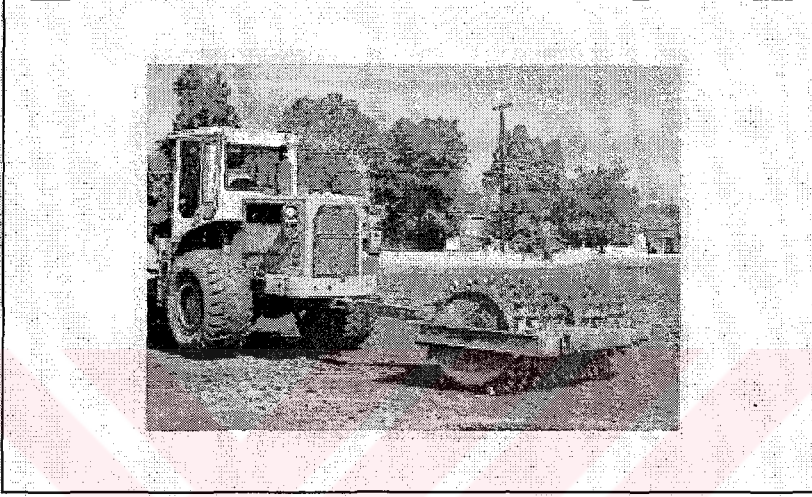
alınamamaktadır. Çünkü killi ve siltli zeminlerde yukarıdan aşağıya doğru sıkışan tabakanın üst kısmı kemerlenme etkisi yaparak tabakanın alt kısmının sıkışmasını engellemektedir. Granüler zeminlerde daneler arasında sıkı bir temas olduğundan dolayı, silindir basıncı bütün danelere efektif gerilme olarak iletilir. Fakat sıkışma her geçişte yukarıdan aşağıya doğru derinlikle artmaktadır (Tunç, 2001).



Şekil 3.1: Demir Bandajlı Silindir (McCarthy, 2002)

Keçiayak ve Kütayak türündeki silindirlerin tamburu üzerinde çıkıntılar (veya ayaklar) bulunmaktadır. Şekil 3.2’de örneği görülen keçi ayaklı en önemli özelliği, serilen tabakaları aşağıdan yukarıya doğru sıkıştırmalarıdır. Serilen gevşek zemin malzemesine sindirin ayakları batarak önce tabakanın altındaki malzemeyi sıkıştırır. Her geçişte malzemenin sıkışması artacağından batma miktarı da, gitgide azalarak tabaka kalınlığınca aşağıdan yukarıya doğru homojen bir sıkışma elde edilir. Killi zeminler için

keçi ayak ve siltli zeminler için küt ayak silindir daha uygundur (McCarthy,2002).



Şekil 3.2: Keçi ayaklı Silindir (McCarthy, 2002)

Şekil 3.3'te görülen pnömatik tipindeki silindirler, 2, 4, 5, 7, 9, 11 ve 13 lastikli olup 2 ve 4 tekerli olanlar hariç arka akstaki teker sayısı ön akstakinden bir fazladır. Çünkü ön lastikler arasında kalan zemin, arka taraftaki lastikler tarafından sıkıştırılır. Bu tip silindirler ile killi ve killi – kum zeminler için en iyi sıkışma elde edilmektedir. Granüler temel ve alt temel tabakalarının kompaksiyonunda pnömatik tip silindirler çok etkin olarak kullanılmaktadır. Bu tip silindirler, asfalt kaplamalarda mutlaka kullanılması gerekli iken, son yıllarda yüksek hız ve manevra yeteneklerinden dolayı zeminlerin kompaksiyonunda da sıkça kullanılmaktadır.



Şekil 3.3: Pnömatik Silindir (McCarthy, 2002)

Vibrasyonlu Silindirler ise, pnömatik silindirler hariç tüm silindirlere vibrasyon etkisi kazandırılarak yol inşaatlarının her aşamasındaki (dolgu, üstyapı vb.) kompaksiyon işlerinde daha etkin bir biçimde kullanılmaktadır (Sutton, 1993).

Zeminlerin arazide kompaksiyonunda, hangi tip silindirin kullanılacağı;

- Zeminin cinsi yol ve ekseni boyunca değişimi
- Sıkıştırma derecesi
- İşin büyüklüğü ve eldeki silindir tipleri ile kapasitesi

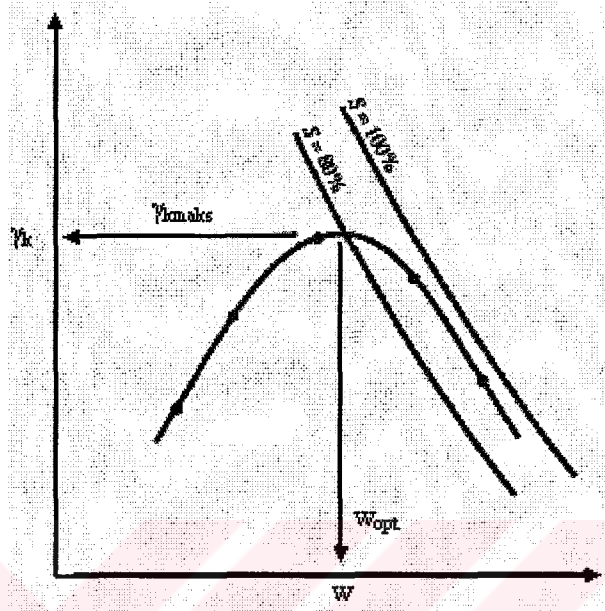
gibi şartlara bağlıdır. Tablo 3.1’de zeminlerin kompaksiyon karakteristikleri ve kullanılacak silindir tipleri gösterilmektedir.

Tablo 3.1: Zemin Türüne Göre Silindir Seçimi (Tunç, 2001)

Kullanım Yeri	Zemin Cinsi	Kullanılan Malzeme	Keçiyak Kütayak		Keçiyak Kütayak Vibrasyonlu		Demir Bandaj Vibrasyonlu		Pnömatik	
			Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır	Hafif	Ağır
Temel		Granüler(Temiz)					1	1	3	2
		Granüler(Kirli)			3	3	1	1		2
Dolgu	GW, SW SP SM, GM ML, MH GC, SC CH, CL	Kaya				2		1		
		Kum, Çakıl			2	2	1	1		
		Uniform Kum			2	2	1	1		
		Siltli Kum, Çakıl	3	3	1	1	2	2		
		Silt	1	1	2	2				1
		Killi kum, çakıl	2	2	2	2				1
		Kil	1	1		2				2

1:En iyi sonuç, 3:En az iyi sonuç

Laboratuvarda yapılan kompaksiyon deneyi sonucunda, zeminin kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevasına ilişkin veriler elde edilir. Kompaksiyon deneyi sonrasında elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlığına karşı gelen su muhtevasına, optimum su muhtevası adı verilir. Kompaksiyonun yapılacağı zemin, deneysel çalışma sonucunda bulunan optimum su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık değerlerine kadar sıkıştırılabiliyorsa, zeminin rijitliği de en ideal değerine erişecektir. Kuru birim ağırlık ve optimum su muhtevası ilişkisi, Şekil 3.4'de de görüldüğü gibi, artan su muhtevası ile kuru birim ağırlık maksimum değerine ulaşmakta ve daha sonra azalmaktadır. Bunun nedeni, deney öncesinde kuru bir yapıda olan zemin danelerinin, suyun etkisi ile sürtünmelerin azalması ve danelerin birbirleri üzerinden kayarak, zeminin daha sıkı bir yapıya dönüşmesinin sağlanmasıdır. Su muhtevası, optimum düzeyini geçtikten sonra, kuru birim ağırlık da azalacaktır. Çünkü, kuru birim hacim ağırlıktaki zemin boşlukları teorik olarak tamamen suyla doymun durumda iken, artan su miktarı zemin danelerini iterek su hacmini ve dolayısıyla toplam hacmi de artırmaktadır (Tekinsoy, 2002).



Şekil 3.4: Kuru birim ağırlık-Su muhtevası ilişkisi (Coduto, 1999)

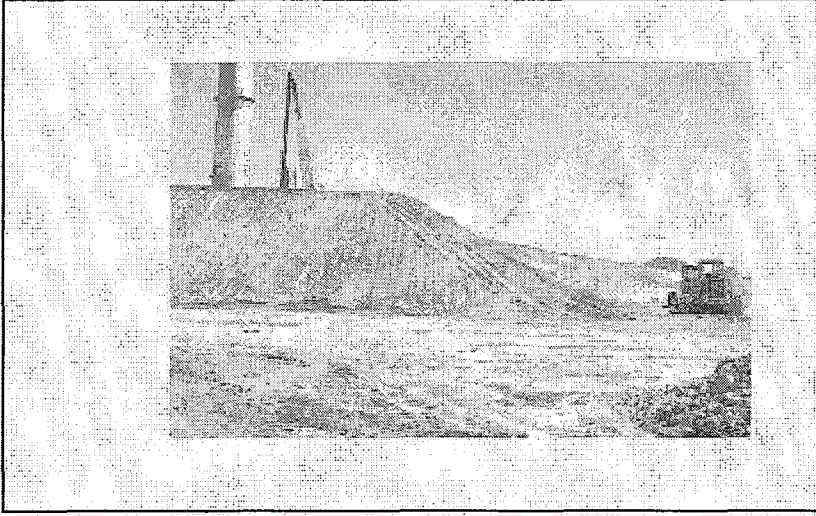
3.1.2. Konsolidasyon Yardımı ile Zemin İyileştirilmesi

Bir yol inşaatında zeminin etkisi altında kaldığı yükler sonucunda zeminde oturmalar meydana gelebilmektedir. Bu oturmalar, asıl olarak permeabilitesi düşük olan killi zeminlerde meydana gelmektedir. Dinamik ve statik yükler altında zeminin içindeki havanın ve aynı zamanda suyun dışarı atılması sonucu meydana gelen hacim değişikliklerine konsolidasyon adı verilir. Kompaksiyon ve konsolidasyon arasındaki en önemli fark, zeminde sıkışmaya, ortamdan uzaklaşan suyun sebep olmasıdır. Bunun yanında, kompaksiyon ile hacim değiştirmeler kısa sürede meydana gelirken, konsolidasyonun sonsuza kadar sürdüğü kabul edilmektedir. Bu durumun bir diğer nedeni de, ince daneli zemindeki gerilmelerin başlangıçta boşluk suyu basıncı ile karşılanırken, zeminin drenajı ile birlikte gerilmeler yavaş yavaş zemin danelerine aktarılacak suyun boşalttığı boşluklarda meydana gelen sıkışmalarla oturmaların meydana gelmesidir.

Yol yapılarında beklenen nihai oturma miktarının tamamı veya genellikle kabul edilebilir bir kısmının tamamlanmasından sonra yolun trafiğe açılması gerekir; bu nedenle, konsolidasyonun inşaat süresi içerisinde tamamlanması, zeminde oluşabilecek olası hasarların ortadan kaldırılmasına yardımcı olur. Genel olarak kohezyonsuz zeminler, yani çakıllar, kumlar, plastik olmayan siltler veya bunların karışımı olan zeminlerde, yeterli taşıma gücüne sahip olduklarından, konsolidasyon oturması gibi problem yaratacak oturmalar beklenmez (Umar, 1981).

Yol yapılarında konsolidasyon etkisindeki zeminlerin iyileştirmelerinde çeşitli metotlar uygulanmaktadır. Önyükleme (sürşarj) metodu, zemini sürşarj yüküyle aşırı konsolide bir duruma getirme kuralına dayanmaktadır. Zemin toprak dolgu yada su tankı yardımıyla ağırlık ilavesiyle, yumuşak zeminin sahip olduğu yüksek su muhtevasının ilave yüküyle oluşan gerilmeler ile drenajı sonucu oturmaların hızlandırılması amaçlanır.

Düşey kum drenler metodunda; konsolidasyonu hızlandırmak amacıyla düşey kum drenler, konsolide olacak zemin içinde inşa edilerek zemindeki suyun hızla drene olması sağlanır. Açılan dren kuyularından suyun kapiler kuvvetler ile uzaklaştırılması uzun zaman alacağından; bu yöntem, çoğunlukla önyükleme metodu ile birlikte kullanılır. Şekil 3.5’de, sürşarj dolgusu ile önyükleme yapılan bir zemin örneği bulunmaktadır. İlgili zeminde oturmalar tamamlanıncaya dek, sürşarj etkisi devam eder. Gerekli oturma değerlerine ulaşıldıktan sonra ise dolgu yükü ortamdaki uzaklaştırılır (Coduto, 1999).



Şekil 3.5 : Sürşarj dolgu ile önyükleme örneği (Coduto, 1999)

Uygun malzeme ile problemlili zeminin değıştirmesi de etkin yöntemlerden biridir. İyileştirilecek zemin, uygun miktarda kazılıp atılarak, yerine uygun malzeme ile doldurulup sıkıştırılır. Bunun yanında volkanik kayalar, uçucu küller gibi hafif malzemeler ile dolgu yapıldığında, zemine etkiyecek gerilmeler azalacağından, zeminin konsolidasyonu için gerekli şart ortadan kaldırılmış olur (Liu and Evett, 2000).

3.1.3. Stabilizasyon ile Zemin iyileştirmesi

Zemin stabilizasyonu, zemini daha duraylı bir hale getirmek için yapılan işlemlerdir. Zemine ait bir takım özelliklerin uygun bir stabilizasyon tekniği ile değıştirilerek iyileştirilmesi mümkündür. Öncelikli olarak; zeminlerin arazide, üzerine sanat yapıları inşasına imkan vermeyen özelliklerinin araştırılıp, hangi türde bir stabilizasyon tekniğinin uygulanacağını belirlenmesi gerekir (Raj, 1998).

Bu teknikler incelenecek olursa; kimyasal stabilizasyon yöntemi olan derin karıştırma ve katılaştırma metodunda, ince daneli bir zemine, kireç, çimento, uçucu kül gibi stabilize edici maddenin karıştırılması sonucu

zeminin katılaşması amaçlanmıştır. Bu yöntemle, zeminin olumsuz etkileri giderilerek yol inşaatından sonra oluşabilecek deformasyonlara karşı önlem alınmış olur. Ayrıca bu metotla iyileştirme inşaat esnasında yapıldığından inşaat süresi kısalmır. Mekanik stabilizasyon veya karıştırma yönteminde ise, iki yada daha fazla zeminin uygun oranlarda karıştırılarak istenilen özellikleri sağlayan bir zemin haline dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Böylelikle belirli yük altında kalıcı deformasyon yapmayan, yani duraylı bir zemin elde edilmiş olur. Mekanik karıştırmada amaç, gradasyon düzeltmesi, likit limit veya plastik limit endeksinin azaltılması, zeminin drenaj yeteneğinin artırılması, mukavemetinin artırılması, uzun dönemli oturmaların azaltılması ve son olarak da don karşı duyarlılığının azaltılması olarak gösterilebilir (McCarthy, 2002).

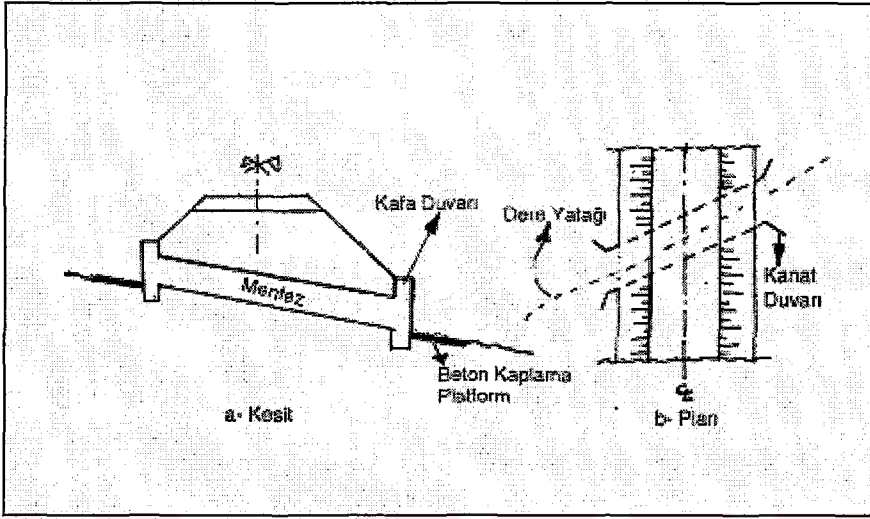
Bir diğer stabilizasyon ile iyileştirme yöntemi olan zemin enjeksiyon yönteminde ise, zeminin kayma mukavemetini ve yoğunluğunu artırıp, geçirgenliğini azaltmak asıl amaçtır. Her ne kadar diğer stabilizasyon yöntemlerine göre pahalı bir yöntem olsa da, çimento yada kimyasal maddeler ile yapılan enjeksiyonlarda, oturmaların azaltılması yada mukavemet artışının sağlanması konularında, diğer yöntemlere göre daha etkili olabilir.

3.1.4. Drenaj ile Zemin İyileştirilmesi

Öncelikle ince daneli zeminler olmak üzere, birçok zeminin mühendislik davranışını önemli ölçüde etkileyen su, geoteknik mühendisliği problemlerinde dikkatle incelenmesi gereken bir konudur ve etkisi her zaman göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin zeminde meydana gelebilecek şişme ve donma etkisi, dolgu yapılarında oturmalar, zeminin taşıma gücündeki azalmalar meydana getirmekle birlikte, yol yapılarında yada baraj inşaatında özen gösterilerek irdelenmelidir. Kil zeminler üzerine inşa edilen yapılardaki oturmalarda da suyun etkisi bulunmaktadır.

Drenaj; yol platformu ve yol ile ilgili yağış havzasına yağmur, dolu ve kar halinde düşen ve doğal yataklarda akan yada çukur yerlerde biriken yüzeysel sular ile zemin daneleri arasındaki boşluklarda durgun veya akar halde bulunan yer altı sularının yola ve çevreye zarar vermeyecek şekilde kontrol altına alınıp uzaklaştırılmasıdır (Umar ve Yayla, 1981). Drenaj bakımından iyi şekilde projelendirilmiş bir yol, suyun olumsuz etkileri ile büyük masraflara yol açabilmektedir. Bu masrafların en aza indirilmesi için; zemin, yüzeyaltı yada yüzeysel drenaj yöntemleri kullanılarak zeminde iyileştirmeler sağlanır. Bu yöntemlerden öncelikle yüzeyaltı drenajı ile ilgili iyileştirme esaslarından bahsedecek olursak; yol yapılarında yüzey altı drenaj sistemi olarak, enine ve boyuna dren yapıları kullanılarak ortamdan su uzaklaştırılabilir. Zeminde uygulanacak drenaj sisteminin öncelikli amacı; yer altı su seviyesinin kontrol altına alınmasıdır.

Zemin iyileştirmede kullanılan diğer drenaj yöntemi ise, yüzeysel drenajdır. Yüzeysel drenajda amaç, kaplama, banket ve şev yüzeylerinin sürekli olarak akan veya yağış sonucu oluşan akarsulara karşı korunması olup; bu, kenar hendekleri, kafa hendekleri ve çeşitli tip menfezleri içeren bir sistemdir (Umar, 1981). Şekil 3.6'da, yüzeysel drenaj türlerinden menfezlere ait bir şekil yer almaktadır.



Şekil 3.6: Menfez Yerleşimi (Tunç, 2001)

3.2. İyileştirilmiş Zemin Parametrelerinin Kontrolü

3.2.1. Laboratuvarda Kompaksiyon Deneyi

Kompaksiyon, zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarını sağlayan mekanik işlemlere verilen isim olarak tanımlanabilir. Zeminin kompaksiyon yani sıkıştırılması sonucu birim hacim ağırlığı artmakta ve buna bağlı olarak mühendislik özellikleri iyileştirilmiş olmaktadır. Danelerin birbirine yaklaşabilmesi ve sıkışmanın sağlanabilmesi, yalnızca uygulanan statik ve dinamik yükler altında birbirine göre hareket edebilmeleri ile sağlanabilir. Danelerin birbirine göre hareket edebilme yetenekleri ise, uygulanan yüklerin şiddeti (kompaksiyon enerjisi) yanında zemin içindeki su miktarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Zemin içindeki su miktarının kompaksiyon üzerinde iki değişik etkisi söz konusudur. Zemin içindeki su miktarı, bir başka deyişle, doygunluk derecesi, danelerin birbirine yaklaşmasına engel olacak kadar fazla ise, istenen sıklığın elde edilmesi çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Zeminin su muhtevası yükseldikçe,

boşluklardaki havanın bir kısmı hapsedilmekte ve dışarı çıkma imkanı bulunmamaktadır. Bunun sonucu olarak da, sıkışan bu hava hacimlerinde basınç artışları meydana gelmekte ve kompaksiyon zorlaşmaktadır. Zeminin tamamen suya doymun olması, yani tüm boşlukların suyla dolu olması durumunda ise kompaksiyon gerçekleşmemektedir. Çünkü bu durumda uygulanan yükler altında boşluk suyunda basınç artışları meydana gelecek ve bu hidrostatik basınç, danelerin birbirine yaklaşmasına karşı koyacaktır.

Bunun yanında, zemin içindeki su miktarı aynı zamanda danelerin birbirine göre hareket edebilmelerini de etkilemektedir. Zemin içinde yeterli su bulunduğu zaman (zeminde su muhtevasının yüksek olması durumunda) daneler arasındaki sürtünme azalmakta, aynı zamanda kapiler gerilmeler de azalmakta ve daneler arası elektriksel iç kuvvetler ortaya çıkmaktadır. Zemin içinde yeterli su bulunmadığı zaman ise (zeminde su muhtevasının düşük olması durumunda) daneler arası sürtünme ve kapiler gerilmeler artmakta, elektriksel kuvvetlerin net etkisi ise çekim kuvvetlerine dönüşmektedir. Zemin içindeki su miktarının kompaksiyon üzerinde iki etkisi birbiri ile çelişmektedir. Diğer bir deyişle, su miktarı arttıkça danelerin birbirine göre hareketi kolaylaşmakta, buna karşılık birbirine yakınlaşması zorlaşmaktadır. Buna göre her iki etkinin bir arada düşünülmesi ile, en iyi sıkışmanın ancak zemin içinde yeterli miktarda su bulunması durumunda sağlanabileceği sonucuna varılmaktadır. Zeminin en iyi ve en kolay sıkışabileceği bu su muhtevasına, optimum su muhtevası adı verilmektedir ve ω_{opt} ile gösterilmektedir. Optimum su muhtevası değişik zeminler için birbirinden farklı olduğu gibi, aynı zemin için de kompaksiyon yöntemine ve uygulanan kompaksiyon enerjisine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Sıkışmanın sağlanabilmesi için gerekli olan danelerin birbirine göre hareket edebilmesi ve birbirine yaklaşabilmesi, zemin içindeki su miktarı yanında uygulanan statik ve dinamik yüklerin büyüklüğüne ve şiddetine de bağlıdır. Dolayısıyla optimum su muhtevası zeminin endeks özellikleri (dane

birim hacim ağırlığı, likit limit, plastik limit vb.) gibi değişmez bir özelliği değildir. Sadece belirli bir kompaksiyon yöntemi ve belirli bir kompaksiyon enerjisi altında zeminin sıkışmasının en iyi ve en kolay sağlanabileceği su muhtevasını göstermektedir.

Laboratuvarda yapılan kompaksiyon deneyinin amacı, uygulanan belirli bir kompaksiyon enerjisi ile elde edilebilecek sıklık değişiminin su muhtevasına bağlı olarak değişiminin, dolguda kullanılacak zemin için deneysel olarak saptanmasıdır. Bu konudaki ilk bilimsel çalışmalar arasında en önemli olan R.R. Proctor tarafından 1930'lu yıllarda yapılan çalışmalardır. Proctor bugün birçok ülke ve kuruluş tarafından standart deney olarak kabul edilen laboratuvar deneyini geliştirmiştir. Proctor kompaksiyon deneyi olarak bilinen bu deneyde, değişik su muhtevalarındaki zemin numuneleri, standart boyutlarda bir kalıp içinde, belirli sayıda tabakalar halinde ve üzerine yine standartlaştırılmış miktarda enerji uygulanarak (kütlesi belli bir ağırlığın sabit bir yükseklikten düşürülmesi ile) sıkıştırılmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan iki tür proktor deneyi vardır. Bunlar standart proktor ve modifiye proktor deneyleridir. Standart proktor deneyinde zemin 3 tabaka halinde üzerine 2.5kg ağırlığında bir kütlenin her tabakaya 30cm yükseklikten 25'er kere düşürülmesi ile, modifiye proktor deneyinde ise zemin 5 tabaka halinde üzerine 4.5kg ağırlığında bir kütlenin her tabakaya 45cm yükseklikten 25'er kere düşürülmesi ile sıkıştırılmasıdır (Liu and Evett, 2000).

Kompaksiyon deneyinde belirlenmesi gereken asıl parametreler optimum su muhtevası ($w_{opt.}$) ve maksimum kuru birim hacim ağırlığıdır (γ_{kmax}). Bu değerlerden optimum su muhtevası, zeminin arazide en iyi sıkışabileceği su muhtevasını, kuru birim hacim ağırlığı ise elde edilebilecek maksimum sıkışma derecesini göstermektedir.

Kompaksiyon deneyinin amacı olan optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerini laboratuvarında elde edebilmek için öncelikle ince taneli bir zemin numunesi alınır. Numune içine, her tarafına eşit şekilde yayılacak biçimde su dökülerek, numune içinde iyice karıştırılır. 950cm^3 hacmindeki pirinç kabın içine, pirinç kabın tamamı 3 kademede dolacak biçimde, numuneden bir miktar konulur ve metal bir tokmak yardımıyla pirinç kabın içindeki numune üstüne, yalnızca metal tokmağın kendi ağırlığı etkiyecek şekilde 25 defa vurulur. Vurma işlemi tamamlandıktan sonra, pirinç kaba tekrar numuneden konulur ve vurma işlemi aynen tekrarlanır. Daha sonra pirinç kabın tamamı dolacak biçimde son olarak, tekrar numune konulur ve vurma işlemi yinelenir. Son tokmaklama işlemi bittikten sonra, pirinç kabın üst kısmı düzgün olacak şekilde düzeltilir ve numuneli pirinç kabın ağırlığı tartılır. Pirinç kabın orta noktası boşaltılırken, bu kısımdan 2 farklı kaba numune örnekleri alınır ve bunlar da tartılarak ayrı bir kısma konulur. Daha sonra asıl numunenin bulunduğu kabın içine tekrar bir miktar su konulur ve bir önceki aşamada yapılan işlemler aynen tekrarlanır. Her aşamada numunenin içine su eklenir ve tokmakla sıkıştırma işlemi yapıldıktan sonra tartılır. Bunun yanında, pirinç kap içindeki numunenin orta kısmından, cam kaplara alınıp tartılan örnekler de bir yerde toplanır. Bu işlemler aynı şekilde 7-8 defa tekrar edilir.

Kompaksiyon deneyinde, adım adım artan su muhtevasında, suyun danelerin yerini almasıyla birim hacim ağırlık düşecek, dolayısıyla numunenin ağırlığı optimum su muhtevası geçildikten sonra düşmeye başlayacaktır. Bu durum zeminin suya doymun duruma geldiğini göstermektedir. Deney sonucunda alınan tüm değerler bir tabloya aktarılır. Ayrıca her pirinç kabın orta kısımlarından alınan ve cam kaplara konulan numune örnekleri de, 24 saat etüvde bekletilip kurumaları beklenir. Kuru numunelerin de ağırlıkları tartılır ve böylece en başta alınan zemin

numunesinin su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlığı değerlerinin hesaplanması için tüm veriler elde edilmiş olunur (ASTM D 698).

3.2.2. Kum Konisi Deneyi

Arazide birim hacim ağırlık tayini için birçok metot geliştirilmiştir. Öncelikli olarak, arazide kompaksiyonun belirlenebilmesi için, alınan numunede su muhtevasının ve birim hacim ağırlığının hesaplanması gerekir. Su muhtevasına, sıkıştırılmış kuru birim hacim ağırlık değerinin hesaplanabilmesi için ihtiyaç duyulur. Arazide bulunan zeminin birim hacim ağırlık değerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler yüzeysel zeminlerin birim hacim ağırlıklarının bulunması ile sınırlıdır. Arazi birim hacim ağırlık değerinin belirlenmesinde, toprak dolguların kompaksiyonunda ve özellikle baraj ve karayolu dolgularının yapımında ihtiyaç duyulmaktadır (Liu and Evett, 2000).

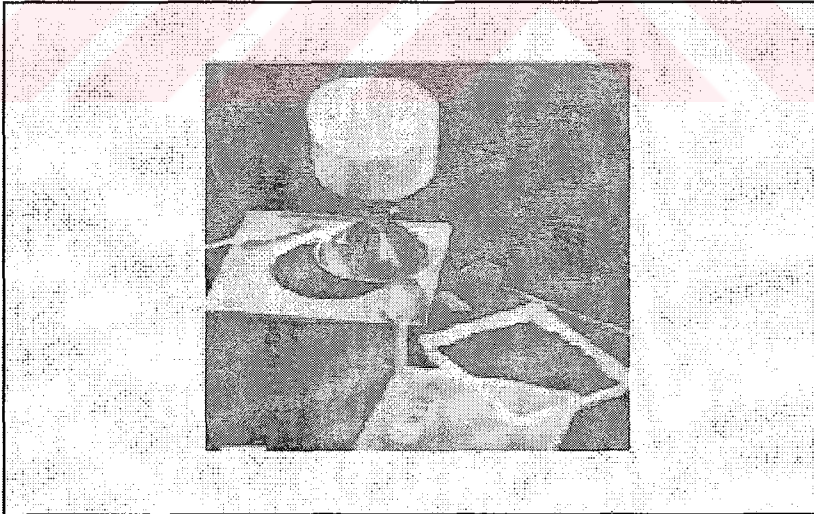
Arazi birim hacim ağırlık değerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemleri, başlıca dört ana başlık altında toplamak mümkündür. Bu yöntemler, silindirik örnek alma yöntemi, kum konisi yöntemi, su balonu yöntemi ve nükleer yöntemlerdir. Bu yöntemlerden en sık kullanılanları kum konisi ve teknolojik gelişmelerle kullanımı yaygınlaşan nükleer yöntemdir.

Kum konisi deneyinin yapımı için, arazide önce kullanılacak olan standart kumun, kum konisi aleti içindeki birim hacim ağırlığı belirlenir. Arazide birim hacim ağırlık deneyi yapılacak yerin yüzeyi kazılarak düzgün ve yatay hale getirilir. Deney aleti içerisine kum doldurulur ve kum dolu ağırlığı bir şekilde, hassasiyeti 1.0gr olan bir terazide tartılır. Hazırlanılan düzgün zemin yüzeyine, altında dairesel bir delik bulunan kap yerleştirilir. Bu dairesel delik altında bulunan zemin kazılarak, bu kap içerisinde toplanır. Kazılarak çıkarılan zeminin hiçbir şekilde kaybolmaması için çaba harcanır. Çukurdan alınan zemin numunesinin su muhtevasının değişmemesi için, plastik bir torba içinde korunur. Deney çukurlarının minimum hacimleri,

maksimum dane çapı 12.7mm için 1415cm^3 ; 25.4mm için 2125cm^3 ; 38mm için ise 2830cm^3 olarak önerilmektedir (ASTM D1556).

Yapılan bu işlemlerden sonra, kum konisi aleti, dairesel delik üzerine yerleştirilir. Aletin vanası açılarak içinde bulunan kumun, çukur içine akması sağlanır. Kumun akması durduktan sonra vana kapatılır. Bu sırada aletin titreşmemesi için dikkat edilmelidir. Daha sonra kum konisi deneyi aleti, içinde kalan kumla birlikte tartılır. Dolu ağırlıktan, konik kısım hacmindeki kum ağırlığı ile son tartım arasındaki değer çıkarılır. Sonuçta elde edilen değer ile, kumun birim hacim ağırlığı ve çukurun hacmi bulunur. Zemin içerinden alınmış olan numuneler de tartılır ve ilgili zemine ait su muhtevaları da bulunur.

Kum konisi deneyi sonucunda elde edilen veriler yardımıyla, zeminin doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) ve zeminin kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) değerleri elde edilmiş olur. Kum konisi deneyine ait deney düzeneği Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7 : Yoğunluk-Birim hacim ağırlık düzeneği (Liu and Evett, 2000)

3.2.3. Nükleer Nem – Yoğunluk Deneyi

Sıkıştırılmış dolgularda, birim ağırlığın belirlenmesi için yapılan deneylerde en çok kullanılan yöntem, yüzeysel tipteki nükleer nem-yoğunluk deney düzeneğidir. Bu yöntemin kum konisi ve balon yöntemlerinden daha sık kullanılmasının nedeni ise, deneyin sonuçlarının daha kısa sürede elde edilmesidir. Nükleer yoğunluk deney düzeneğinin başlıca elemanları; gama ışınları yayan nükleer kaynak, deneyin uygulandığı zemindeki gama ışınlarını yada fotonları alan bir detektör ve gönderilen gama ışınlarının ne kadarının detektöre ulaştığını belirleyen bir sayıcı cihaz bulunmaktadır (McCarthy, 2002).

Nükleer yöntemlerin, diğer yoğunluk tayininde kullanılan yöntemlere göre bazı avantajları bulunmaktadır. Bu deneyler arazide çok çabuk uygulanabilmekte ve sonuçlar birkaç dakika içinde hazır olmaktadır. Böylece deneyin yapıldığı ilgili zeminde çok daha fazla sayıda deney tekrarlanabilir ve daha fazla dolgu yerleştirilmeden önce gereken önlemler alınmış olacaktır. Bu yöntemle çok sayıda deney yapma imkanının olması, dolgunun istatistiksel olarak kontrol edilmesine fırsat verecektir. Dolgunun önemli bir bölümü için ortalama su muhtevası ve yoğunluk elde edilebilmekte ve böylece sıkıştırılmış zeminler içindeki değişimler incelenebilmektedir.

Diğer taraftan; nükleer yöntemlerin dezavantajları, başlangıç maliyetinin çok yüksek olması ve deneyi gerçekleştiren ilgili kişi için olası bir tehlike içeren, deney aletinin radyasyon yaymasıdır.

Genellikle kullanılan nükleer kaynaklar radyum – berilyum ve sezyum – amerikyum – berilyum kombinasyonlarını içermekle birlikte radyoaktif izotoplar kullanılarak tayin edilen yöntemler giderek yaygınlaşmaktadır. Gerek yoğunluk gerekse su muhtevasının belirlenmesinde temel olarak iki çeşit radyasyon kaynağı söz konusudur. Bunlardan birincisi radyum

tarafından veya sezyumun bir radyoaktif izotopu tarafından yayılan gama ışınları olup, bu ışınlar zemin daneleri içine gönderilir. Gönderilen ışın miktarı malzemenin toplam yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Kaynak ile alıcı arası uzaklık sabit olup, bu uzaklık Geiger adı verilen sayaç yardımıyla bulunur. Sudaki hidrojen atomları nötron yayar ve böylece de su muhtevası belirlenebilmektedir (Liu and Evett, 2000).



4. İSTATİSTİKSEL HİPOTEZLER, DAĞILIMLAR VE TESTLER

4.1. Giriş

İstatistik hakkında bugüne kadar bilimsel yada bilimsel olmayan pek çok tanım yapılmıştır. İstatistiğin bu bilimsel pek çok tanımından biri ise; istatistik, geçmiş ve şimdiki durumu sayısal tekniklerle analiz ederek gelecek hakkında karar vermeyi sağlayan bir bilim dalıdır. Başka bir deyişle, istatistik verileri toplama, tanımlama ve yorumlama bilimidir. Şimdiye kadar istatistik hakkında yüzlerce tanım yapılmasına karşın ve bu tanımlardan bazıları bilim dışı görülmelerine rağmen, gerçekte çok ciddi bazı noktaları ortaya koymaktadır. Dar anlamda istatistik, geçmiş ve şimdiki durumla ilgili toplanmış sayısal verileri geliştirilmiş olan bazı tekniklerle analiz ederek gelecek hakkında karar vermemizi kolaylaştıran bir bilim dalıdır (Serper, 1985).

17. Yüzyıla kadar sadece bilgi kaydetme şeklinde gerçekleşen istatistiksel çalışmalar, 18. ve 19. Yüzyıllarda J. Bernoulli (1645-1705) ve K.Gauss'un (1777-1855) katkılarıyla matematik temelleri üzerine oturtulmuş, ihtimal teorisi geliştirilmiştir. Sosyal ve antropolojik olaylara istatistiği kapsamlı bir şekilde uygulayan ilk matematikçi olan Adolphe Quételet (1796-1874) ise modern istatistiğin kurucusu olarak kabul edilmiştir. 20. Yüzyılın başında R. A. Fisher, K. Pearson ve W. S. Gosset'in katkılarıyla tahmin yapma ve karar verme konuları ön plana çıkarak istatistik artık sayısal verilerin yorum ve değerlendirmesini yapan bir bilimsel metotlar topluluğu haline gelmiştir. Yukarıdaki gelişimler ışığında istatistiği tekrar tanımlanacak olursa; istatistik, verilerin toplanması, organize edilmesi, özetlenmesi, sunulması, tahlil edilmesi ve bu verilerden bir sonuca varılabilmesi için kullanılan bilimsel metodlar topluluğudur (Püskülcü ve İkiz, 1983).

İstatistik bilimi, zaman içinde geliştikçe günlük hayatta hemen hemen her konuda kullanılır hale gelmiştir. Sosyolojik araştırmalardan, devlet yönetimine, üretim sektöründen, tıp bilimine kadar pek çok kurumda faydalanılan bir bilim dalı olan istatistik, mühendislik bilimi içerisinde de önemli bir yer tutmaktadır. İş hayatında karşılaşılan bazı olayları ve araştırma sonuçlarını değerlendirmede matematik modellerinden yararlanmanın yanı sıra, bazı belirsizlik durumlarında sonuca ulaşmayı kolaylaştıran istatistiği uygularken gerekli bakış açısı istatistiğin temelini oluşturmaktadır.

İstatistik pozitif bilimlerde araştırma yapan tüm araştırmacıların kullandığı ortak yöntemler içermektedir. Geliştirilen bir istatistiksel analiz yöntemi, mühendislikte etkin olarak kullanılmaktadır. Fen bilimlerinde yapılan araştırmalar için geliştirilen bir istatistiksel yöntem, sosyal bilimlerde yapılan araştırmalar için de son derece yararlı olabilir.

4.2. İstatistiğin Mühendislikteki Önemi

Doğa bilimlerinde karşılaşılan problemlerin birçoğunda olaydaki değişkenlerin değerleri bilindiğinde probleme kesin ve tek bir çözüm bulunabilir. Örneğin bir cismin kütlesi ve cismi etkileyen kuvvet bilindiğinde cismin ivmesini hesaplanabilir, bir zeminin hacim ve ağırlığı belirlendiğinde, birim hacim ağırlığı hesaplanabilir. Bu gibi olaylarda yasalar deterministik anlamda bilinmektedir. Buna karşılık öyle olaylar vardır ki, bunlarda sonucu önceden kesin olarak bilmek mümkün değildir. Basit bir örnek olarak bir zar atışında zarın hangi yüzünün görüneceği önceden kestirilemez (Bayazıt ve Oğuz, 1994).

Mühendislik problemlerinin bazılarında da sonucu önceden kesin olarak bilmek mümkün olmaz. Bu doğal olaylarda yada kullanılan malzemedeki belirsizliklerden ileri gelir. Örneğin, belirli bir bölgedeki zemine ait yapılan plastik yada likit limit tayininde, farklı sonuçlar elde

edilebilir. Aynı kolondan alınan karot numunelerinin basınç dayanımları birbirlerinden farklı sonuçlar verebilir. Belirsizliklerin etkisiyle bu gibi problemler alışlagelen yöntemlerle incelenmeyecek bir biçim alır.

Belirsizliklerin etkilediği problemlere inşaat mühendisliğinden çeşitli örnekler verilebilir. Bu örneklerden bazıları; su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlığın belirlenmesinde kullanılan kompaksiyon deneyi sırasında, deney düzeneğinde yer alan tokmağın düşüş yüksekliğinin tam olarak ayarlanamaması ve böylece zemin numunesine aktarılan enerjinin değişkenlik göstermesi yada arazi deneylerinden biri olan standart penetrasyon deneyinde kullanılan şahmerdanın zemine aktardığı enerjinin, ilgili deney düzeneğine göre farklılığı gösterilebilir. Bu ve benzer problemlerin yaklaşımlarının doğruluğunu artırmak için istatistik bilimine başvurmak gerekir.

4.3. İstatistiksel Parametreler

Bir rastgele değişkenin herhangi bir gözlem sırasında alacağı değer in önceden bilinemeyeceği, fakat dağılım fonksiyonunun bu değişkenin davranışı ile ilgili bütün bilgiler elde edilebilmektedir. Bazı durumlarda dağılım fonksiyonunun vereceği bilgilerin tümünün bilinmesi gerekmeyebilir, ya da bu bilgileri elde etmek mümkün olmayabilir. Bu durumda rastgele değişkenin başlıca özelliklerini birkaç sayı yardımıyla özetlemek mühendislik problemlerinde yeterli olabilir. Değişkenin dağılım fonksiyonun belli özelliklerini yansıtan bu sayılara dağılım parametreleri denir. Parametrelerin eldeki verilerden tahmin edilmesi ve kullanılması dağılım fonksiyonunun tahmin edilip kullanılmasına göre çok daha kolay olur. Bu nedenle yaklaşık da olsa, çabuk cevapların elde edilmesi gereken mühendislik problemlerinde parametreleri kullanmak gerekir (Yoğurtçugil, 1976).

Bir konuyu incelemek için gerekli verilerin toplanarak değerlendirilmesini ve elde edilen bulgulardan sonuç çıkarılmasını amaç edinen istatistikte, en çok kullanılan parametreler istatistik moment tipindeki parametrelerdir. İstatistik moment tipindeki parametreler, örnekten örneğe en az değişen parametreler olduğundan çok kullanılırlar (Bayazıt, 1996). Bu parametreler, temel olarak merkezi eğilim ölçütleri, yayılma ölçütleri, dağılım çarpıklık ölçütleri adı altında üç yaklaşımda incelenmektedir.

4.3.1. Merkezi Eğilim Ölçütleri

Değişken değerleri hakkında bilgi veren en önemli ölçütlerin başında merkezi eğilim ölçütleri gelir. İstatistikte sıkça kullanılan üç merkezi eğilim ölçütü ortalama, medyan ve mod'dur. Ortalama ve medyan en sık kullanılan merkezi eğilim ölçütleridir.

4.3.2. Yayılma Ölçütleri

Farklı grupların ortalama ve medyan gibi merkezi dağılım ölçütleri aynı olduğu halde, gruplar birbirlerinden çok farklı olabilirler. Bu nedenle merkezi eğilim ölçütleri yanında, yayılma ölçütleri de çok önemlidir. Yayılma ölçütleri rastgele değişkenin merkez değerinin çevresindeki yayılımının büyüklüğünü ifade etmektedir. Yayılma ölçütleri, varyans, standart sapma değer aralığı başlıkları altında incelenmektedir.

4.3.3. Çarpıklık Ölçütleri

Varyans olasılık yoğunluk fonksiyonun altında kalan alan, ağırlık merkezinin çevresindeki atalet momentini göstermektedir. Benzer şekilde dağılımın daha yüksek mertebeden merkezsel istatistik momentleri de hesaplanabilir. n 'inci mertebe moment değeri $\mu_x^{(n)}$ şeklinde tanımlanacak olursa, $n = 1$ için $\mu_x^{(1)} = 0$, $n = 2$ için $\mu_x^{(2)} = S^2(X)$ olduğu, ifadenin integrasyonu ile görülür. $n = 3$ için hesaplanan üçüncü mertebeden merkezsel moment dağılımının çarpıklığının bir ölçüsüdür. Dağılımın ortalama çevresinde simetrik olması halinde $\mu_x^{(3)} = 0$ olacaktır. $\mu_x^{(3)}$ rastgele

değişkenin kübü ile aynı boyuttadır. Boyutsuz bir çarpıklık katsayısı elde etmek için, standart sapmanın kübüne bölme yoluna gidilir:

$$C_{sx} = \frac{\mu_x^{(3)}}{\sigma_x^{(3)}} \quad (1)$$

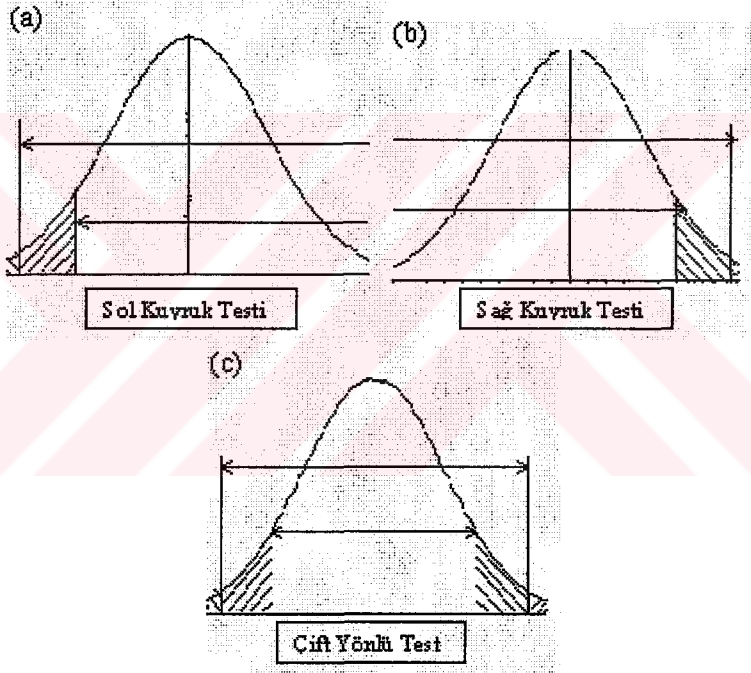
C_s 'in pozitif olması, dağılımın pozitif çarpık olduğunu, diğer bir deyişle sağa doğru uzayan bir kuyruğu bulunduğunu, negatif olması ise dağılımın negatif çarpık olduğunu, yada sola doğru uzayan bir kuyruğunun olduğunu gösterir.

4.4. İstatistiksel Hipotezlere Giriş

Modern istatistiğin temel konusu olan tahmin teorisi; genel olarak, anakütle parametrelerinin tahmini ve hipotezlerin test edilmesi ile ilgilenmektedir. Hipotez testleri, parametrik ve parametrik olmayan testler olmak üzere, iki grupta toplanabilir. Gerekli varsayımların geçerli olmadığı durumlarda ve özellikle ekstrem verileri içerdiği veri gruplarında, parametrik teknikler büyük ölçüde güvenilirliklerini kaybederler. Bu gibi durumlarda, parametrik olmayan teknikleri kullanmak daha doğru olur. Anakütle parametreleri tesadüfi seçimle alınacak örnek istatistikleri ile tahmin edilir. Örneklem dağılımı bilindiği zaman, herhangi bir tahminin gerçek parametreye olan yakınlığı belirli bir ihtimalle belirtilebilir. Böylece tahmin değeri ile gerçek parametre arasındaki farklılık ölçülmüş olur. Tahminde ana amaç, gerçek parametre ile tahmin edilen parametre arasındaki farkı minimum seviyede tutabilmek ve bu hatanın mutlak bazı sebeplerden mi, yoksa tesadüfi sebeplerden mi meydana geldiğini belirlemektir. Bu sebeplerden dolayı karara varabilmek için hipotez testleri kullanılır.

Bir araştırma yapılmadan önce, yöntem belirlenirken, ortaya çıkacak sonuçla ilgili bir çıkarım yapmak ya da önyargıda bulunmak amacı ile hipotez kurulur. Bir bilimsel araştırmada yöntem belirlenirken, hipotezin iyi kurulması şarttır. Kurulacak hipotez iki yönlü ya da tek yönlü olabilir. H_0 olarak adlandırılan farksızlık hipotezi, bir başka ifade ile, "İki grup arasında

fark yoktur" hipotezine karşıt kurulacak hipotez; H_1 farklılık hipotezi; "İki grup arasında fark vardır" şeklinde olursa bu hipotez iki yönlüdür. Çünkü hipotezde yalnızca iki grup arasındaki farklılık olduğu öngörülmüş; buna karşılık farklılığın yönü yani büyük/küçük ya da fazla/az gibi bir açıklamaya yer verilmemiştir. Buna karşın kurulacak hipotezde yön belirtilmişse ya da "A grubu ortalaması B grubu ortalamasından daha küçüktür" şeklinde kurulmuşsa o zaman hipotez tek yönlüdür. Şekil 4.1'de tek yönlü ve çift yönlü hipotezlere ait örnekler gösterilmiştir (Canyüker ve ark., 2001).



Şekil 4.1 : (a) : Sol kuyruk testi (b) : Sağ kuyruk testi (c) : Çift yönlü test

Hipotezin yönünün tek ya da çift oluşu, anlamlılık ya da önemlilik testlerinde test değerinin karşılaştırılması için kullanılan tablolarda önem taşır. Kullanılan tabloda yapılacak karşılaştırmada hipotezin tek ya da çift yönlü oluşuna göre test değeri farklılaşır. Bir başka deyişle, çift yönlü kurulduğunda bir hipotez kabul edilirken tek yönlü olması durumunda red

edilebilir. Hipotez iyi kurulsa bile, varılan sonucun mutlaka doğru olduğu her zaman söylenemeyebilir. Bu durumda iki tür hatadan söz edilebilir.

- Doğru bir hipotezin yanlışlıkla red edilmesi; tip 1 hata;
- Yanlış bir hipotezin yanlışlıkla kabul edilmesi, tip 2 hata olarak adlandırılır.

Tip 1 hatayla ilgili olan ihtimale yanılma ihtimali denir ve α ile gösterilir. α doğru bir hipotezin yanlışlıkla red edilme ihtimalini gösterir. α 'nın küçük olması ya da küçük seçilmesi tip 1 hatayı azaltır. Başka bir deyişle, yanılma ihtimali küçüldükçe aynı serbestlik derecesinde hipotezin yanlışlıkla red edilmesi şansı azalır. Tip 2 hatadan kaçınmak için örneklem büyüklüğünün planlanması gerekir. Bu da güç hesaplamasını gerektirmektedir. İstatistiksel güç bir istatistik testin anlamlı bir sonuç elde edilmesini sağlama ihtimalini yansıtır (Akdeniz, 1996).

4.4.1. Hipotez Testleri

Bir araştırmada yöntemin belirlenerek uygulanmasından sonra elde edilen verilerin istatistiksel analizi ve sonuçların yorumlanması aşamasına geçilir. Bu aşamada eldeki verilere göre hangi istatistik testlerin uygulanacağını ve test sonuçlarının nasıl yorumlanacağını bilmesi gerekir. Temel olarak istatistik testlerin parametrik ya da parametrik olmayan olarak ikiye ayrıldığı söylenebilir. Bu ayrım daha çok iki ya da daha fazla grubun değerlerinin karşılaştırıldığı anlamlılık testleri için geçerlidir.

Bir testin parametrik ya da parametrik olmamasını belirleyen ölçüt testi içeren parametreler ve kriterlerdir. Bir testte ortalama, varyans, oran gibi ölçütlerin kullanılması testin parametrik olduğunu gösterir. Ölçü yerine sıralama, sayma ve işaretleme gibi işlemler yapılıyorsa test parametrik olmayan bir testtir. Parametrik testlerin uygulanması için evrenin normal dağılıma sahip olması, varyansların homojen olması, örneklemdeki

deneklerin evrenden rastgele seçilmiş olması, deneklerin birbirinden bağımsız seçilmiş olması gibi şartlar aranır. Parametrik olmayan testler için normal dağılıma uyma ya da varyansların homojen olması şartları aranmaz. Ölçümle belirtildiği halde örnek sayısı az ise ya da değerler yerine sıraları verilmişse yine parametrik olmayan testler kullanılır. Genel olarak Mann-Whitney testinin, Wilcoxon eşleştirilmiş iki örnek testinin ve Krukal-Wallis varyans analizinin parametrik olmayan testlere örnek olarak verilebilir. Parametrik testler uygulanmadan önce normal dağılıma uygunluk ve varyansların eşitliği araştırılması önemlidir.

4.5. T Testi

İki grup ortalamalarının karşılaştırılmasında kullanılan test türüdür. Farklı iki grup karşılaştırmalarında bağımsız gruplarda t testi (independent samples t test); aynı grubun farklı iki zaman dilimindeki değerlerinin karşılaştırılmasında ise bağımlı gruplarda t testi (paired samples t test) kullanılır.

Bağımlı gruplarda t testinde, belirli bir güven aralığında ana kütle aritmetik ortalamasının belli bir değerden büyük, küçük veya farklı olup olmadığı araştırılır. Örnek sayısı, $n > 30$ ise test istatistiği z olarak, $n < 30$ ise t istatistiği hesaplanır. Bu testin uygulanmasının amacı, iddia edilen ana kütle ortalamasının gerçek olup olmadığı ve örneğin bu ana kütleye ait olup olmadığı hakkında bir fikir elde etmektir. Bu testin serbestlik derecesi $(n-1)$ 'dir.

Bağımsız gruplarda t testinde ise, birbirinden bağımsız iki örneklemin ortalamaları arasındaki farkın hangi yönde olduğu ve bu farkın önemli olup olmadığının test edilmesinde kullanılır. Örnek büyüklüğüne göre, $n > 30$ ise test istatistiği z olarak, $n < 30$ ise t istatistiği hesaplanır. Bu testte serbestlik derecesi $(n_1 + n_2 - 2)$ 'dir. n, her bir grubun büyüklüğü, s_1^2 ve s_2^2 her grubun

varyansı ve X_1 ve X_2 ise her grubun ortalamaları olmak üzere, bağımsız gruplardan t değeri aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır :

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n}}} \quad (2)$$

Tek veri grubu için, z değerlerinin hesaplanışında kullanılan formül aşağıdaki gibidir. Burada $\bar{X}$, seçilen örnek değeri, μ değeri ise ortalama değeri göstermektedir. Diğer bir deyişle, formülün pay kısmında ortalamalar arasındaki fark hesaba katılmaktadır. Paydada yer alan ifade ise, ortalamalar arasındaki farkın standart hatasıdır.

$$z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (3)$$

4.6. Varyans Analizi

İki örneğin varyansları açısından aynı topluma ait olup olmadıklarının kontrolünde F istatistiğinden yararlanılabilir. İki deneme çok örnek kütle ortalamalarının karşılaştırılmasında kullanılır. Bu yöntemle toplam değişmeye katkıda bulunan çeşitli değişim kaynaklarının değişkenler arası etkileşimi ve deneysel hataları incelenir. F değerinin hesaplanmasında öncelikle iki veri grubuna ait varyanslar (s^2) hesaplanır. Hesaplanan varyanslardan küçük olanı s_L^2 , büyük olanı ise s_H^2 ile gösterilmek üzere;

$$s^2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1} \quad ; \quad (4)$$

$$F = \frac{S_2^H}{S_2^L} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanan F istatistiğinin dağılımı, payının serbestlik derecesi $m = n_H - 1$ paydasının serbestlik derecesi $n = n_L - 1$ olan F dağılımıdır. Burada F değeri, büyük varyans değerinin, küçük değere bölümünü ifade ettiğinden dolayı, her zaman 1'den büyük değerler alacaktır.

Varyans analizi tek yönlü ve çok yönlü olarak uygulanabilir. Tek yönlü varyans analizi elle hesaplanabilir, ancak çok yönlü varyans analizi için bilgisayar kullanılmalıdır. Bu yöntemle ilgili aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (Krishnaiah, 1980):

- Gruplardaki örnekler birbirine benzer ve homojen olmalıdır.
- Gruplar birbirinden bağımsız olmalıdır.
- Veriler ölçümle belirlenmiş sürekli karakter olmalıdır.
- Gruplardaki örnek sayısı(n) en az 20 olmalıdır.
- Gruptaki örnek sayıları birbirine eşit veya yakın olmalıdır.

Bu şartlar sağlanamadığı zaman parametrik olmayan karşılığı "Kruskal Wallis varyans analizi" uygulanabilir.

4.7. Ki-Kare Testi

Ki-Kare dağılımı ilk olarak 1900'lü yıllarda Pearson tarafından ortaya atılmıştır. Ki-Kare dağılımı oldukça yaygın olarak ve bir çok amaçla kullanılan bir dağılımdır. Çoğu araştırmada çeşitli kategorilere giren örneklerin sayısı ile ilgilenilir. Örneğin, bir grup insan belli bir anketin sorularına verdikleri cevaplara göre sınıflandırılabilirler. Araştırmacı belli bir tip cevabın diğerlerine kıyasla daha sık ortaya çıkıp çıkmayacağını belirlemek isteyebilir. Bu gibi durumlarda ve özellikle de sayımla belirlenen kalitatif özelliklerle ilgili testlerde daha ziyade Ki-Kare testi kullanılabilir (Karagöz, 2003). Ki-Kare dağılımı; uygunluk, bağımsızlık, varyans, homojenlik ve bağımlı grupların testinde oldukça sık kullanılır. Ki-Kare; aritmetik ortalaması sıfır ve varyansı bir olan normal bölünmeli bir

anakütleden her biri diğerinden bağımsız olarak seçilen n birimli bir örneğe ait değerlerin karelerinin toplamı demektir. Yani, Z_i , $n=1, \dots, n$ olmak üzere, n tane bağımsız standart normal dağılım için $Z_1^2, Z_2^2, \dots, Z_n^2$ toplamı ile, n serbestlik dereceli Ki-Kare dağılımı elde edilir. Matematiksel olarak,

$$\chi^2_n \approx \sum_{i=1}^n Z_i^2 \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Ki-Kare; iki veya daha fazla veri seti arasında önemli farkın olup olmadığını belirlemede kullanılan bir istatistiksel analiz yöntemidir. Bu yöntemde gözlenen değerler ile beklenen değerler kıyaslanır.

Ki-Kare uygunluk testi belli bir hipoteze uygunluk ve ihtimal dağılımlarına uygunluk testi olarak iki kısımda incelenmektedir. Belirli bir hipoteze uygunluk testinde; gözlenen frekansların (o_i), belli bir hipoteze göre elde edilen beklenen frekanslara (e_i) uygun olup olmadığı araştırılır. N birimlik veri, r kategoriden oluşmak üzere, bu testin safhaları aşağıdaki gibi olur.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(o_i - e_i)^2}{e_i} \quad (7)$$

Görüldüğü gibi, o_i 'lerin e_i 'lere yaklaşması durumunda χ^2 istatistiği sıfıra yaklaşacaktır. $\chi^2 < \chi_a^2$ ise, H_0 hipotezi kabul edilerek, gözlenen değerlerle beklenen değerlerin birbirine uygun olduğuna, görülen farklılığın önemsiz olduğuna α önem seviyesinde karar verilir. $\chi^2 > \chi_a^2$ ise, H_0 hipotezi reddedilerek gözlenen değerlerle beklenen değerlerin birbirine uygun olmadığına α önem seviyesinde karar verilir.

4.8. Anderson-Darling Testi

Anderson-Darling testi, örnek verilerin belirli bir dağılıma uygunluğun araştırılmasında kullanılan testlerden biridir. Verilerin hangi dağılıma uyduğu hakkında bilgi vermektedir. Verilen dağılımlar için, Anderson-Darling değerleri küçüldükçe, ilgili dağılıma uygunluk oranı artmaktadır.

Anderson-Darling testi, genel yapısı itibarı ile Kolmogorov-Smirnov testine benzemekle beraber, Kolmogorov-Smirnov testinden ayrılan özelliği, dağılımın kuyruklarına daha fazla ağırlık vermesidir. Hesaplamalarda kullanılan bilgisayar programında, dağılıma uygunluk testleri yapılırken, Anderson-Darling istatistiği ve dağılıma uygun p-değerleri araştırılmaktadır. p değerleri büyüdükçe, ilgili dağılıma uygunluğun gerçekleşme olasılığının artmaktadır.

5. DENEYSEL VERİLER VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ

5.1. İstatistiksel Parametrelerin Değerlendirilmesi

Yol inşaatlarında sıkıştırılmış zeminlerin kontrol parametrelerinin incelenmesi amacıyla, Çobanlar, Yeşilçiftlik ve Sultandağı bölgelerinde uygulanan kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen parametrelere ilişkin sonuçlar Tablo 5.1’de yer almaktadır. Uygulanan kum konisi ve nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi verileri, Ek 1’de sunulmuştur. Öncelikle, yapılan deneyler sonunda elde edilen verilerin, kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerinin istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca her veriye ait normal dağılım grafikleri çizilmiştir.

Tablo 5.1. Kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi verilerinin değerlendirilmesi

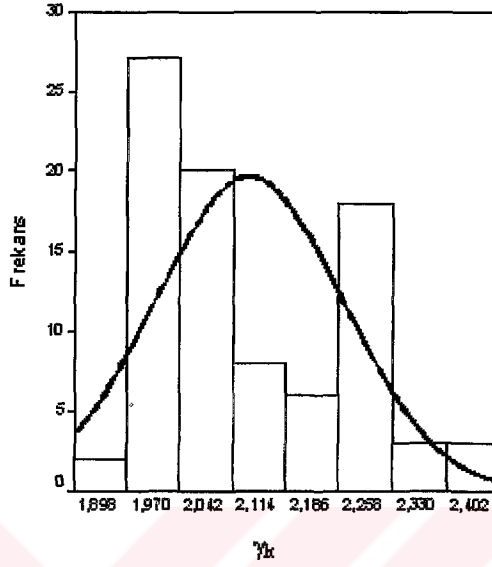
	$\gamma_{kk}(\text{gr/cm}^3)$	$\gamma_{kn}(\text{gr/cm})$	$\omega_k(\%)$	$\omega_n(\%)$	$S_k(\%)$	$S_n(\%)$
N	87	87	87	87	87	87
Ortalama	2.100	2.081	6.376	4.971	102.164	101.212
Medyan	2.057	2.002	6.180	4.800	101.260	100.820
Mod	1.988	1.974	6.830	5.400	100.280	100.760
Minimum	1.886	1.696	2.330	1.400	95.800	100.000
Maksimum	2.432	2.424	11.880	8.800	111.080	108.070
Arahık	0.546	0.455	9.550	7.400	15.280	8.070
Standart Sapma	0.127	0.133	2.196	1.484	2.646	1.292
Varyans	0.016	0.018	4.824	2.201	7.001	1.670
Çarpıklık(Asimetri)	0.719	0.978	0.132	0.279	1.183	2.460
Basıklık(Kurtosis)	-0.466	-0.509	-0.636	-0.191	1.673	8.961

Öncelikle kum konisi deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık (γ_{kk}) değerlerine ait veriler incelenecek olursa:

Kum konisi deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerine ait verilerin aritmetik ortalaması, 2.100’dür. 87 verinin ortasında yer alan değeri ifade medyan değeri 2.057’dir. En sık tekrarlanan değer mod,

1.988'dir. 87 verinin maksimum ve minimum değeri 2.432 ve 1.886 olup, bu değerler 0.546'lık bir bant içerisinde yer almaktadır. Merkezsel dağılım ölçülerinin göstergesi olan varyans ve standart sapma değerleri sırası ile 0.016 ve 0.127'dir. Dağılımın hangi yöne çarpık olduğunu gösteren çarpıklık katsayısının 0.719 olması, dağılımın sağa yatık olduğunu belirtmektedir. Kurtosis değeri her ne kadar yüksek olmasa da, negatif olması, verilerin ortalamasının altında fazlalaştığını, bir başka ifadeyle normal dağılım eğrisinin ortalamasının sonunda yer aldığını göstermektedir. Çizilen histogram grafiğinde, gözlem sonuçları dağılımının toplu bir şekilde gösterilmesi amacıyla, 87 deney verisinin eksene yerleştirilmesi için $m = 1 + 3.3 \log n$; m: sınıf aralığı ve n : örnekteki eleman sayısını göstermek üzere; ampirik formülünden yararlanılarak, 8 aralık elde edilmiştir ve grafiğin çiziminde kullanılmıştır.

Şekil 5.1'de görüldüğü üzere, verilerin çoğunluğunun 1.970-2.042 aralığında toplandığı söylenebilir. Ayrıca, normal dağılım eğrisi ve frekanslar arasında bir paralellik bulunmadığı, şekilde görülmektedir. Bu da verilerin normal dağılıma uygun bir davranış sergilemediğini belirtmektedir. Frekans değerlerinin birbirinden aykırı değerler alması, bunun bir diğer göstergesidir. Örneğin, verilerin başlangıç değerlerinde yoğunlaştığını söylenebileceği gibi, 2.258 değeri çevresindeki frekans artışı, dağınık bir dağılımın ifadesidir.

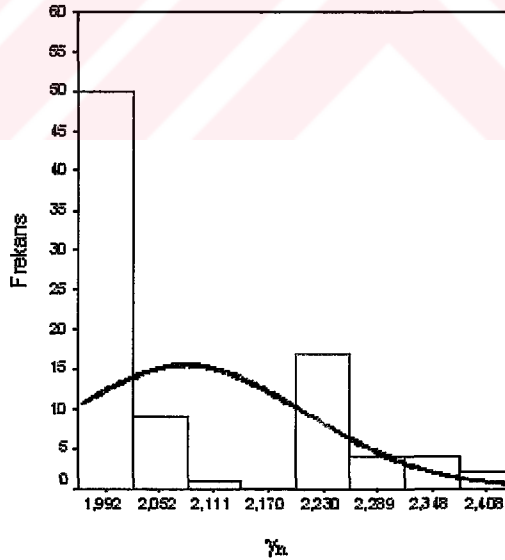


Şekil 5.1. Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin normal dağılım grafiği

İkinci olarak nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık (γ_{kn}) değerleri incelenecek olursa: 87 deney sonucuna ait değerlerin aritmetik ortalaması 2.081'dir. Bu değerlerin ortasında yer alan değeri ifade eden medyan 2.002 olmakla birlikte, en sık tekrar edilen değer, yani mod 1.974'tür. 87 sonuç içerisindeki maksimum ve minimum değerler, sırası ile 2.424 ve 1.696'dır. Görüldüğü üzere, bu değerler 0.455'lik bir bantta değişim göstermektedirler. Merkezsel dağılım ölçülerini ifade eden varyans ve onun karekökünü gösteren standart sapma değeri de sırasıyla 0.018 ve 0.133'tür. 87 verinin normal dağılım grafiğinin çizilmesi sonrasında da görüldüğü gibi, eğrinin kuyruğu sağa doğru uzamaktadır. Çarpıklık değerinin pozitif çıkması da, bunu desteklemektedir. Kurtosis değeri her ne kadar 0'a yakın bir değerde bulunsun da, negatif olması, değerlerin çoğunluğunun ortalamanın solunda, bir başka deyişle, ortalama ile minimum arasında bulunduğunu göstermektedir. Çizilen grafikte, verilerin büyük bir çoğunluğunun 1.992 değeri etrafında toplandığı gözlemlenmektedir. Ayrıca

medyan değeri olan 2.002 değeri ile 2.170 etrafında verilerin bulunmaması, grafiğin normal dağılıma uymadığının bir göstergesidir.

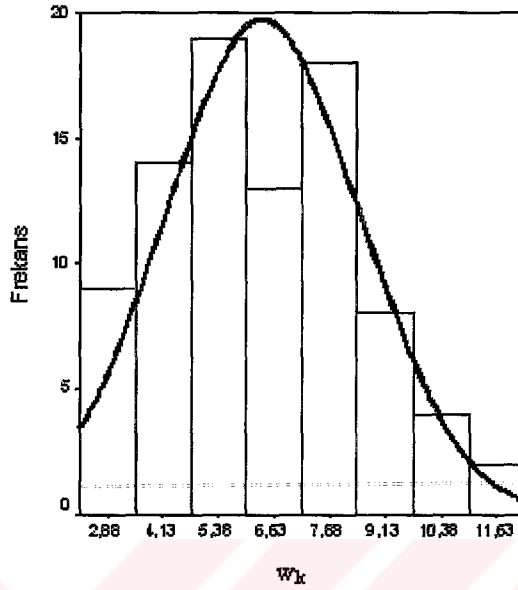
Şekil 5.2’de görüldüğü gibi, verilerin büyük çoğunluğu 1.992 değeri çevresinde toplanmaktadır. Bu bölgedeki frekans değerinin, diğer bölgelere göre çok büyük olması, verilerin bir bölgede yoğunlaştığını göstermektedir. Ayrıca, normal dağılım eğrisi ile frekans değeri arasında paralellik bulunmaması, verilerin normal dağılıma uygun bir sergilemediğini göstermektedir. Kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerine ait grafikler karşılaştırılacak olursa, her iki grafiğin de normal bir dağılıma sahip olmadıkları görülmektedir. Her ne kadar iki dağılımın normal dağılıma uymadığını söylemek mümkünse de, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin dağılımının, nükleer deneye göre daha düzgün bir biçimde yayıldığı, elde edilen frekans değerlerine göre söylenebilir.



Şekil 5.2. Nükleer Deneye ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin normal dağılım grafiği

Kum konisi deneyi sonunda elde edilen bir diğer parametre olan su muhtevasına (ω_k) ilişkin değerler incelenecek olursa: En sık görülen değer, bir başka ifadeyle serinin mod değeri 6.830'dur. 87 farklı değer, % 95 güven aralığı içerisinde; ortasında yer alan değeri ifade eden medyan 6.180'dir. Seride bulunan 87 değer toplamının terim sayısına bölümü olan aritmetik ortalama değeri 6.376'dır. Ortalamadaki sapmaların aritmetik ortalaması olan varyans değeri 4.824 ve varyansın karekökü olan standart sapma değeri de 2.196 olarak hesaplanmıştır. Seride bulunan maksimum ve minimum su muhtevası değerleri, sırası ile 11.880 ve 2.330'dur ve değerler 9.550'lik bir dağılım aralığı içerisinde bulunur. Serinin ortalamadan hangi yöne ve ne ölçüde saptığı ile bilgi edinmeyi sağlayan çarpıklık (asimetri) ve basıklık (kurtosis) değerleri de, sırasıyla 0.132 ve -0.636'tür. Asimetrisi 0'dan büyük, basıklık değeri de negatif olduğundan dolayı, serinin normal dağılıma göre sağa yatık, örneklem dağılımının, aritmetik ortalama değerlerinin altında, bir başka ifadeyle normal dağılım eğrisinde ortalamanın solunda bulunduğu söylenebilir.

Şekil 5.3'te, verilerin normal dağılım sergilediği görülmektedir. Ortalama çevresinde verilerin frekansları yoğunlaşmakla birlikte, ortalama dışına çıkıldıkça, frekanslarda düzgün bir azalma gerçekleştiği söylenebilir.

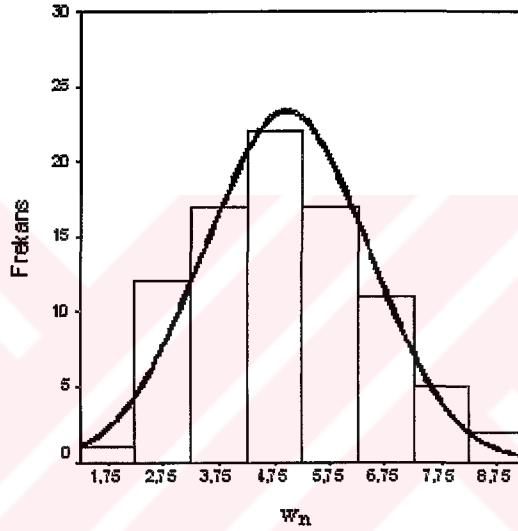


Şekil 5.3. Kum konisi deneyine ait su muhtevası değerlerinin normal dağılım grafiği

Nükleer deney sonucunda elde edilen su muhtevasına (ω_n) ilişkin değerler incelenecek olursa : 87 deney verisinin aritmetik ortalaması 4.971'dir. 87 verinin ortasında yer alan değeri ifade eden medyan 4.800'dür. Bu değerler içinde en sık tekrar edileni gösteren mod değeri 5.400'dür. 87 veri içerisindeki maksimum ve minimum değerler sırası ile 8.800 ve 1.400 olup, bu değerler 7.400'lük bir bantta değişim gösterirler. Verilerin varyans ve standart sapma değerleri 2.201 ve 1.484'tür. Normal dağılım eğrisinden de görüldüğü gibi, çarpıklık katsayısının 0 değerinden büyüklüğü ile orantılı olan 0.279 değeri, eğrinin sağa yatık olduğunu ifade etmektedir. 87 deney verisinin ortalamasının sağ yada sola baskınlığını ifade eden kurtosis katsayısının -0.191 olması, değerlerin az da olsa normal dağılım grafiğinde, ortalamanın solunda yer aldığını göstermektedir.

Şekil 5.4'te çizilen histogramdan da görüldüğü üzere, verilerin normal bir dağılım sergilediği görülmektedir. Ortalama çevresinde en büyük değerlerini alan frekans değerleri, ortalama dışına çıktıkça, düzgün bir

şekilde azalmaktadır. Kum konisi ve nükleer deneye ait su muhtevası değerlerinin normal dağılım grafiklerine bakılarak, her iki veri grubunun da normal dağılım gösterdiği söylenebilir. Normal dağılım eğrisinin altında, normal dağılıma paralel bir biçimde yayılan frekans değerleri de bu ifadeyi doğrulamaktadır.

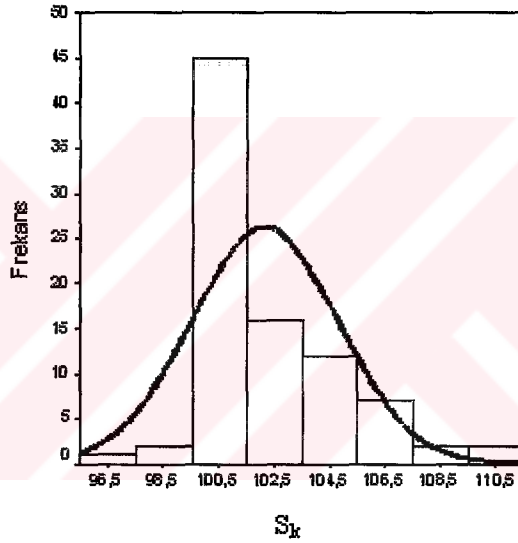


Şekil 5.4. Nükleer deneye ait su muhtevası değerlerinin normal dağılım grafiği

Kum konisi deneyi sonunda elde edilen bir diğer parametre olan sıkışma yüzdesi (S_k) verilerine ait istatistiksel parametreler incelenecek olursa; veriler 95.800 ile 111.080 arasında bir bantta değişim göstermektedir. Bir başka deyişle verilerin dağılım aralığı 15.280'dir. Serideki değerlerin aritmetik ortalaması 102.164'tür. Serideki 87 değerın ortasında yer alan değeri gösteren medyanyı 101.260, en sık tekrarlanan değeri olan mod ise, 100.280'dir. Verilerin merkezden uzaklığının ifadesi olan varyans ve standart sapma değerleri sırası ile 7.001 ve 2.646'dır. Serinin ortalamadan hangi yöne ne ölçüde değiştiği ile ilgili bilgi edinmeyi sağlayan çarpıklık ve basıklık (kurtosis) değerleri de sırasıyla 1.183 ve 1.673'tür. Verilere ait

normal dağılım grafiğinin çizilmesi sonucunda elde edilen eğrinin sağa yatık, verilerin çoğunluğunun da ortalamanın sağında yer aldığı söylenebilir.

Şekil 5.5'teki histograma bakılarak, verilerin büyük çoğunluğunun 100.5 değeri etrafında yer aldığını söylenebilir. Nitekim, bu bölgedeki frekans değerinin pik yapması, bu aykırılığın bir sonucudur. Normal dağılım eğrisinin üzerinde bulunan histogram, grafiğin normal dağılıma uymadığının bir göstergesidir.

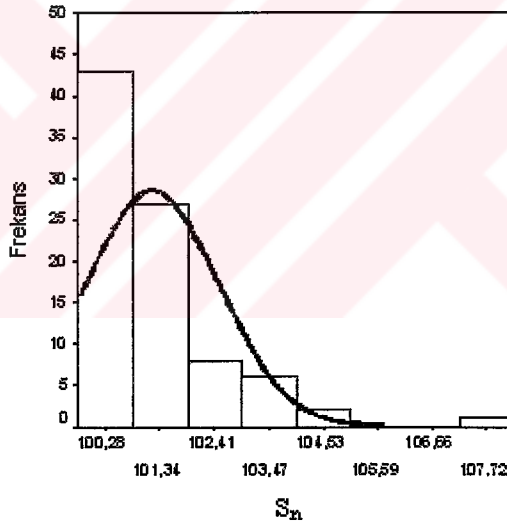


Şekil 5.5. Kum konisi deneyine ait sıkışma yüzdesi değerlerinin normal dağılım grafiği

Son olarak, nükleer deney sonucunda elde edilen sıkışma yüzdesine (S_n) ait veriler incelenecek olursa, 87 deney verisine ait değerlerin ortalaması 101.212'dir. 87 deney verisinin ortasında bulunan değeri ifade eden medyan değeri 100.820'dir. Bu değerlerin en sık tekrar edileni olan mod değeri, 100.760'tır. 87 deney verisinin minimum ve maksimumu, sırası ile 100.000 ve 108.070'dir. Değerler 8.070'lik bir bant içerisinde bulunmaktadır. Varyans ve onun karekökünü ifade eden ve değerlerin merkez etrafında

yayılmasını gösteren değerler de sırası ile, 1.670 ve 1.292'dir. Çarpıklık katsayısının pozitif ve büyük bir değerde olması, normal dağılım eğrisinin önemli ölçüde sağa yatık olduğunu göstermektedir. Kurtosis katsayısının çok yüksek çıkması ise, değerlerin ortalama değer ile minimum değer aralığında yoğunlaştığının göstergesidir.

Şekil 5.6'da görüldüğü gibi, verilerin büyük bir kısmı, 100.28-101.34 aralığında bulunmaktadır. 106.66-107.72 aralığında ise, verilerin yer almadığı gözlemlenebilir. Bir başka ifadeyle, verilerin normal dağılıma uygun olmadığı, grafikte görülmektedir. Kum konisi ve nükleer deneye ait sıkışma yüzdesinin normal dağılım grafikleri karşılaştırılacak olursa, nükleer deney verilerinin daha aykırı bir dağılım sergilediği söylenebilir.



Şekil 5.6. Nükleer deneye ait sıkışma yüzdesi değerlerinin normal dağılım grafiği

5.2. T Testi Analizi

Bu bölümde, kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen verilerin t değerleri aşağıda hesaplanmıştır. Örnek sayısı 30'dan büyük olduğu için, hesaplamalarda z istatistiği kullanılmıştır. Buna göre öncelikle Kum Konisi deney verilerine ait değerleri inceleyecek olursak; %95 güven

aralığı içerisinde kum konisi deneyine ait t değerleri Şekil 5.2’de görülmektedir.

Tablo 5.2. Kum konisi deneyine ait verilerin t testi değerleri

	N	μ	σ	df	t değeri	%95 Güven Aralığında Değişim	
γ_{kk}	87	2.100	0.136	86	154.476	2.073	2.127
ω_k	87	6.376	2.196	86	27.079	5.908	6.844
S_k	87	102.164	2.646	86	360.133	101.600	102.728

Tablo 5.2’de görüldüğü gibi, $p < 0,05$ olduğundan H_0 hipotezi kabul edilmiştir. Bir başka ifadeyle kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerine ait verilerin anlamlı fark bulunmaktadır. Bu durum, hesaplanan ve kritik t değerleri açısından incelenecek olursa, serbestlik derecesi değeri 86 olan, %95 güven aralığında tablolar yardımıyla hesaplanan kritik t değeri (t_{cr}) 1,99 olup bu değer, kum konisi deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerinin her biri için hesaplanan t değerlerinden küçüktür. Böylece ortalamalar arasında istatistiksel bir fark bulunduğu sonucuna varılabilir.

Nükleer deney sonucunda elde edilen parametreler ise, Tablo 5.3’te incelenmiştir. Her deney grubu için 87 adet verinin mevcut olduğu değerlerin, sırası ile ortalamaları, standart sapmaları, serbestlik dereceleri, t değerleri bulunmuş olup, elde edilen verilerin ortalamalarının anlamlı olup olmadığı araştırılmıştır.

Tablo 5.3. Nükleer deneye ait verilerin t testi değerleri

	N	μ	σ	df	t değeri	%95 Güven Aralığında Değişim	
γ_{kn}	87	2.081	0.133	86	145.982	2.053	2.110
ω_n	87	4.971	1.484	86	31.254	4.655	5.287
S_n	87	101.212	1.293	86	730.347	100.936	101.487

Hesaplanan üç t değerleri de, kritik t değeri olan (t_{cr}) 1.99'dan büyük bulunmuştur. Bu durumda nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerine ait ortalamaların her biri için, bir fark bulunduğu sonucuna varılmıştır. Aynı netice, $p < 0.05$ güven düzeyinde H_0 hipotezinin kabul edilmesi ile doğrulanmaktadır. Üç farklı tür verilerin kendi içlerinde ortalamalarının anlamlı olmadıkları söylenebilir.

Kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunup bulunmadığını araştırmak için ise, eşleştirilmiş t testi uygulanmıştır.

Tablo 5.4. $\gamma_k - \gamma_n$ değerlerine ait eşleştirilmiş t testi sonuçları

	Eşleştirilmiş Farklar				
	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	df	t
$\gamma_{kk} - \gamma_{kn}$	0.187	0.058	0.006	86	2.999

Tablo 5.4'de görüldüğü gibi, her kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin ortalamalarının karşılaştırılması açısından, her iki grupta bulunan 87 veriye, eşleştirilmiş t testi uygulanmış ve sonuçta elde edilen t değeri 2.999 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen t değeri, tablolardan hesaplanan kritik t değeri, (t_{cr})1.99'dan büyük bulunmuştur. Bu durumda, her iki deney verisinin ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunduğu söylenebilir.

Tablo 5.5. $\omega_k - \omega_n$ değerlerine ait eşleştirilmiş t testi sonuçları

	Eşleştirilmiş Farklar				
	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	df	t
$\omega_k - \omega_n$	1.405	2.157	0.231	6.076	6.076

Aynı şekilde, kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen bir diğer parametre olan su muhtevası değerlerinin ortalamalarına ait değişimler, eşleştirilmiş t testi ile değerlendirilmiştir. Tablo 5.5’de görüldüğü üzere, eşleştirilmiş t testi sonucunda elde edilen t değeri 6.076 bulunmuş olup, bu değer kritik t değeri olan 1.99’dan büyük olduğu görülmektedir. Buna göre, her iki deney sonucunda elde edilen su muhtevası değerlerinin ortalamaları arasında anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır.

Son olarak da, iki deney sonucunda elde edilen diğer parametre olan sıkışma yüzdesine ait değerlerin ortalamaları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.6’de kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen sıkışma yüzdelere ait değerlerin, eşleştirilmiş t testi ile karşılaştırılması sonucu elde edilen değerler görülmektedir. Hesaplanan t değeri, diğer örneklerde olduğu gibi, burada da kritik t değeri olan 1.99’dan büyük çıkmıştır. Dolayısıyla iki deney verisi ortalamaları arasındaki ilişkinin anlamlılığından söz edilmesi mümkün gözükmemektedir.

Tablo 5.6. S_k-S_n değerlerine ait eşleştirilmiş t testi sonuçları

	Eşleştirilmiş Farklar				
	Ortalama	Standart Sapma	Standart Hata	df	t
S_k-S_n	0.952	2.157	0.315	86	3.023

5.3. Varyans Analizi

Bu çalışma kapsamında, kum konisi ve nükleer deney verileri üzerinde varyans analizi testi uygulanarak, verilerin standart sapmaları arasındaki ilişki araştırılmıştır. Öncelikle her iki deney verisine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin varyans analizi incelenecek olursa; Tablo 5.7’de görüldüğü gibi F değeri, 8.991 olarak hesaplanmıştır. Tablolar yardımıyla hesaplanan kritik F değeri ise (F_{cr}) 3.10 olarak bulunmuştur. Buna göre hesaplanan F değerinin daha büyük çıkması, grupların varyansları arasında istatistiksel anlamda bir ilişki bulunmamaktadır.

Tablo 5.7. γ_k ve γ_n değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Gruplar	N	df	μ	σ	F
γ_{kk}	87	86	2.100	0.136	8.991
γ_{kn}	87	86	2.081	0.133	

Aynı şekilde kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen su muhtevası verilerine ait varyans analizi sonuçları incelenecek olursa; Tablo 5.8’de her iki deneye verilerin değerlendirilmesi sonucu elde edilen F değeri görülmektedir. Ayrıca tablolardan yararlanılarak bulunan kritik F değeri ise, (F_{cr}) 3.10 olarak elde edilmiştir. Hesaplanan ve kritik F değerleri karşılaştırıldığında, hesaplanan F değerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, iki deneye ait su muhtevası değerlerinin varyanslarının anlamlı olmadığı yönünde bilgi vermektedir.

Tablo 5.8. ω_k ve ω_n değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Gruplar	N	df	μ	σ	F
ω_k	87	86	6.376	2.196	36.917
ω_n	87	86	4.971	1.484	

Son olarak, kum konisi ve nükleer deneye ait sıkışma yüzdelere ilişkin varyans analizi testi uygulanmıştır. Tablo 5.9’de görüldüğü üzere, hesaplanan F değeri, su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin sonuçlarda olduğu gibi, kritik F değeri olan (F_{cr}) 3.10 değerinden yine yüksek çıkmıştır. Bu durumda kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen sıkışma yüzdesi değerlerinin varyansları arasındaki ilişkinin anlamlı olmadığı söylenebilir. Ayrıca F değerleri kendi aralarında incelenecek olursa, su muhtevasına ait F değerinin, diğer F değerlerine göre daha yüksek

çıkması, su muhtevasına ilişkin değerlerin daha aykırı olduğu sonucunu doğurur.

Tablo 5.9. S_k ve S_n değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Gruplar	N	df	μ	σ	F
S_k	87	86	102.164	2.646	9.136
S_n	87	86	101.212	1.293	

5.4.Ki-Kare Testi Analizi

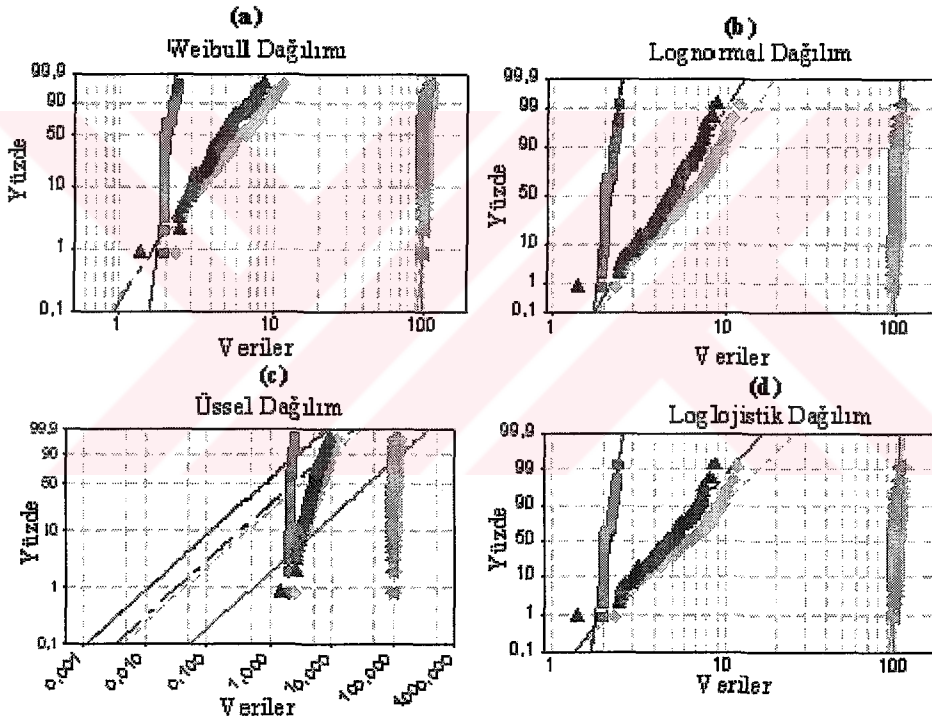
Kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen verilerin normal dağılıma uygun olup olmadığının araştırılması açısından kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerine ait değerler, Ki-Kare uygunluk testine tabi tutulmuştur. 0.05 önem seviyesinde test edilecek değerlere ait kritik χ^2 değeri, tablolardan yararlanılarak 108.65 olarak bulunmuştur. Kritik Ki-Kare değeri bulunduktan sonra, bu değer hesaplanan altı farklı Ki-Kare değeri ile karşılaştırılır. Ki-Kare testi sonunda elde edilen sonuçlar tablo 5.10'da gösterilmektedir. Hesaplanan Ki-Kare değerlerinin tümü, görüldüğü üzere, kritik değerden küçük çıkmıştır. Buna göre H_0 hipotezi kabul edilir. Bir başka deyişle, altı farklı gruba ait verilerin tamamı için, gözlenen değer ile beklenen değer arasındaki farklılığın 0.05 önem seviyesinde önemli olmadığı söylenebilir.

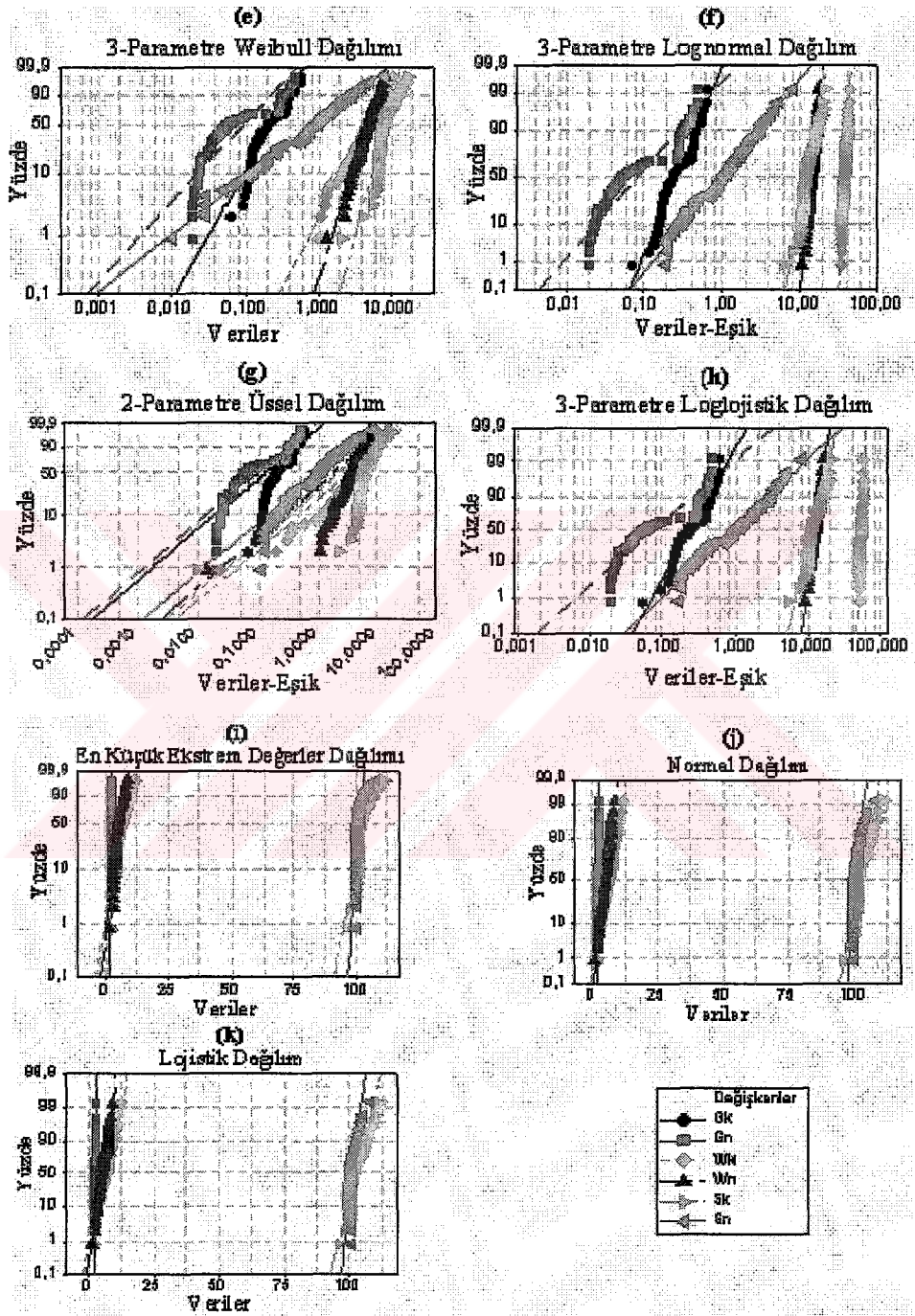
Tablo 5.10. Kum konisi ve nükleer deney verilerine ait χ^2 değerleri

	N	df	Eij	$\Sigma(Oij - Eij)$	$\Sigma(Oij - Eij)^2$	X^2
γ_{kk}	87	86	2.100	0.009	1.383	0.659
γ_{kn}	87	86	2.081	0.038	1.521	0.731
ω_k	87	86	6.376	0.041	414.876	65.068
ω_n	87	86	4.971	0.003	189.280	38.077
S_k	87	86	102.164	-0.008	602.124	5.894
S_n	87	86	101.212	0.011	143.604	1.419

5.5. Anderson-Darling Testi Analizi

Kum konisi ve nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesine ait verilerin değerlerinin hangi dağılıma uyduğunun araştırılması açısından, tüm deney verileri için Anderson-Darling testi uygulanmıştır. Bu işlem istatistiksel analiz programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçta uygunluk bazında elde edilen 11 farklı grafik değerlendirilmiş ve Anderson-Darling testi ile korelasyon katsayısına ait sonuçları içeren tablolar aşağıda yer verilmiştir.





Şekil 5.7. Kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerine ilişkin uygunluk testleri a)Weibull Dağılımı b)Lognormal Dağılım c)Üssel Dağılım d) Loglojistik Dağılım e)3 Parametre Weibull Dağılımı f)3 Parametre Lognormal Dağılım g)2 Parametre Üssel Dağılım h)3 Parametre Loglojistik Dağılım i)En Küçük Ekstrem Değerler Dağılımı j)Normal Dağılım k) Lojistik Dağılım

Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin hangi dağılıma uyduğunun araştırılması için, deney verileri, Anderson-Darling testine tabi tutuldular. Anderson-Darling testi sonunda elde edilen grafikler, Anderson-Darling test verileri ve bunlara ilişkin korelasyon katsayıları Tablo 5.11’de belirtilmiştir.

Tablo 5.11. Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin uygunluk test sonuçları

Dağılım	Anderson-Darling Testi	Korelasyon Katsayısı
Weibull	11.066	0.886
Lognormal	3.721	0.956
Üstel	79.339	*
Loglojistik	4.594	0.947
3-Parametre Weibull	3.759	0.956
3-Parametre Lognormal	2.208	0.973
2-Parametre Üstel	16.649	*
3-Parametre Loglojistik	2.778	0.966
En Küçük Ekstrem Değerler	11.964	0.877
Normal	3.962	0.951
Lojistik	4.805	0.943

Elde edilen Anderson-Darling değerleri incelenerek, en küçük değere hangi dağılımda sahip olduğu incelenmiştir. Anderson-Darling değerinin, en küçük değerini aldığı dağılımda, korelasyon katsayısı da 1’e en yakın değerini almaktadır. Buna göre Anderson-Darling test verisi en küçük değeri 3-parametre lognormal dağılımında elde etmiştir. Bir başka deyişle, kum

konisi deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerine ait verilerin 3-parametre lognormal dağılıma uyduğu söylenebilir. Aynı şekilde, korelasyon katsayısının 1'e en çok yaklaştığı dağılımın 3-parametre lognormal dağılım olması da, bu dağılıma uygunluğun doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık değerlerine ilişkin uygunluk testi sonuçları Tablo 5.12'de görülmektedir. Her bir dağılıma ait Anderson-Darling değerleri incelenecek olursa, verilerin dağılımının 2-Parametre üstel dağılıma en uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 5.12. Nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin uygunluk test sonuçları

Dağılım	Anderson-Darling Testi	Korelasyon Katsayısı
Weibull	29.329	0.782
Lognormal	10.945	0.882
Üstel	79.142	*
Loglojistik	12.584	0.871
3-Parametre Weibull	13.731	0.885
3-Parametre Lognormal	6.224	0.941
2-Parametre Üstel	5.241	*
3-Parametre Loglojistik	6.161	0.923
En Küçük Ekstrem Değerler	29.501	0.777
Normal	11.103	0.879
Lojistik	12.704	0.869

Kum konisi deneyine sonucunda elde edilen su muhtevası değerlerinin hangi dağılıma uyduğunun araştırılması aşamasında, gerekli hesaplamalar yapılarak, Tablo 5.13'deki değerler elde edilmiştir. Buradaki değerler incelenecek olursa; en küçük Anderson-Darling test sonucu normal dağılım sonucunda elde edilmiştir. Böylece verilerin normal dağılıma uyduğu söylenebilir. Ayrıca Anderson-Darling değerinin minimum olduğu değerde,

korelasyon katsayısı da 1'e en yakın değerini almıştır. Bu durumda, korelasyon katsayısının 1'e en çok yaklaştığı dağılımın normal dağılım olması da, bu dağılıma uygunluğun doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Tablo 5.13. Kum konisi deneyine ait su muhtevası değerlerinin uygunluk test sonuçları

Dağılım	Anderson-Darling Testi	Korelasyon Katsayısı
Weibull	0.527	0.990
Lognormal	1.137	0.982
Üstel	34.505	*
Loglojistik	1.401	0.976
3-Parametre Weibull	0.444	0.994
3-Parametre Lognormal	0.473	0.994
2-Parametre Üstel	14.999	*
3-Parametre Loglojistik	0.855	0.987
En Küçük Ekstrem Değerler	2.644	0.957
Normal	0.476	0.994
Lojistik	0.850	0.987

Nükleer deneye ait su muhtevası değerleri üzerinde yapılan uygunluk testine ait sonuçlar, Tablo 5.14'de yer almaktadır. Şekilde yer alan Anderson-Darling değerleri, tüm dağılımlar için kendi içlerinde karşılaştırıldığında, Anderson-Darling testinin en küçük değerini normal dağılımda aldığı görülmektedir. Bir başka ifadeyle, nükleer deneye ait su muhtevası değerlerinin normal dağılım gösterdiğini söylemek mümkündür.

Tablo 5.14. Nükleer deneye ait su muhtevası değerlerinin uygunluk test sonuçları

Dağılım	Anderson-Darling Testi	Korelasyon Katsayısı
Weibull	0.803	0.991
Lognormal	0.610	0.982
Üstel	40.593	*
Loglojistik	0.610	0.983
3-Parametre Weibull	0.774	0.991
3-Parametre Lognormal	0.391	0.996
2-Parametre Üstel	27.099	*
3-Parametre Loglojistik	0.447	0.994
En Küçük Ekstrem Değerler	4.144	0.954
Normal	0.575	0.994
Lojistik	0.625	0.991

Hem kum konisi deneyi hem de nükleer deney sonucunda elde edilen su muhtevası değerleri, normal dağılıma uygunluk göstermektedirler. Bu durumu doğrulayan bir diğer sonuç ise, normal dağılıma uygunluk hakkında fikir veren Lilliefors testi ve Jarque-Bera testinin sonucudur. Normal dağılıma uygunluk testlerinden Lilliefors testi sonucunda, su muhtevasının her iki deney veri grubu için, hipotez testi sonucu olarak $H_0=0$ elde edilir. Bu durum kurulan hipotezin farksızlığını doğrulamaktadır. Bir başka deyişle, değerlerin normal dağılıma uyduğunu desteklemektedir. Normal dağılıma uygunluk açısından uygulanan bir diğer test ise, Jarque-Bera testidir. Bu test ile de elde edilen sonuç, $H_0=0$ olup, her iki su muhtevası veri grubunun, normal dağılıma uygunluk gösterdiği söylenebilir.

Tablo 5.15. Kum konisi deneyine ait sıkışma yüzdesi değerlerinin uygunluk test sonuçları

Dağılım	Anderson-Darling Testi	Korelasyon Katsayısı
Weibull	14.235	0.859
Lognormal	4.314	0.937
Üstel	86.623	*
Loglojistik	4.235	0.943
3-Parametre Weibull	6.856	0.913
3-Parametre Lognormal	3.081	0.953
2-Parametre Üstel	29.812	*
3-Parametre Loglojistik	2.950	0.959
En Küçük Ekstrem Değerler	14.860	0.852
Normal	4.519	0.933
Lojistik	4.423	0.939

Kum konisi deneyi sonucunda elde edilen sıkışma yüzdesi değerlerinin hangi dağılıma uyduğunun araştırılması için yapılan Anderson-Darling testine ait sonuçlar Tablo 5.15’de yer almaktadır. Dağılımlara ait Anderson-Darling değerlerinden en küçük değer 3-parametre lognormal dağılımda elde edilmiştir. Bu durum, kum konisi deneyi sonunda elde edilen sıkışma yüzdesi verilerinin 3-Parametre Lognormal dağılıma uyduğunu göstermektedir. Aynı şekilde, korelasyon katsayısının 1’e en çok yaklaştığı dağılımın 3-parametre lognormal dağılım olması da, bu dağılıma uygunluğun doğruluğunu kanıtlamaktadır.

Tablo 5.16. Nükleer deneye ait sıkışma yüzdesi değerlerinin uygunluk test sonuçları

Dağılım	Anderson-Darling Testi	Korelasyon Katsayısı
Weibull	14.239	0.770
Lognormal	4.511	0.880
Üstel	89.508	*
Loglojistik	4.043	0.888
3-Parametre Weibull	0.445	0.995
3-Parametre Lognormal	0.605	0.993
2-Parametre Üstel	1.035	*
3-Parametre Loglojistik	0.895	0.986
En Küçük Ekstrem Değerler	14.378	0.764
Normal	4.655	0.875
Lojistik	4.162	0.883

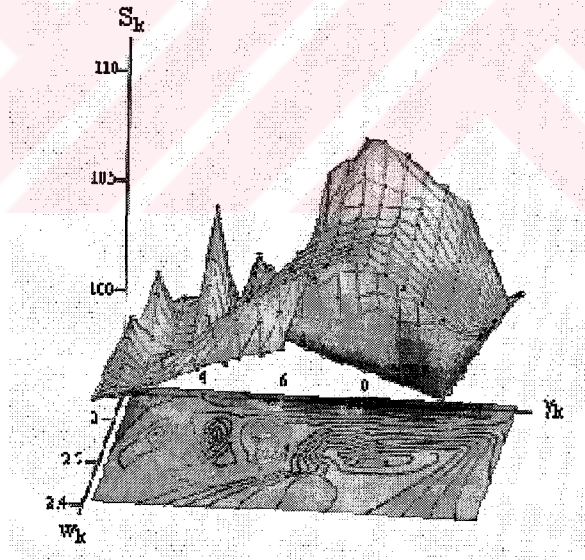
Son olarak, nükleer deney sonucunda elde edilen sıkışma yüzdesi değerlerinin normal dağılıma uygunlukları açısından değerlendirildikleri Anderson-Darling testi sonuçları Tablo 5.16’de yer almaktadır. Buna göre en küçük Anderson-Darling test sonucu, 3-Parametre Weibull dağılımında elde edilmiştir. Böylece, nükleer deneye ait sıkışma yüzdesi değerlerinin 3-Parametre Weibull dağılımına uyduğu söylenebilir. Ayrıca korelasyon katsayısının 1’e en yakın değerinin yine 3-Parametre Weibull dağılımında elde edilmesi, bu dağılımın doğruluğunu göstermektedir.

5.6. Parametreler Arası Saçılma Analizi

Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi verileri ile nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi parametrelerinin arasındaki ilişkinin araştırılması aşamasında, iki boyutlu ve üç boyutlu saçılma grafikleri ile bunlara ilişkin kontur diyagramları aşağıda yer almaktadır. İncelenen 6 farklı parametrenin sonucunda, çeşitli şekilde gruplaşmalar

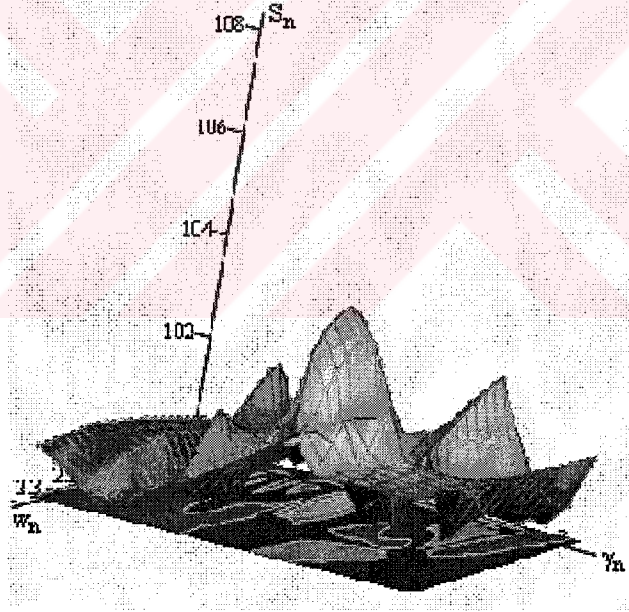
dahilinde çizilen grafiklerde verilerin saçılmaları, farklı bir ifade ile, birbirlerine göre dağılımları incelenmiştir.

Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerinin üç boyutlu saçılma grafikleri ve kontur diyagramları Şekil 5.8’de görülmektedir. Eksenlere yerleşime bakılacak olursa, X, Y, Z eksenlerine sırası ile γ_{kk} , ω_k ve S_k değerleri girilmiştir. Grafik ile ilgili olarak; öncelikle, verilerin dağılımın çok düzensiz olduğu söylenebilir. Pek çok tepe ve çukur noktaya sahip olan grafik, doğrusal olmayan bir yapıda görünmektedir. Tepe noktalarından en fazla göze çarpanı, su muhtevasının 7-11 aralığı ile kuru birim hacim ağırlığının 2.1-2.3 bandında, sıkışma yüzdesine ait değerlerde meydana gelen artıştır. Kontur diyagramında izohips eğrilerindeki sıklaşmadan da bu bölgedeki pik oluşumu gözlenebilir.



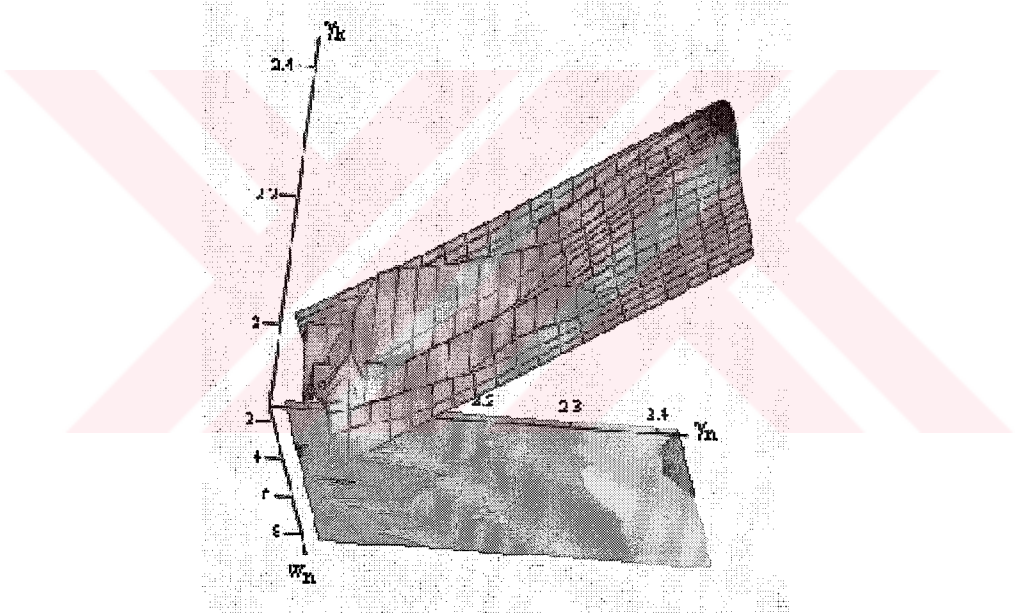
Şekil 5.8. $\gamma_{kk} - \omega_k - S_k$ değişiminin üç boyutlu yüzey ve kontur diyagramı üzerinde gösterimi

Şekil 5.9, nükleer deney sonucunda elde edilen veriler olan kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi değerlerine ait verilerin üç boyutlu değişimlerini ve kontur diyagramlarını göstermektedir. Grafik ile ilgili olarak, öncelikle değerlerin ortalamadan çok saptığını görülmektedir. Veriler geniş bir alana yayılmakta ve çok sayıda pik oluşturmaktadır. Grafik üzerinde dalgalanmanın oldukça fazla olması sebebiyle, değerler arasında lineer bir ilişkiden söz etmek mümkün değildir. Kontur diyagramından da görüldüğü gibi, su muhtevasının %4–5 aralığı ile kuru birim hacim ağırlık değerinin ise 2.06-2.14 bandında, sıkışma yüzdesi değerleri, en yüksek değerleri almıştır. Bununla birlikte, grafikteki çukur noktalar, birbirinden ayrı konumlara sahip bir yapı sergilemişlerdir.



Şekil 5.9. $\gamma_{kn} - \omega_n - S_n$ değişiminin üç boyutlu yüzey ve kontur diyagramı üzerinde gösterimi

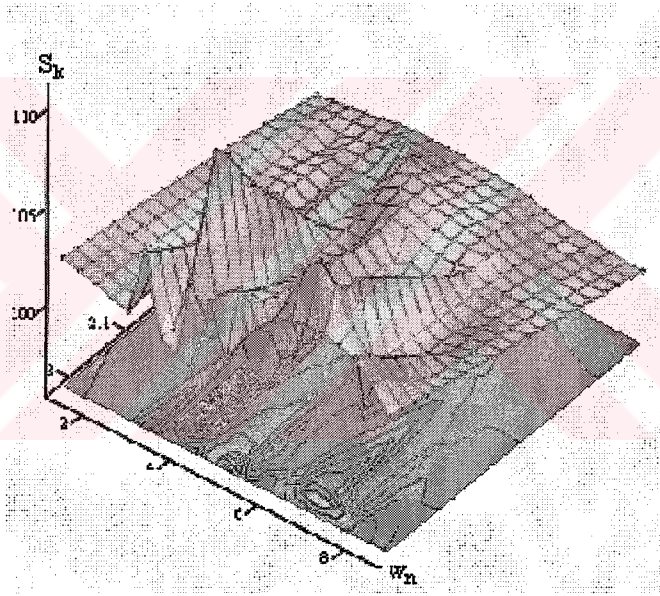
Şekil 5.10'de kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık (γ_{kn}) değerinin, nükleer deney sonucu elde edilen su muhtevası (ω_n) ve kuru birim hacim ağırlığa (γ_{kn}) göre değişimlerini içeren üç boyutlu grafik ve buna ait kontur diyagramı görülmektedir. X, Y ve Z eksenlerine sırası ile ω_n , γ_{kn} ve γ_{kk} parametreleri yerleştirilmiştir. İlk olarak, verilerin her ne kadar pik ve çukur değerlere sahip olsalar da, lineer bir ilişkiye sahip olduklarını söylemek mümkündür. Kontur diyagramında izohips eğrilerinin paralel olması göz önünde bulundurularak, lineerlik doğrulanabilir. Bununla birlikte su muhtevasının 4 ve 7 olduğu değerlerde, grafiğin pik yaptığı söylenebilir.



Şekil 5.10. $\omega_n - \gamma_{kn} - \gamma_{kk}$ değişiminin üç boyutlu yüzey ve kontur diyagramı üzerinde gösterimi

Nükleer deneye ait su muhtevası (ω_n) ve kuru birim hacim ağırlık (γ_{kn}) değerlerinin kum konisine ait sıkışma yüzdesi (S_k) değerleri ile değişimini gösteren üç boyutlu saçılma grafiği ve buna ait kontur diyagramı Şekil 5.11'de görülmektedir. Eksenlere yerleşime bakılacak olursa, X, Y ve Z

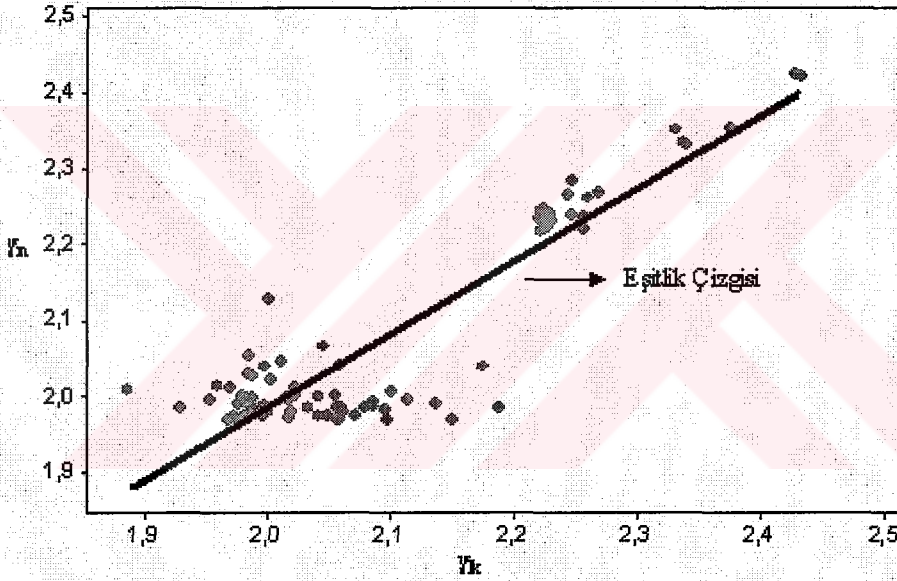
eksenlerine sırası ile ω_n , γ_n ve γ_k değerleri girilmiştir. Grafik ile ilgili olarak, öncelikle verilerin dağınık bir dağılıma sahip oldukları söylemek mümkündür. Birçok tepe ve çukur nokta içeren grafikte, lineerlikten söz etmek mümkün değildir. Göze çarpan iki önemli pik noktasından biri, su muhtevasının 4 değerine karşılık, kuru birim hacim ağırlığının 2.05'te kesiştiği noktadır. Diğer nokta ise, su muhtevasının 7 değerine karşılık kuru birim hacim ağırlığının 2'deki kesiştiği noktadır. Diğer saçılmalar ile karşılaştırıldığında, $\omega_n - \gamma_{kn} - S_k$ ilişkisinin daha doğrusal bir yapıda olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 5.11. $\omega_n - \gamma_{kn} - S_k$ değişiminin üç boyutlu yüzey ve kontur diyagramı üzerinde gösterimi

Kum konisi deneyi ve nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin ortak bir grafik üzerine aktarılması sonucu elde edilen iki boyutlu grafik Şekil 5.12'de görülmektedir. Buna göre, verilerinin dağılımının dağınık olduğu söylenebilir. Kuru birim hacim değerleri arasında lineer bir ilişkiden söz edilemez. Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim

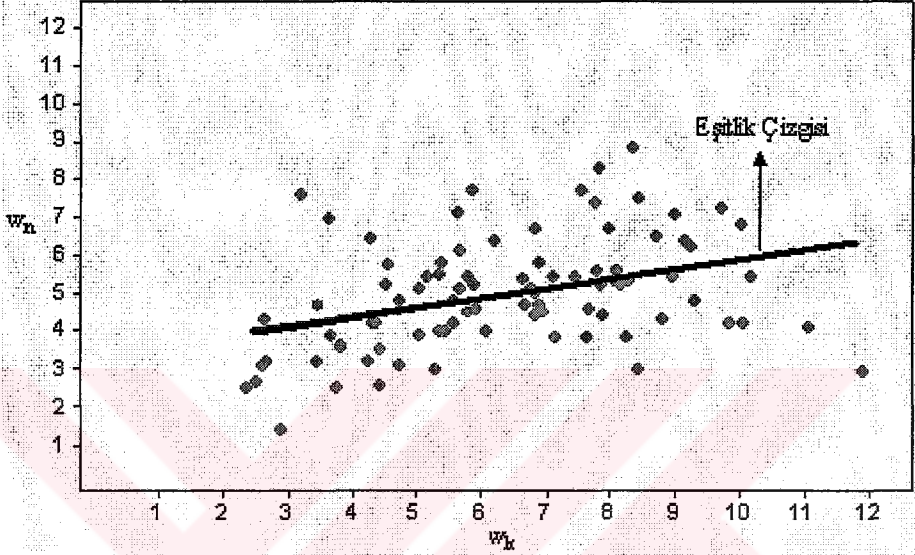
ağırlık değerlerinin çoğunluğu 1.95 ile 2.10 aralığında toplanmıştır. Aynı şekilde nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık değerleri de 1.95 ile 2.05 arasında yoğunlaştığı söylenebilir. Diğer taraftan her iki deneye ait değerlerin bir kısmı ise 2.2–2.3 aralığında yer almıştır. Genel olarak, optimum düzeyin belirlenmesinde çizilen doğru da, değerler arasında doğrusallığın bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca çizilen saçılma ve kontur diyagramına bakılarak; $\omega_n - \gamma_{kn} - S_k$ arasındaki ilişkinin, diğer grafiklere göre daha stabil bir durumda olduğu belirtilebilir.



Şekil 5.12. Kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin saçılma grafiği

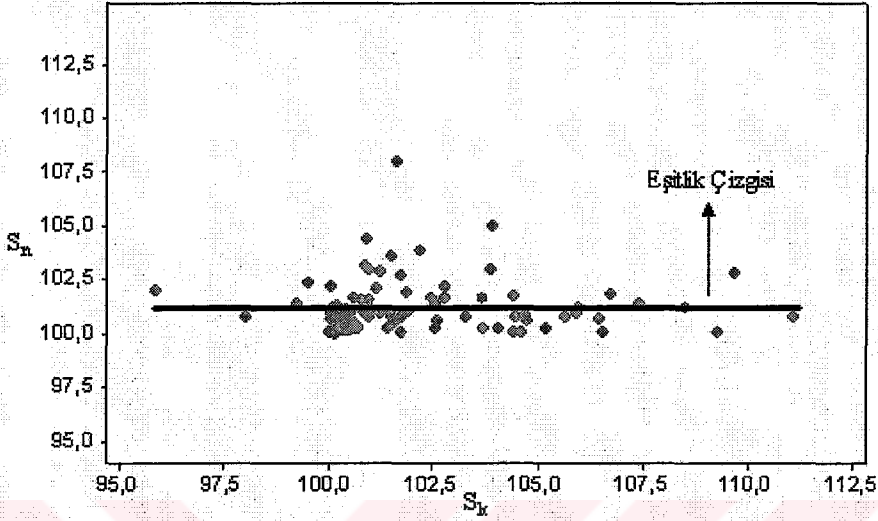
Şekil 5.13’de kum konisi ve nükleer deneye ait su muhtevası değerlerinin saçılım grafiği görülmektedir. Öncelikle değerlerin fazlasıyla dağınık bir yapıda bulunduğunu söylemek mümkündür. Kum konisi deneyine ait su muhtevası değerleri 2 ile 12 arasında, 10 birimlik bir bantta bulunmakta, diğer taraftan nükleer deneye ait su muhtevası değerleri ise, 1-9

aralığında yer almaktadır. Sonuç olarak, iki parametre arasında lineer bir ilişkiden söz etmek mümkün değildir.



Şekil 5.13. Kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen su muhtevası değerlerinin saçılma grafiği

Son olarak, kum konisi deneyi ve nükleer deneye ait sıkışma yüzdesi değerlerinin saçılım grafiği Şekil 5.14'de yer almaktadır. Her ne kadar, iki deney grubu için verilerin 100-102.5 aralığında toplandığı görülse de, verilerin saçılımının düzgün olmadığı açıktır. Başka bir deyişle, arasında doğrusal bir ilişkiden söz etmek mümkün değildir.



Şekil 5.14. Kum konisi ve nükleer deney sonucu elde edilen sıkışma yüzdesi değerlerinin saçılma grafiği

İncelenen grafikler sonucunda, elde edilen ortak sonuç, saçılımların doğrusal olmayan bir davranış sergilemesidir. İlgili doğrusal olmayan davranışın fonksiyonun türetilmesinde ise, parametrelere ait doğrusal olmayan regresyon denklemleri geliştirilmiştir.

6. REGRESYON İLE MODELİN OLUŞTURULMASI

6.1. Regresyon Analizi

Regresyon, sözlük anlamıyla bir şeyi bir başka şeye bağlama işi ve biçimidir. Bilimsel olarak regresyon terimi, bir değişken ile birden çok değişken arasında ilişki kurma ve ilişkinin biçimini anlatır. İstatistiksel anlamda iki değişken arasındaki ilişki, bunların değerlerinin karşılıklı değişimleri arasında bir bağıllık şeklinde anlaşılır. Regresyon analizi, biri bağımlı değişken, diğeri ise bağımsız değişken olmak üzere en az iki değişken arasındaki ortalama ilişkinin matematik bir fonksiyon şeklinde yazılmasıdır. Bu fonksiyona regresyon denklemi adı verilmektedir. Regresyon denklemi yardımıyla bağımsız değişkenlerin çeşitli değerlerine karşılık bağımlı değişkenin alacağı değer tahmin edilir. Bağımlı değişkeni etkileyen bağımsız değişkenlerin saptanmış olması da bağımlı değişken üzerinde geliştirilecek metotlarda hangi değişkenlerin önem kazandığını ortaya çıkarmaktadır (Şıklar, 2000).

İstatistik biliminin önemli konularından birisini regresyon analizi oluşturmaktadır. Regresyon analizi, araştırma, matematik, finans, ekonomi, tıp gibi bilim alanlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Regresyon analizinin temelinde; gözlenen bir olayın değerlendirilirken, hangi olayların etkisi içinde olduğunun araştırılması yatmaktadır. Bu olaylar bir veya birden çok olacağı gibi dolaylı veya direkt etkileniyor da olabilirler. Regresyon analizi yapılırken, gözlem değerlerinin ve etkilenilen olayların bir matematiksel gösterimle yani bir fonksiyon yardımıyla ifadesi gerekmektedir. Kurulan bu modele regresyon modeli denilmektedir.

Birçok mühendislik problemlerinde iki ya da daha çok sayıda rasgele değişkenin aynı gözlem sırasında aldıkları değerlerin birbirinden istatistik bakımından bağımsız olmadığını, dolayısıyla bu değişkenler arasında bir ilişki bulunduğu görülmüştür. İki değişken arasında bir ilişki bulunması,

bunlardan birinin diğerinden etkilenmesi, ya da her iki değişkenin başka değişkenlerden birlikte etkilenmelerinden kaynaklanır. Ancak söz konusu ilişkiler fonksiyonel nitelikte değildir, yani değişkenlerden biri belirli bir değer aldığı anda diğerinin her zaman aynı değeri alacağı söylenemez. Söz konusu ilişkide göz önüne alınmayan diğer değişkenlerin etkisiyle bu değer çeşitli gözlemlerde az çok farklı olabilir. Yine de değişkenler arasındaki fonksiyonel olmayan bağıntının varlığının ortaya çıkarılması ve biçiminin belirlenmesi pratikte büyük önem taşır. Dahası, bu bağıntıyı kullanarak bir değişkenin alacağı değeri diğer bir ya da birden fazla değişkenin bilinen değerlerine bağlı olarak tahmin etmek mümkün olur. Her ne kadar elde edilen tahmin değeri, araştırılan ilişkinin gerçek değerini kesin olarak vermemekle birlikte, bu değere yakın en iyi tahmin olmaktadır. Tahmin edilen değer gerçek değerden olan farkının, yani hatanın da belli bir olasılıkta, istenilen sınırlar içinde kalacağı söylenebilir (Bayazıt ve Oğuz, 1994).

Regresyon analizinin amacı, göz önüne alınan değişkenler arasında anlamlı bir ilişki bulunup bulunmadığını belirtmek, böyle bir ilişki varsa bu ilişkiyi ifade eden regresyon denklemini elde etmek ve bu denklemi kullanarak yapılacak tahminlerin güven aralıklarını hesaplamaktır.

Regresyon analizine başlarken aralarında bir ilişki aranacak olan iki yada daha fazla sayıda değişkenin hangileri olduğuna karar vermek, sonra da bu değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren denklemin biçimi için bir kabul yapmak gerekir. Buna göre regresyon analizi şu şekilde sınıflandırılabilir :

1. Basit Doğrusal Regresyon Analizi : En çok kullanılan ve en basit olan bu analizde iki değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilir.

2. Çok Değişkenli Doğrusal Regresyon Analizi : İki'den daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu kabul edilir.

3. Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi : Burada iki yada daha fazla sayıda değişken arasında doğrusal olmayan ve biçimi önceden seçilen bir denklemle ifade edilen bir ilişkinin varlığı kabul edilir.

Tablo 6.1. Regresyon Modelinin Şematik Gösterimi

Basit Doğrusal Regresyon Modeli: $Y = a + bc + e_i$	
Çoklu Regresyon Modeli:	$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + ... + e_i$
Y :	Bağımlı değişken
$X_1, X_2, X_3, ... :$	Bağımsız değişkenler
$a, b, c, d, ... :$	Katsayılar
$e_i :$	Hata terimi

6.2. Korelasyon Analizi

İki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin ölçülerinden biri korelasyon katsayısıdır. İki değişken arasındaki ilişki incelenirken birçok durumda değişkenlerden hangisinin bağımlı, hangisinin bağımsız değişken olduğu bilinemez. Örneğin insanların boyları ile ağırlıkları arasındaki ilişkide, boyun mu ağırlığa bağlı olarak değiştiği yoksa ağırlığın mı boya bağlı olarak değiştiği bilinemez. Ancak aralarında bir ilişki olduğu gerçektir. Bu gibi durumlarda ilişkinin incelenmesinde korelasyon katsayısı kullanılır (Türkbal, 1981).

Korelasyon analizinde, bir ana kütleden seçilmiş en az iki veya daha fazla örnek grup alınarak, bu gruplar arasındaki etkileşime bir katsayı yardımıyla bakılır. Bu katsayı korelasyon katsayısıdır ve “r” ile gösterilir. Korelasyon analizinin yapılacağı değişkenler arasında etkileşime bakılırken, regresyon analizinde olduğu gibi bağımlı değişken veya bağımsız değişken olma şartı aranmaz. Korelasyonuna bakılacak olan değişken gruplar ikiden

fazla olsalar dahi ikili olarak ele alınırlar ve bu ikili değişkenlerin etkileşimi, katsayı yardımıyla yön ve kuvvet olarak tayin edilirler.

Korelasyon analizinin hesaplanmasında ilk olarak determinasyon katsayısından yararlanılır. Determinasyon katsayısı, r^2 ile gösterilir ve matematiksel olarak;

$$r^2 = 1 - \frac{e_i^2}{o_i^2} \quad (8)$$

şeklinde gösterilir. Bütün örnek değerlerinin, regresyon doğrusu üzerinde yer alması durumunda, tam bir uygunluktan söz konusu edilebilirdi, fakat gerçek değerler ile hesaplanan değerler arasında çoğu zaman bir fark mevcuttur ve bu farkın hesaplanmasında determinasyon katsayısından yararlanılarak, korelasyon katsayısına geçilir. İki değişkenli durumlarda r^2 , çoklu regresyonda R^2 ile gösterilen determinasyon katsayısı, örnek regresyon doğrusunun verilere ne kadar iyi uyduğunu belirlemede kullanılan bir istatistiksel yöntemdir.

Korelasyon katsayısı, değişkenlerin yönü, etkileşimlerin nasıl olduğu hakkında bilgi verir. Değişkenlerin birbiri arasında etkileşim var mı, varsa etkileşimin çok fazla mı yani kuvvetli mi olduğu ve gözlem gruplarından birinin gözlem değerleri artarken diğerinin azalıyor mu yoksa aynı yönde mi değerleri değişiyor olduğu gözlenebilir. Korelasyon katsayısı -1 ile $+1$ arasında değişen değerler alır. Katsayı, etkileşimin olmadığı durumda 0 , tam ve kuvvetli bir etkileşim varsa 1 , ters yönlü ve tam bir etkileşim varsa -1 değerini alır. Korelasyon katsayısı basit olarak -1 ile 1 değerleri arasında değişen ve bağımsız değişkenler hakkında bilgi veren bir değerden oluşmaktadır.

Belirli sayıda gözlem değerinden oluşan iki grup için korelasyon katsayısının hesaplanışında, öncelikle X ve Y olarak adlandırılan n adet gözlem değerine ait, iki değişken grup varsa, bu gruplar arasındaki

korelasyona, aşağıda verilen formül dahilinde, açıklamalarda belirtilmiş işlemler yapılarak bakılmaktadır.

$$r = \frac{\sum x.y}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (9)$$

1. X ve Y, n adet gözlemden oluşan iki değişken gözlem dizidir.
2. $(Y - \bar{Y}) = y$ olarak, $(X - \bar{X}) = x$ olarak ifade edilirler. Tüm gözlem değerleri, ortalamadan çıkarılarak x ve y dizileri oluşturulur.
3. x ile y dizisinin değerleri teker teker çarpılır. Toplamları bulunur.
4. x dizisinin ve y dizisinin ayrı ayrı kareleri alınır. Toplamları bulunur.
5. x ile y dizisi çarpılarak toplamları alınmış değer, x dizisinin karesi alınarak toplamı bulunmuş değer ile y dizisinin çarpılarak toplamları alınmış değere bölünür.

Sonuç olarak, korelasyon analizi gözlem değerlerinin birbirleri ile olan etkileşimlerini göstermekte olup, ana kütleden çekilecek örnek gözlemlerin sayısı yeterli olduğunda anlamlı sonuçlar verebilmektedir. Yetersiz olan gözlem değerleri için gözlem değeri arttırılarak yapılan korelasyon katsayısı hesaplanmasında, anlamlı sonuç almak mümkün olabilmektedir. Korelasyon katsayısının anlamlılığına, test ederek bakıldığında daha güvenilir sonuç elde edilmiş olunur.

Korelasyon analizinin temeli, hata terimlerinin analizine dayanır. Hata terimi, modele alınmayan değişkenlerin etkisini topluca belirtir. Gözlem değerleri ile denklem değerleri arasındaki sapmanın nedenleri, aşağıdaki şekilde ifade edilebilir :

- Bağımlı değişkenin alacağı değeri, doğrudan yada dolaylı olarak etkileyen çok sayıda değişken vardır. Bunların tümünü ele alıp incelemek olanaksızdır.
- Değişkenlerin tümü bağıntıda belirtilse bile, geoteknik olayların her birinin başka değişkenlerden etkilenmesi, hata teriminin kaynaklarından birini oluşturur.
- Çeşitli nedenlerden dolayı gözlem değerlerinde yapılan yanlışlıklar, hata teriminin bir diğer kaynağıdır.

Hata terimi analizinde en yaygın yöntem, “En Küçük Kareler Yöntemi” adı ile bilinen ve gözlemlerin geçirilen doğrudan olan uzaklıklarının karelerinin toplamının en küçük yapılmasına dayanan bir yöntemdir. En Küçük Kareler Yöntemi, basit doğrusal, çoklu regresyon modellerinin çözümlenmesinde kullanıldığı gibi, çok denklemlili mühendislik modellerin çözümünde de kullanılan tekniklerin temelidir. Kurulan regresyon modellerinde gözlemler, ana kütle gözlem değerlerinden herhangi şekilde alınmış gözlemler olduğu düşünülürse, alınan gözlem değerlerinden başka aynı sayıda olan fakat farklı olasılıklarla çok daha fazla gözlem alınabilmektedir. Kurulan regresyon modeli ilgilenilen problemle ilgili örnek olarak alınmış gözlem değerleri kullanılarak hesaplanmaya çalışılır. Bu nedenle kurulan modeldeki değerler tahmini değerler olacaktır. Tahmin edilmeye çalışılan sonuç değişkeni $\bar{Y}$ ve sebep değişkeni katsayıları ($\bar{a}$ ve $\bar{b}$ vb.) olarak göstererek, tahmini regresyon denklemi yazılmaktadır. Tahmin olarak adlandırılan katsayıların, gerçek katsayılarla en yakın şekilde hesaplanması için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en iyisi "En Küçük Kareler Yöntemi" olarak isimlendirilen yöntemdir.

Kurulan regresyon modeli, $Y = a + bX$ ise,

Regresyon tahmini modeli, $\bar{Y} = \bar{a} + \bar{b} * X$ olarak gösterilmektedir.

Tahmin modelindeki katsayıların hesaplanması ve katsayılarının ana kütle iyi yansıtıyor mu, yani güvenirliğinin sınanması işlemleri sırasıyla gerçekleştirilecektir. Regresyon analizi uygulamalarında, kurulan matematiksel modeldeki bağımsız değişken veya değişkenlerin bağımlı değişkeni ne oranda etkilediği, katsayılar incelenerek elde edilir. Regresyon analizi için kurulan modelde, bağımlı ve bağımsız değişkenin yanı sıra hata terimi olarak isimlendirilen değişken yer almaktadır (Akdeniz, 1996). Hata teriminin kurulan modele alınma nedenleri;

- Modele alınan Y ve X değişkenleri yapılan araştırmalarda yanlış ölçülmüş olabilir,
- Seçilen değişkenler Y ve X'ler hatalı sayıda alınmış örnekler olabilir,
- İster basit regresyon, ister çoklu regresyon modeline bakılıyor olsun, kurulacak modelde bağımlı değişkene (sonuç değişkeni), etki eden model dışında da bağımsız değişkenler (sebeup değişkenleri) olabilir.

Bu unsurlar genel olarak e_i hata terimi olarak alınır, minimum olması beklenir. Hata terimini minimum yapan yöntem en küçük kareler yöntemi olup, bu yöntem katsayı değerlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Basit doğrusal regresyon kullanımında, $\bar{Y} = \bar{a} + \bar{b} * X + e_i$ olmak üzere; $i=1, 2, \dots, n$ 'e kadar gözlem içerdiği düşünülürse, yukarıdaki tahmini regresyon modelinde yer alan ve katsayıları ile hata teriminin hesaplanması, $i=1$ 'den n 'e kadar olan Y ve X gözlem değerleri kullanılarak aşağıda verilen birtakım matematiksel hesaplamalar ile gerçekleşmektedir.

Çoklu regresyon modelinde ise, bağımsız değişkeni açıklayan birden fazla bağımlı değişken modelde yer almaktadır. Çoklu regresyon modelleri en küçük kareler yöntemi kullanılarak çözümlenebilmektedir. Kurulan çoklu regresyon modeli genel olarak aşağıdaki gibi kurulmaktadır.

$$Y = a + b \times X_2 + c \times X_3 \dots + z \times X_k + e_i \quad (10)$$

İki bağımsız değişkeni içeren modelin en küçük kareler yöntemi ile çözümü,

$$Y = a + b \times X_2 + c \times X_3 + e_i \quad (11)$$

Kurulan çoklu regresyon modeli de basit doğrusal regresyonda olduğu gibi tahmini denklem kurularak hesaplanmaktadır.

$\bar{Y}$, e_i hata terimi olmadan aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{Y} = \bar{a} + b \times X_2 + c \times X_3 \quad (12)$$

$$e_i = Y - \bar{Y} \text{ olmaktadır.} \quad (13)$$

Katsayıların değerleri regresyon analizinin uygunluğu hakkında sonuçlar vermektedir. Seçilen modeldeki herhangi bir bağımsız değişkenin katsayısı yeterli örnek alındığı halde anlamsızdır sonucunu veriyorsa, modeldeki değişken modelden çıkarılmalıdır. Regresyon modelindeki bağımsız değişken katsayıları modelin durumu, anlamlılığı, gücü hakkında bilgi verdiği halde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü ve kuvvetini göstermemektedir. Bu nedenle korelasyon analizi ile bağımlı ve bağımsız değişken veya değişkenler arasındaki ilişkiyi korelasyon analizi ile ölçülür.

6.3. Parametreler arasındaki Doğrusal Olmayan İlişkinin Araştırılması

Kum konisi deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerleri ile nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin arasındaki ilişkinin araştırılması aşamasında, kurulan doğrusal olmayan regresyona ait sonuçlar ve yorumu aşağıda yer almaktadır. Regresyon analizi sonucunda, araştırılan parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin bulunup bulunmadığını tespit etmek amacıyla her regresyon denklemi için Anova testi yapılmış ve 0.05 anlamlılık düzeyinde elde edilen F değerleri verilmiştir. Bununla birlikte determinasyon katsayısını gösteren R^2 değerleri de hesaplanarak, elde edilen regresyon ifadesinin verilerle ne kadar uyum içerisinde olduğu da araştırılmıştır. Buna

göre, hesaplanan doğrusal olmayan regresyon denkleminde, nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık (γ_n) verileri bağımlı değişken, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık (γ_k) verileri ise bağımsız değişken olarak seçilmiş ve aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir:

$$\begin{aligned} \gamma_n = & 214315 \times \gamma_k^9 - 4251827 \times \gamma_k^8 + 37430871 \times \gamma_k^7 - 191918868 \times \gamma_k^6 + \\ & 631596262 \times \gamma_k^5 - 1383544461 \times \gamma_k^4 + 2017352939 \times \gamma_k^3 - \\ & 1888057977 \times \gamma_k^2 + 1029199971 \times \gamma_k - 248966065 \end{aligned} \quad (14)$$

%95 güven aralığında yapılan analiz sonucunda elde edilen determinasyon katsayısı; R^2 , 0.948 ve F değeri de 155.11 olarak bulunmuştur. R^2 'nin 1'e yakın bir değer almış olması, karekökünü ifade eden ve korelasyon katsayısı olarak tanımlanan r değerinin 1'e daha da yaklaştığını göstermektedir. Bu durum ise, kurulan regresyon modelindeki parametreler arasında anlamlı bir ilişkinin bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca F değerinin de, kritik F değeri olan (F_{cr}) 3.10'dan fazlasıyla büyük olması, $\gamma_n - \gamma_k$ arasındaki ilişkinin fazlasıyla kuvvetli olduğunu ifade eder. Diğer taraftan, hesaplamalar sonucu elde edilen katsayıların fazlasıyla büyük değerlerde bulunması, kurulan regresyon denkleminin uygulanabilirliğini azaltmaktadır. Her ne kadar teoride elde edilen sonuçlar gerçeği yansıtıyor görünse de, pratikte denklemin kullanım olasılığı düşüktür.

İkinci olarak, nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık (γ_n) ve su muhtevası (ω_n) değerlerinin bağımsız değişken olarak seçilip, kum konisi deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık (γ_k) değerlerinin ise bağımlı değişken olarak atandığı ve bu parametreler arasındaki ilişkinin elde edilmesi amacıyla kurulan doğrusal olmayan regresyon denklemine göre, aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir:

$$\gamma_k = -11.733 + \frac{66.261}{\gamma_n} + 6.668 \times w_n - \frac{84.996}{\gamma_n^2} + 0.024 \times w_n^2 - \frac{28.606 \times w_n}{\gamma_n} + \frac{16.422}{\gamma_n^3} - \frac{0.021 \times w_n^2}{\gamma_n} + \frac{30.183 \times w_n}{\gamma_n^2} \quad (15)$$

%95 güven aralığında yapılan analiz sonucunda elde edilen R^2 değeri 0.855 ve F değeri de 50.57 olarak bulunmuştur. R^2 'nin 1'e yakın bir değer alması, karekökünü ifade eden ve korelasyon katsayısı olarak tanımlanan r değerinin 1'e daha da yaklaştığını göstermektedir. Bu durum ise, kurulan regresyon modelindeki parametreler arasında anlamlı bir ilişkinin bulunduğunu göstermektedir. Ayrıca F değerinin de, kritik F değeri olan $F_{\text{cri.}}=3.10$ 'dan fazlasıyla büyük olması, $\omega_n - \gamma_n - \gamma_k$ arasındaki ilişkinin fazlasıyla kuvvetli olduğunu ifade eder. Bununla birlikte, hesaplanan katsayıların değerlerine bakıldığında, elde edilen regresyon denkleminin uygulanabilir nitelikte olduğu görülmektedir. Ayrıca denklemde bağımlı değişken olan kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerini; kurulan regresyon denklemindeki katsayıları göz önünde bulundurarak; nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin daha fazla etkilediği söylenebilir.

Üçüncü olarak, nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık (γ_n) ve su muhtevası (ω_n) değerlerinin, kum konisi deneyine ait su muhtevası (ω_k) değerleri ile aralarındaki doğrusal olmayan ilişkinin belirlenmesinde kurulan regresyon denklemi aşağıda yer almaktadır. İlişkide, bağımsız değişkenler olarak γ_n ve ω_n seçilmiş, bağımlı değişken olarak ise, ω_k değerleri seçilmiştir.

$$w_k = 489.516 - \frac{2445.158}{\gamma_n} - 134.878 \times w_n + \frac{3377.742}{\gamma_n^2} - 3.65 \times w_n^2 + \frac{647.997 \times w_n}{\gamma_n} - \frac{775.953}{\gamma_n^3} - 0.05 \times w_n^3 + \frac{9.047 \times w_n^2}{\gamma_n} - \frac{774.714 \times w_n}{\gamma_n^2} \quad (16)$$

Kurulan doğrusal olmayan regresyon denklemi sonunda R^2 değeri 0.514 ve F değeri de 9.05 olarak elde edilmiştir. R^2 'nin karekökü olarak tanımlanan ve korelasyon katsayısı olarak tanımlanan r değerinin 0,717 bulunması, kurulan regresyon denklemindeki üç parametre arasındaki ilişkinin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, F değeri incelenecek olursa, kritik F değerinin 3,10 olduğu göz önünde bulundurulursa, hesaplanan F değerinin kritik değerden yüksek bulunması, kurulan doğrusal olmayan regresyon denkleminin anlamlı olduğunu göstermektedir. Her ne kadar F değeri karşılaştırılarak denklemin geneli hakkında bir anlamlılıktan söz edilse de, parametrelere ait katsayılar bakıldığında katsayıların birbirinden çok farklı olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum denklemin uygulanabilirliğini azaltmaktadır. Ayrıca, katsayılar incelendiğinde gözlenen bir diğer sonuç ise, nükleer deneye ait su muhtevası değerlerinin, kum konisi deneyine ait su muhtevası üzerinde, kuru birim hacim ağırlık değerlerine nazaran daha baskın olduğudur.

Dördüncü olarak, nükleer deney sonucunda elde edilen parametreler olan kuru birim hacim ağırlık (γ_n), su muhtevası (ω_n) ve sıkışma yüzdesi (S_n) değerlerinin aralarındaki doğrusal olmayan ilişkinin hesaplanması sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Sıkışma yüzdesinin bağımlı değişken, kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası verilerinin ise bağımsız değişken olarak seçildiği regresyon denklemini ifade edecek olursak:

$$S_n = -1094405 + \frac{11945405}{\gamma_n} - \frac{52057045}{\gamma_n^2} + \frac{113225997}{\gamma_n^3} - \frac{122911059}{\gamma_n^4} + \frac{53271744}{\gamma_n^5} + 93 \times \log(w_n) - 183 \times \log(w_n)^2 + 162 \times \log(w_n)^3 - 66 \times \log(w_n)^4 + 10 \times \log(w_n)^5 \quad (17)$$

Kurulan doğrusal olmayan regresyon denklemi sonunda R^2 değeri 0.779 ve F değeri 26.72 olarak elde edilmiştir. R^2 değerinin karekökü ile gösterilen korelasyon katsayısı olarak gösterilen r 'nin 0.883 olarak elde edilmiş olması, kurulan regresyon denklemindeki parametreler arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bunun yanında, hesaplanan F değerinin, kritik F değeri olan $F_{\text{cri.}}=3.10$ 'dan fazlasıyla büyük olması, $S_n - \gamma_n - \omega_n$ arasındaki ilişkinin fazlasıyla kuvvetli olduğunu ifade eder. Diğer taraftan, hesaplamalar sonucu elde edilen katsayıların fazlasıyla büyük değerlerde bulunması, kurulan regresyon denkleminin uygulanabilirliğini azaltmaktadır. Her ne kadar teoride elde edilen sonuçlar gerçeği yansıtıyor görünse de, pratikte denklemin kullanım olasılığı düşüktür.

Beşinci olarak, kum konisi deneyi sonucunda elde edilen parametreler olan kuru birim hacim ağırlık (γ_k), su muhtevası (ω_k) ve sıkışma yüzdesi (S_k) değerlerinin aralarındaki doğrusal olmayan ilişkinin hesaplanması sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Sıkışma yüzdesinin bağımlı değişken, kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası verilerinin ise bağımsız değişken olarak seçildiği regresyon denklemini ifade edecek olursak:

$$S_k = 583388 - 1347743 \times \gamma_k + 1242015 \times \gamma_k^2 - 570659 \times \gamma_k^3 + 130735 \times \gamma_k^4 - 11948 \times \gamma_k^5 - 1.72 \times \omega_k - 0.12 \times \omega_k^2 + 0.12 \times \omega_k^3 - 0.01 \times \omega_k^4 \quad (18)$$

Kurulan doğrusal olmayan regresyon denklemi sonunda R^2 değeri 0.726 ve F değeri 20.11 olarak elde edilmiştir. R^2 değerinin karekökü ile gösterilen korelasyon katsayısı olarak gösterilen r 'nin 0,852 olarak elde edilmiş olması, kurulan regresyon denklemindeki parametreler arasında anlamlı bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bunun yanında, hesaplanan F değerinin, kritik F

değeri olan $F_{cri.}=3.10$ 'dan fazlasıyla büyük olması, $S_k - \gamma_k$ ve ω_k arasındaki ilişkinin fazlasıyla kuvvetli olduğunu ifade eder. Diğer taraftan, hesaplamalar sonucu elde edilen katsayıların fazlasıyla büyük değerlerde bulunması, kurulan regresyon denkleminin uygulanabilirliğini azaltmaktadır. Her ne kadar teoride elde edilen sonuçlar gerçeği yansıtıyor görünse de, pratikte denklemin kullanım olasılığı düşüktür.

Kum konisi deneyi ait sonuçlar, nükleer deneye ait sonuçları ile paralellik göstermektedir. Kurulan her iki regresyon denklemi korelasyon katsayısı ve F değerleri açısından bakıldığında, kuvvetli bir ilişkinin içerdiği sonuçlar verdiği halde, denklem sonunda elde edilen katsayıların fazlasıyla büyük değerlerde bulunması, pratikte kullanılabilirliği azaltmaktadır.

Altıncı olarak, nükleer deney sonucunda elde edilen parametreler olan kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası değerleri ile kum konisi deneyi sonucunda elde edilen su muhtevası değerlerinin, nükleer deneye ait sıkışma yüzdesi değerleri ile aralarındaki doğrusal olmayan ilişkinin hesaplanması sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Kurulan regresyon denkleminde, nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık (γ_n) ve su muhtevası (ω_n) değerleri ile kum konisi deneyine ait su muhtevası (ω_k) değerleri bağımsız değişkenler olarak düşünülmüş, nükleer deneye ait sıkışma yüzdesi (S_n) değerleri ise bağımlı değişken olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Kurulan doğrusal olmayan regresyon sonunda elde edilen denklem:

$$S_n = \exp(-0.076 \times \gamma_n + 5.610 \times \omega_n - 0.0002 \times \omega_k + 4.787) \quad (19)$$

şeklinde dir. Ayrıca hesaplanan R^2 ve F değerleri sırasıyla 0.144 ve 4.66 olarak bulunmuştur. R^2 değerinin 0'a çok yakın bir değer alması, karekökünü ifade eden r değerinin de 0.379 olarak bulunması sonucu, γ_n , ω_n , ω_k ve S_n arasında kurulan regresyon modelindeki katsayılar arasındaki ilişkinin çok

zayıf olduğunu göstermektedir. Bu durumda ilgili parametreler arasında doğrusal olmayan bir ilişkiden söz etmek mümkün değildir.

Nükleer deney sonucunda elde edilen sıkışma yüzdesi (S_n) ile kum konisi sonucunda elde edilen sıkışma yüzdesi (S_k) arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin varlığının araştırılması için geliştirilen regresyon denklemi ve buna ait sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Buna göre geliştirilen regresyon denklemi:

$$S_k = 2.416 + \frac{5.6}{\log(S_n)} - \frac{5.193}{\log(S_n)^2} + \frac{2.407}{\log(S_n)^3} - \frac{5.579}{\log(S_n)^4} + \frac{5.172}{\log(S_n)^5} \quad (20)$$

şeklinde. R^2 değerinin 0'a çok yakın bir değer alması, dolayısıyla korelasyon katsayısı olan r 'nin 0.063 gibi çok küçük bir değerde bulunduğunu gösterir. Böylece kurulan regresyon denkleminde, bağımsız değişken olan S_n ile bağımlı değişken S_k 'nin katsayıları arasındaki ilişkinin çok zayıf olduğunu göstermektedir. Ayrıca hesaplanan F değerinin, kritik F değerinden de küçük çıkması, regresyon modelinin anlamlı olmadığı sonucunu vermektedir. Sonuç olarak, nükleer deney ve kum konisi deneyi sonucunda elde edilen sıkışma yüzdelere ilişkin doğrusal olmayan bir ilişkiden söz etmek mümkün olmamaktadır.

Kum konisi deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin (γ_k), nükleer deney sonucunda elde edilen su muhtevası (ω_n) ve kuru birim hacim ağırlık değerleri (γ_n) ile arasındaki ilişkinin araştırılması amacıyla hesaplanan bir diğer doğrusal olmayan regresyon denklemine ait sonuçlar, aşağıda yer almaktadır. Hesaplanan doğrusal olmayan regresyon denkleminde, nükleer deney sonucunda elde edilen parametrelerden, su muhtevası ile kuru birim hacim ağırlık değeri, bağımsız değişken, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri ise, bağımlı değişken olarak seçilmiştir.

$$\gamma_k = 15.617 - \frac{52.281}{\gamma_n} - \frac{2.572}{w_n} + \frac{50.234}{\gamma_n^2} + \frac{0.487}{w_n^2} + \frac{4.848}{(\gamma_n \times w_n)} \quad (21)$$

Kurulan doğrusal olmayan regresyon denklemi sonucunda elde edilen determinasyon katsayısı değeri, $R^2 = 0.836$ olarak bulunmuş ve determinasyon katsayısının karekökünü ifade eden korelasyon katsayısı değeri ise, $r = 0.914$ olarak bulunmuştur. Korelasyon katsayısının 1' e yakın bir değer alması, kurulan doğrusal olmayan regresyon denkleminde parametreler arasında anlamlı bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Bir başka deyişle, kurulan regresyon modelindeki $\gamma_k - \gamma_n - \omega_n$ katsayıları arasındaki ilişki oldukça kuvvetlidir. Bununla birlikte, hesaplamalar sonunda elde edilen F değeri incelenecek olursa, (F_{cr}) 3.10 olan kritik F değerine karşılık, hesaplanan F değeri 82.48 olarak bulunmuştur. Hesaplanan F değerinin, kritik F değerinden büyük bulunması, kurulan doğrusal olmayan regresyon denkleminin anlamlı olduğunu göstermektedir. Denkleme ait katsayılar incelendiğinde, katsayıların birbiri ile uyumlu bir ilişki sergilediği söylenebilir. Bununla birlikte, katsayılar incelendiğinde, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinde; nükleer deneye ait su muhtevası değerlerinin, nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre daha baskın olduğu görülmektedir.

Nükleer deney sonucunda elde edilen parametrelerden su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık değerlerinin, kum konisi deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerleri ile olan doğrusal ilişkisinin ortaya çıkarılması için uygulanan regresyon denklemine ait sonuçlar aşağıda yer almaktadır. Kurulan doğrusal regresyon denkleminde, nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık (γ_n) ve su muhtevası (ω_n) değerleri bağımsız değişken, kum konisi deneyi sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerleri (γ_k) ise, bağımlı değişken seçilmiştir. Kurulan doğrusal regresyon sonucunda elde edilen denklem;

$$\gamma_k = 0.36 + 0.846 \times \gamma_n - 4.051 \times w_n \quad (22)$$

şeklindedir. Hesaplanan determinasyon katsayısı, R^2 , 0.814 olarak elde edilmiştir. Determinasyon katsayısının karekökünü ifade eden korelasyon katsayısı değeri ise, $r = 0.902$ olarak bulunmuştur. Korelasyon katsayısının 1'e yakın bir değer alması, kurulan lineer regresyon denklemindeki parametreler arasında anlamlı bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Diğer taraftan, hesaplanan F değeri olan 183.735 değerinin de, kritik F değeri olan (F_{cr}) 3.10'dan fazlasıyla büyük bulunması, $\gamma_k - \gamma_n - \omega_n$ parametreleri arasındaki ilişkinin kuvvetini simgelemektedir. Diğer taraftan, elde edilen katsayıların büyüklüklerinin, birbirleri ile uyumlu olduğu söylenebilir. Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerinin hesaplanmasında; nükleer deney sonucunda elde edilen su muhtevasının, kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre daha baskın olduğu, katsayılar incelenerek görülebilir.

6.4. Parametreler arasındaki Doğrusal Olmayan İlişkinin Değerlendirilmesi

Kum konisi ve nükleer deneye ait verilerin analizi sonucunda, kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi parametreleri arasındaki doğrusal olmayan ilişkilerin varlığı araştırılmıştır. Yapılan incelemede, kum konisi ve nükleer deneye ait veri setlerinin ilişkileri, hem kendi aralarında, hem de birbirleri ile ilişkileri analiz edilmiştir. Yapılan analizde sırası ile $\gamma_n - \gamma_k$; $\gamma_k - \omega_n - \gamma_n$; $\omega_k - \gamma_n - \omega_n$; $S_n, \gamma_n - \omega_n$; $S_n - \omega_n - \gamma_k$; $S_k - \omega_k - \gamma_k$ ve $S_k - S_n$ arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Her deney sonucunda elde edilen F değerleri, F_{cr} değeri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca korelasyon katsayıları da hesaplanarak, doğrusal olmayan denklemlerdeki parametreler arasındaki uyumluluk incelenmiştir. Buna göre, analizi yapılan 7 farklı doğrusal olmayan denklem sonucunda, uygulanabilirliği en yüksek bulunan üç eşitlik, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık verileri ile nükleer deneye ait su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık verilerinde

elde edilmiştir. Biri doğrusal, diğer ikisi doğrusal olmayan bu denklemler incelenecek olursa:

$$\gamma_k = -11.733 + \frac{66.261}{\gamma_n} + 6.668 \times w_n - \frac{84.996}{\gamma_n^2} + 0.024 \times w_n^2 - \frac{28.606 \times w_n}{\gamma_n} + \frac{16.422}{\gamma_n^3} - \frac{0.021 \times w_n^2}{\gamma_n} + \frac{30.183 \times w_n}{\gamma_n^2} \quad (15)$$

Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık verileri ile nükleer deneye ait su muhtevası ile kuru birim hacim ağırlık değerlerinin analizinde, hesaplanan F değeri olan 50.57 değeri, (F_{cr}) 3.10 değerinden büyük çıkmakla birlikte, denklemde elde edilen katsayılar arasında bir uyum söz konusudur. Aynı zamanda, korelasyon katsayısını ifade eden r değerinin 1'e çok yakın bir değerde bulunması, denklemdeki parametreler arasında pozitif yönde uyumlu bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Bir başka ifadeyle, denklem uygulanabilir niteliktedir. Bununla birlikte, denklemdeki katsayılar incelendiğinde, nükleer deneye ait su muhtevası verilerinin, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık verileri üzerinde daha baskın olduğu söylenebilir.

Kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerlerinin, nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası değerleri ile ilişkilendirilmesinde hesaplanan bir diğer denklem;

$$\gamma_k = 15.617 - \frac{52.281}{\gamma_n} - \frac{2.572}{w_n} + \frac{50.234}{\gamma_n^2} + \frac{0.487}{w_n^2} + \frac{4.848}{(\gamma_n + w_n)} \quad (21)$$

şeklindedir. Öncelikle denkleme ait korelasyon katsayısı incelenecek olursa; $r = 0.914$ olarak elde edilen korelasyon katsayısı değeri, 1'e oldukça yakın bulunmuştur. Bu durumda denklemi oluşturan katsayılar arasında pozitif yönde kuvvetli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, F değeri incelenecek olursa, 82.48 olarak elde edilen F değeri, kritik F değeri olan, (F_{cr}) 3.10'dan fazla bulunmuştur. Hesaplanan F değerinin, kritik F

değerinden büyük bulunması, kurulan doğrusal olmayan regresyon denkleminin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Son olarak da, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri ile nükleer deney sonucunda bulunan kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası değerlerinin ilişkisinin araştırılmasından elde edilen doğrusal regresyon denklemi incelenecek olursa;

$$\gamma_k = 0.36 + 0.846 \times \gamma_n - 4.051 \times w_n \quad (22)$$

şeklinde elde edilen doğrusal regresyon denkleminde, korelasyon katsayısı değeri, $r = 0.902$ olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısı değerinin 1'e yakın bulunması, denklemi oluşturan parametreler arasında, pozitif yönde kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ayrıca hesaplamalarda elde edilen F değeri olan 183.735 değerinin, kritik F değeri, (F_{cr}) 3.10'dan fazlasıyla büyük bulunması, doğrusal regresyon denkleminin anlamlı bir sonuç verdiğinin göstergesidir.

7.YAPAY SİNİR AĞLARI

7.1. Yapay Sinir Ağlarına Giriş

Teknolojinin gelişiminde, insanların doğayı araştırma ve taklit etme çabaları sonucunda, yapay sinir ağları teknolojisi ortaya çıkmıştır. Yapay sinir ağları (YSA), basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklinin benzerini elde edebilmek için tasarlanan programlardır. Oluşturulan sinir hücreleri, çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar, normalde bir insanın düşünme ve gözleme dayalı doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. Bir insanın, düşünme ve gözlem yetenekleri ile ilgili problemlere yönelik çözümler üretebilmesinin temel nedeni ise, insan beyninin sahip olduğu yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir.

1943 yılında bir nörobiyolojist olan Warren McCulloch ve bir istatistikçi olan Walter Pitts, “Sinir Aktivitesindeki Düşüncelere Ait Bir Mantıksal Hesap” başlıklı bir makale ile ilk dijital bilgisayarlara ışık tutmuştur. John Von Neumann bu makaleyi, “elektronik beyinler” için bir kopya olarak görmüştür. Yapay zeka alanındaki araştırmacılar içerisinde istisnai bir yeri olan Marvin Minsky, bu makaleden aldığı ilhamla makroskobik zeka fikrini ortaya atmış ve uzman sistemlerin doğmasına neden olmuştur. Bu bilim adamları, öğrenmenin ve zekanın herhangi bir özelliğinin simülasyonunda bilgisayarların aktif olarak nasıl kullanılabileceğini, 1956 yılında düzenlemiş oldukları ilk yapay zeka konferansında tartışmışlardır.

1959’da, Stanford üniversitesinden Bernard Widrow, basit nöron benzeri elemanlara dayanan ve “adaline” (Adaptive Linear Neuron) olarak adlandırılan bir uyarlamalı doğrusal sinir hücresi geliştirmiştir. Adaline ve iki tabakalı biçimi olan “madaline” (Multiple Adaline); ses tanıma, karakter

tanıma, hava tahmini ve uyarlamalı kontrol gibi çok çeşitli uygulamalar için kullanılmıştır. Daha sonraları adaline, ayrık bir çıkış yerine sürekli bir çıkış üretmek için geliştirilmiştir. Widrow, telefon hatları üzerindeki ekoları elimine etmeye yarayan adaptif filtreleri geliştirmede, uyarlamalı doğrusal sinir hücresi algoritmasını kullanmıştır. Bununla ilk defa YSA'lar gerçek bir probleme uygulanmıştır.

Helsinki Teknik Üniversitesi'nden Teuvo Kohonen, 1970'lerin ilk yıllarında adaptif öğrenme ve birleşik hafızalar üzerine temel çalışmalar yapmış ve bu olduğu çalışmaları ile danışmansız öğrenme metotlarının gelişmesine ışık tutmuştur.

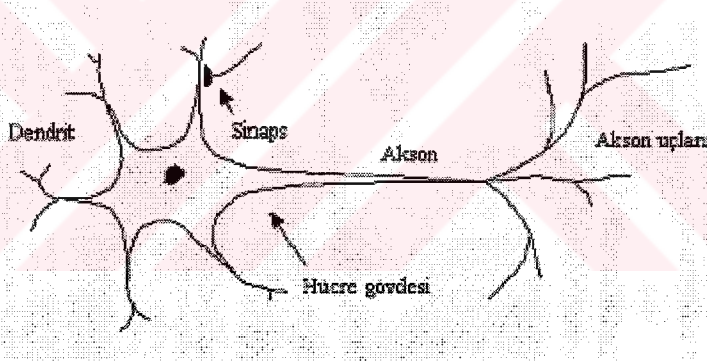
1982 yılında ilgi çeken bir başka gelişme, moleküler biyolojiden beyin kuramcılığına geçiş yapan bir model Kaliforniya Teknik Üniversitesi fizikçisi Hopfield tarafından sunulmuştur. Kendi adıyla anılan bir ağ yapısı mevcuttur ve bir çok alana uygulanmıştır. 1987 yılında yapılan ilk YSA'ları sempozyumundan sonra YSA uygulamaları yaygınlaşmıştır.

7.2. Biyolojik Sinir Ağı Hücresi

Biyolojik sinir ağlarının temel elemanı sinir hücreleridir ve insan beyninin korteks kısmında yer alan nöron (sinir hücresi) sayısı yaklaşık olarak 10^{11} olup her hücre sayısı, 1000-10000 arasında değişen başka hücrelerle karşılıklı paralel iletişim içerisinde. Bir sinir hücresinin temel elemanları hücre gövdesi, dendrit ve akson'dur. Sinir hücresine, diğer sinir hücrelerinden gelen uyarımlar, dendritler aracılığıyla hücre gövdesine taşınır ve hücre içi aktivasyonun/kararlılık halinin bozulmasıyla oluşan bir kimyasal süreç içerisinde diğer hücelere aksonlarla iletilir; uyarımların diğer sinir hücrelerine taşınabilmesinde akson uçları ile dendritler arasındaki sinaptik boşluklar (sinaps) rol oynar. Sinaptik boşluk içinde yer alan "sinaptik kesecikler" gelen uyarımların diğer hücelere dendritler aracılığıyla geçmesini koşullayan elemanlardır. Sinaptik boşluğa, "sinaptik kesecikler"

tarafından sağlanan nöro-iletken maddenin dolması uyarımların diğer hücrelere geçişini sağlar (Koç ve ark., 2003).

Sinir ağının temelini teşkil eden basit bir sinir hücresi, nöron olarak adlandırılır. Şekil 7.1’de, şematik olarak gösterilen tipik sinir hücresi üç ana bölümden oluşur. Bu bölümler; soma olarak adlandırılan hücre gövdesi, akson ve dendritlerdir. Dendritler ağaç biçiminde dallanan bir yapıya sahiptirler, nöron gövdesi civarında uzun iplikler görünümündedirler. Dendritler üzerinden girişler alınır, soma tarafından girişler işlenir. Nörondaki sinyalleri taşıyan uzun bir sinirsel bağlantı halindeki akson ise, işlenen girişleri çıkışa aktarır. Akson-dendrit bağlantısı ise sinaps olarak adlandırılır. Sinaps, nöronlar arasında elektrokimyasal bağlantıyı sağlamaktadır.

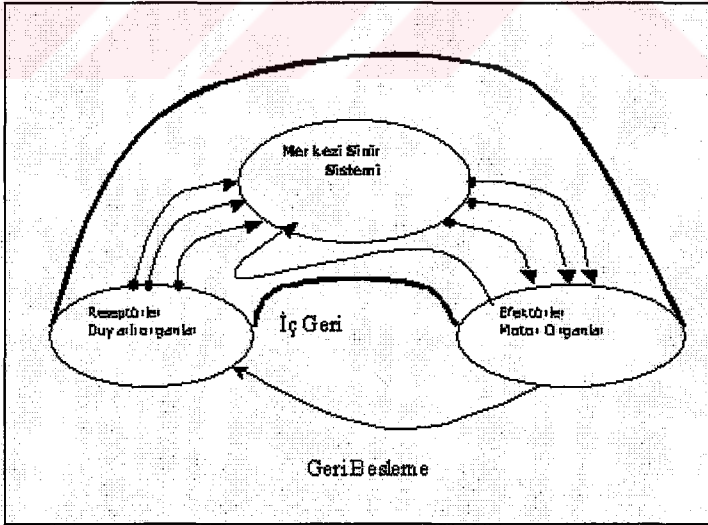


Şekil 7.1. Biyolojik sinir hücresi (Koç ve ark., 2003)

Bir insanın beyin korteksinde yaklaşık 10 milyar nöron ve yaklaşık 60 trilyon sinaptik bağlantının bulunduğu tahmin edilmektedir. Özellikle beyinin enerjik verimliliği, her saniyede her bir işlem için yaklaşık 10^{-16} joule’dur, bu değer bugünün en iyi bilgisayarlarında yaklaşık 10^{-6} joule’dur. Beyin son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel bir bilgisayardır. Beynin nöronları organize etme yeteneği böylece kesin hesaplamaları gerçekleştirmesi, bugünün en hızlı bilgisayarlarından daha hızlıdır. Diğer

tarafından bir sinir hücresinin tepki hızı günümüzün bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte duyuşal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılama ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir (Knight and Rich, 1991).

Bir hipoteze göre nöronlar birbirleriyle elektriksel sinyaller aracılığıyla haberleşmektedir. Ayrıca, nöronlar kimyasal bir ortamda çok yoğun beyinsel faaliyetleri yerine getirmektedirler. Böylece beyni, biyokimyasal işlemlerin gerçekleştiği son derece yoğun bir elektriksel aę gibi dūřünebilir. Çok büyük sinir ağı çok karmaşık ve ayrıntılı bir yapıyla birbirine bağlıdır. Aęa giriş duyarlı algılayıcılar ile sağlanır. Bu algılayıcılara reseptör adı verilmektedir. Reseptörler uyarıyı gövdeye götürürler. Uyarım, elektriksel sinyaller biçimindedir. Nöron ağının içine bilgi taşınması ve merkezi sinir sisteminde bilginin işlenmesi sonucu efektörler kontrol edilir. Bundan sonra insan cevabını çeşitli eylemler şeklinde verir.



şekil 7.2. Sinir sisteminde bilgi akışı (Fırat ve Güngör, 2004)

Şekil 7.2’de görüldüğü gibi bilgi işlenmekte, değerlendirilmekte ve merkezi sinir sisteminde depolanan bilgiyle karşılaştırılmaktadır. Gerekli olduğunda komutlar o yerde üretilir ve motor organlara iletilir. Motor organlar eylemi doğrulayan geri beslemeli bağlantılarla merkezi sinir sistemini yönetir ve denetlerler. İç ve dış geri beslemeli kontrolün ikisi de komutlarla gerçekleştirilir. Görüldüğü gibi, tüm sinir sisteminin yapısı kapalı-çevrim bir kontrol sistemini andırmaktadır (Fırat ve Güngör, 2004).

7.3.Yapay Sinir Ağı Hücresi

İnsan düşüncesini ve davranışını taklit edebilen sistemlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar, tümü yapay zeka olarak tanımlanabilir. Yapay zeka teknikleri, birbirinden tümüyle farklı uygulamalar olmasına karşın, belirsizlikler üzerine kurulan sistemler olması, bu tekniklerin ortak yönü olarak değerlendirilebilir.

YSA’nın temeli olan yapay zeka teknikleri, insan beyninin düşünme, hatırlatma, değerlendirme, karar verme, karşılaştırma ve daha önceki tecrübelerden yola çıkarak sonuca ulaşma gibi temel fonksiyonlarının bilgisayar ortamında gerçekleştirilmeye çalışılması ile ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar başlangıçta elektronik, tıp, bilgisayar ve askeri alanlarda strateji belirleme gibi kısıtlı bir uygulama alanına sahip iken, farklı algoritmalar ve yazılımların ortaya çıkmasıyla yaygınlaşmıştır (Civalek ve Çatal, 2004).

Yapay zeka uygulamalarından olan YSA’lar biyolojik sinir hücrelerinin basitleştirilmiş olarak modellenmesi yardımıyla öğrenebilen sistemlerin geliştirilmesinde kullanılan uygulamalardır ve farklı mühendislik alanlarında olduğu kadar inşaat mühendisliğinin değişik alanlarında da son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

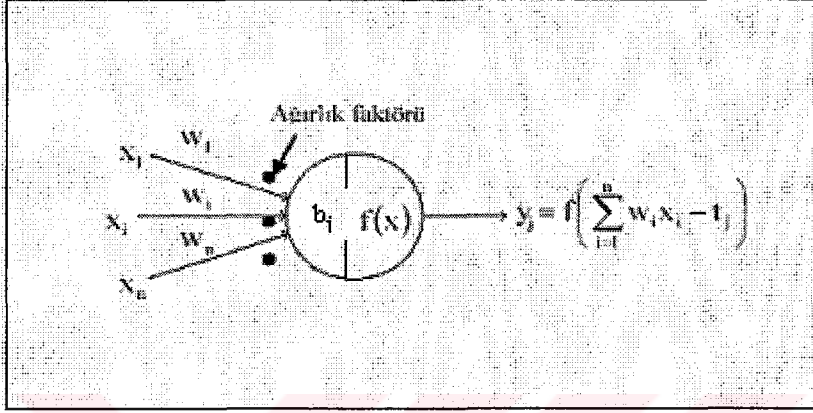
Mühendislik problemlerindeki belirsizliklerin kaynağı, model ve modelin içerdiği parametreler olup söz konusu belirsizlikler genellikle olasılık teorisi ve istatistiksel yöntemler yardımıyla göz önüne alınmaktadır.

Belirsizlikler altında ortaya çıkacak başarısızlıklar ise, güvenilirlik analizi yardımıyla belirlenmektedir. Özellikle karmaşık ve modelleme olanaklarının zor olduğu birçok mühendislik probleminin çözümünde, geliştirilen modelin yetersiz olması önemli bir belirsizlik nedeni olmakla birlikte çözüm sırasında yapılacak kabuller veya basitleştirmeler de belirsizliği artıran faktörlerdir.

Bir mühendislik yapısının tasarımında karşılaşılan belirsizlikler, istatistiksel yöntemler yardımıyla göz önüne alınmasına karşılık, modelin içerdiği parametrelerin rasgele değişken olması da başka bir belirsizlik kaynağı olarak verilebilir: Bu tür yöntemlerde, tasarım değişkenleri belirli olasılık dağılımları ile ifade edilmesine karşın değişkenlere ait istatistiksel bilgilerin yetersiz olması ve çoğunlukla ortalama ve standart sapma değerleriyle sınırlı kalması belirsizliğe neden olabilmektedir. Dolayısıyla, yüksek derecede belirsizlik gösteren (karmaşık) mühendislik problemlerinin çözümünde belirsizliklerin azaltılmasına ve değerlendirilmesine yönelik klasik yaklaşımlar, çoğunlukla daha karmaşık ve zaman-maliyet açısından ekonomik olmayan çözümlere neden olabilmektedir (Şen, 2004).

YSA'lar esas olarak biyolojik nöronların basitleştirilmiş bir şekilde matematiksel olarak modellenmesine dayanmaktadır. Biyolojik ve yapay sinir hücreleri arasındaki benzeşim, hücreler arasındaki bağlantılar, akson ve dendritlere; ağırlık faktörleri (w_i) sinapslara ve bias değerleri (sınır değerler) (b_j) hücre içi kararlılık haline karşılık gelecek şekilde oluşturulmaktadır: Yapay sinir hücresinde, ağırlık faktörünün etkisine bağlı olarak ($w_1, w_2..w_n$) hücreye gelen uyarımlar ($x_1, x_i..x_n$) hücre içi denge durumu veya sınır değer (b_j) de dikkate alınarak doğrusal olmayan bir aktivasyon fonksiyonu $f(.)$ yardımıyla çıktı şeklinde uyarımlara (y_j) dönüştürülür. Yapay sinir hücrelerinin genellikle katmanlı bir yapı gösterecek biçimde birbirine bağlanmasıyla YSA'lar meydana getirilir. Yapay sinir hücreleri arasında kurulan bağlantılara ait ağırlık faktörlerinin, uyarımlarla uyumlu olacak

şekilde değiştirilmesi benzer şekilde biyolojik öğrenme sürecine karşılık gelir.



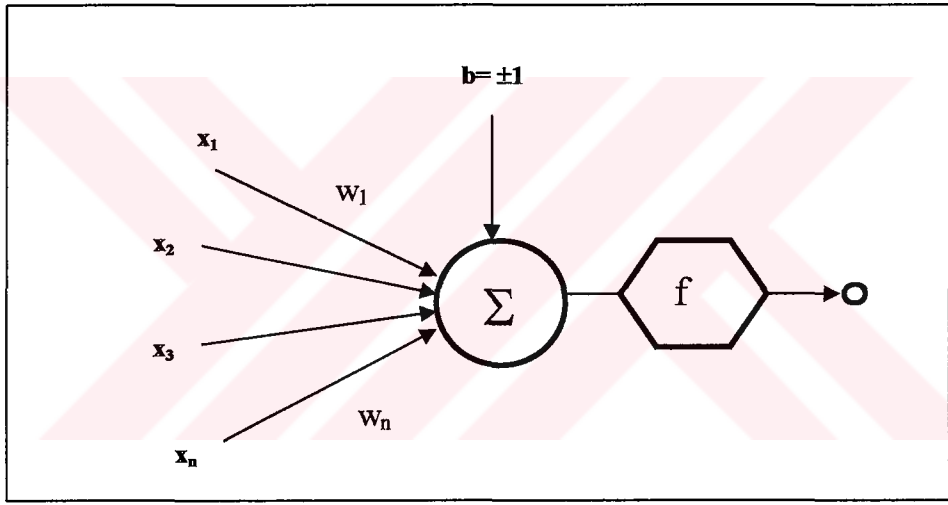
Şekil 7.3. Yapay Sinir Hücresinin fonksiyonel gösterimi (Koç ve ark., 2004)

YSA'lar, insan beyninin öğrenme, düşünme ve değişik koşullar altında çok hızlı karar verebilme gibi yeteneklerinin basitleştirilmiş modeller yardımıyla karmaşık problemlerin çözülmesinde kullanılmasını amaçlamaktadır ve kullanım amaçlarına göre değişik tiplerde YSA'lar bulunmaktadır. Sınıflandırma, kümeleme, modelleme ve tahmin gibi değişik işlemlerde kullanılan YSA'ların en büyük avantajları doğrusal olmayan sistemleri modelleyebilmesi; bilgiyi paralel olarak işleyebilmesi ve yeni durumlara uyum sağlayabilme yeteneği olarak verilebilir. YSA'lar genel olarak ağ yapısına göre ileri beslemeli ve geri beslemeli YSA'lar; eğitime algoritmalarına göre ise denetimli ve denetimsiz YSA'lar olarak sınıflandırılabilir. İleri beslemeli denetimli YSA'lar en yaygın kullanılan YSA'lardır (Russell and Norving, 1995).

7.4. Aktivasyon Fonksiyonları

Temel bir YSA hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel nöron modeli aşağıdaki şekilde görülmektedir. YSA hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan

veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar, net giriş, girişlerle bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Şekilde 7.4'te görülen “b” bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli şöyledir:



Şekil 7.4. Temel YSA hücresinin şematik gösterimi (Erdem, 1994)

$$\text{Çıkış, } o = f(W.X + b) \quad (23)$$

şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki W ağırlıklar matrisi, X ise girişler matrisidir. n giriş sayısı olmak üzere;

$$W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n \quad (24)$$

$$X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \quad (25)$$

Şeklinde yazılabilir. Formülize edilirse;

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \text{ ve } o = f(net) \quad (26)$$

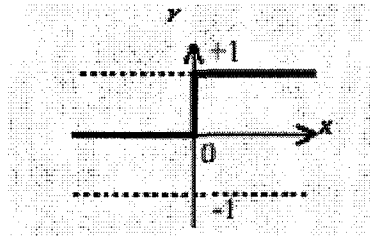
$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \text{ şeklinde de yazılabilir.} \quad (27)$$

Yukarıdaki formülde görülen “f” aktivasyon fonksiyonudur. Genelde doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonunun çeşitli tipleri vardır.

7.4.1. Eşik Aktivasyon Fonksiyonu

McCulloch-Pitts modeli olarak bilinen eşik aktivasyon fonksiyonlu hücreler, mantıksal çıkış verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir. Şekil 7.5’te Perceptron (Algılayıcı) olarak da söylenen eşik fonksiyonlu hücrelerin matematiksel modeli aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Aşağıdaki şekilde eşik aktivasyon fonksiyonunun grafiği görülmektedir. Eşik aktivasyon fonksiyonu eğer net değeri sıfırdan küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında +1 değeri verir. Eşik aktivasyon fonksiyonunun -1 ile +1 arasında değişeni ise işaret aktivasyon fonksiyonu olarak adlandırılır. İşaret aktivasyon fonksiyonu, net giriş değeri sıfırdan büyükse +1, sıfırdan küçükse -1, sıfıra eşitse sıfır değerini verir.



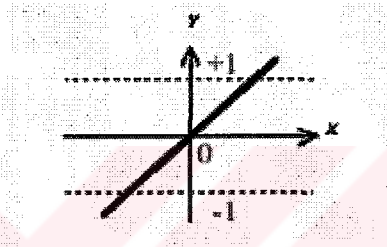
Şekil 7.5. Eşik aktivasyon fonksiyonu (Rich and Knight, 1991)

7.4.2. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan doğrusal hücre ve YSA’larda ya da genellikle katmanlı YSA’ların çıkış katmanında kullanılan

doğrusal fonksiyon, hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu matematiksel olarak $y=x$ şeklinde tanımlanabilir.

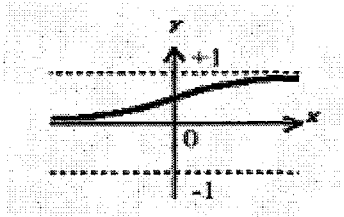
Aşağıdaki şekilde doğrusal aktivasyon fonksiyonu görülmektedir. Lineer aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun lineer aktivasyon fonksiyonu olabildiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 7.6. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu (Rich and Knight, 1991)

7.4.3. Lojistik - Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Aşağıdaki şekilde lojistik sigmoid transfer fonksiyonu görülmektedir ve lojistik fonksiyon olarak da adlandırılmaktadır. Bu fonksiyonunun lineer olmamasından dolayı türevi alınabilmektedir, böylece geri yayılmalı ağlarda kullanmak mümkün olabilmektedir.



Şekil 7.7. Lojistik Sigmoid aktivasyon fonksiyonu (Rich and Knight, 1991)

Lojistik fonksiyonu,

$$f(x) = \text{lojistik}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \quad (28)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki β eğim sabiti olup genelde bir olarak seçilmektedir. Diğer bir aktivasyon fonksiyonu olan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu da lineer olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon lojistik fonksiyona benzemektedir. Denklemi aşağıda görüldüğü gibidir.

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (29)$$

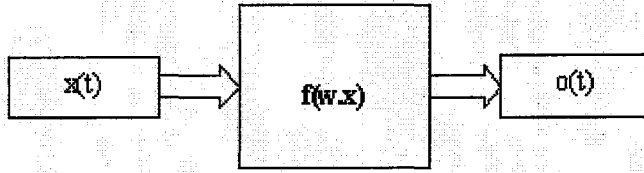
Çift yönlü sigmoid ($\tanh$) fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan YSA'larda tercih edilir.

Bu aktivasyon fonksiyonlarından başka fonksiyonlar da vardır. YSA'larda hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı probleme bağlı olarak değişmektedir.

7.5. Yapay Sinir Ağları Modelleri

7.5.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

En basit ve en genel YSA'lar tek yönlü sinyal akışını kullanırlar. YSA modelleri temelde ileri beslemeli YSA'lar ve geri beslemeli YSA'lar olarak iki grupta toplanmaktadır. İleri beslemeli YSA'larda gecikmeler yoktur, işlem girişlerden çıkışlara doğru ilerler. Çıkış değerleri öğreticiden alınan istenen çıkış değeriyle karşılaştırılarak bir hata sinyali elde edilerek ağ ağırlıkları güncellenir.



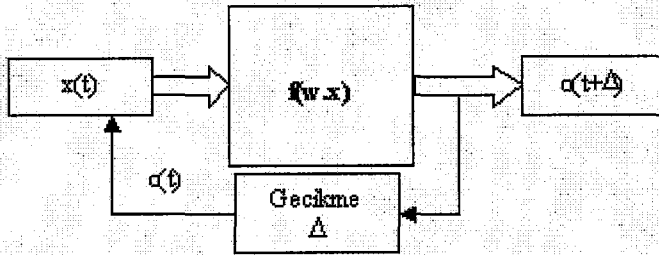
Şekil 7.8. İleri beslemeli YSA yapısı (Erdem, 1994)

7.5.2. Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Geri beslemeli YSA'larda ise tıpkı kontrol uygulamalarında olduğu gibi gecikmeler söz konusudur. Geri beslemeli sinirsel ağ, çıkışlar girişlere bağlanarak ileri beslemeli bir ağdan elde edilir. Ağın t anındaki çıkışı $o(t)$ ise, $t + \Delta$ anındaki çıkışı ise $o(t + \Delta)$ 'dır. Buradaki Δ sabiti sembolik anlamda gecikme süresidir. İleri beslemeli YSA notasyonu kullanılarak $o(t + \Delta)$ şöyle yazılabilir.

$$o(t + \Delta) = f[W.o(t)] \quad (30)$$

bu formül aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir. Dikkat edilmesi gereken nokta başlangıç anında $x(t)$ 'ye ihtiyaç duyulmasıdır. Başlangıç anında $o(0) = x(0)$ 'dir.



Şekil 7.9. Geri beslemeli YSA yapısı (Erdem, 1994)

7.6. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

İnsan beyni doğumdan sonraki gelişme sürecinde çevresinden duyu organlarıyla algıladığı davranışları yorumlar ve bu bilgileri diğer davranışlarında kullanır. Yaşadıkça beyin gelişir ve tecrübelenir. Artık olaylar karşısında nasıl tepki göstereceğini çoğu zaman bilmektedir. Fakat hiç karşılaşmadığı bir olay karşısında yine tecrübesiz kalabilir. YSA'ların öğrenme sürecinde de, tıpkı dış ortamdan gözle veya vücudun diğer organlarıyla uyarıların alınması gibi dış ortamdan girişler alınır, bu girişlerin beyin merkezine iletilerek burada değerlendirilip tepki verilmesi gibi YSA'da da aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı üretilir. Bu çıkış yine tecrübeyle verilen çıkışla karşılaştırılarak hata bulunur. Çeşitli öğrenme algoritmalarıyla hata azaltılıp gerçek çıkışa yaklaşılmaya çalışılır. Bu çalışma süresince yenilenen YSA'nın ağırlıklarıdır. Ağırlıklar her bir çevrimde yenilenerek amaca ulaşmaya çalışılır. Hedefe ulaşmanın veya yaklaşmanın ölçüsü de yine dışarıdan verilen bir değerdir. Eğer YSA verilen giriş-çıkış çiftleriyle hedefe ulaşmış ise ağırlık değerleri saklanır. Ağırlıkların sürekli yenilenip istenilen sonuca ulaşılana kadar geçen zamana öğrenme adı verilir (Rich and Knight, 1991).

7.7. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Algoritmaları

1990'lı yıllardan bugüne gelinceye kadar birçok öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Öğrenme algoritmaları temelde eğitici (denetimli) öğrenme, eğitici (denetimsiz) öğrenme ve takviyeli öğrenme algoritmaları olmak üzere üç grupta toplanmaktadır.

Eğitici öğrenmede, her bir örnekleme zamanında giriş uygulandığında sistemin istenilen cevabı eğitici tarafından sağlanır. İstenilen çıkış ile sinir ağı çıkışı arasındaki fark hata ölçüsüdür ve ağ parametrelerini güncellemekte kullanılır. Ağırlıkların güncellenmesi süresince, eğitici ödüllendirme-cezalandırma şemasını ağa uygulayarak hatayı azaltır. Bu

öğrenme modelinde giriş ve çıkış örnekleri kümesi eğitim kümesi olarak adlandırılır. Eğitici öğrenmede sinir ağına hem girdi hem de çıktı değerleri sunulur. Ağın ürettiği çıktı ile istenen çıktı arasındaki fark sıfır veya ona yakın bir değere gelinceye kadar ağırlıklar değiştirilir. Bu tür öğrenme modelini kullanan ağlar; Perceptron ve ilişkili hafızalar, takviyeli öğrenme, stokastik öğrenme, vektör nicelik öğrenmesi, delta ve genelleştirilmiş delta kuralı, geri yayılma algoritması, bu grup öğrenmede kullanılan etkin metotlardır.

Eğiticişiz öğrenmede, eğiticişil öğrenmedeki gibi elde edilmek istenilen çıkışlar bilinmemektedir. Bu yüzden kesin bir hata bilgisini ağın davranışını değiştirmekte kullanmak mümkün değildir. Cevabın doğruluğu veya yanlışlığı hakkında bilgi sahibi olunmadığı için öğrenme, girişlerin verdiği cevaplar gözlenerek başarıya ulaşılır. Aslında eğiticişiz öğrenme demek doğru değildir, çünkü eğiticişiz öğrenme gerçekte mümkün değildir. Eğiticişinin her öğrenme adımında dahil olmamasına rağmen, amaçları ayarlamaktadır.

Takviyeli öğrenmede ise giriş değerlerine karşılık gelecek uygun çıktıların elde edilmesi sırasında ağırlıkların en uygun değerlerinin bulunmasında genetik algoritma yöntemleri kullanılır. Böylece ağırlıklar optimize edilmektedir. Bunların dışında hibrit öğrenme algoritmaları da geliştirilmiştir. YSA'lardaki ağırlıklar sabit değildir. Öğrenme kuralı giriş işaretlerine ve transfer fonksiyonu tarafından sağlanan değerlere cevap olarak, yerel bellekteki ağırlıkların hepsini veya bazılarını değiştiren bir denklem olarak bilinir. Öğrenme kuralı giriş işaretlerinin doğasına bağlı olarak işleme elemanının cevabının zamanla değişmesine imkan sağlar. Bu şekilde ağ, kendisini istenen cevaplara uyarlayabilir ve kendi içinde bilgiyi düzenleyebilir, yani öğrenir (Civalek ve Ülker, 2004).

Gerçek zamanda öğrenme yöntemi olup deneme-yanılma esasına göre sinir ağı eğitilmektedir. Geri yayılma algoritması eğiticişil öğrenmede

kullanılan en genel algoritmadır. Basit olması ve iyi bir öğrenme kapasitesine sahip olması birçok alana uygulanmasını sağlamıştır.

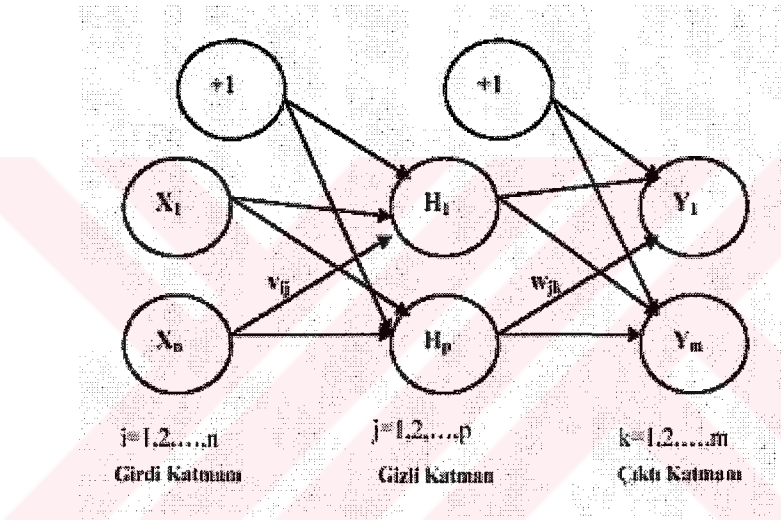
7.7.1. Geri Yayılma Öğrenme Algoritması

Geri yayılma ağları (Back-Propagation Networks) sıklıkla kullanılan bir ağ yapısıdır. Standart geri yayılım algoritması, ağ ağırlıklarının, performans fonksiyonunun negatif eğim yönünde ilerlediği eğim azalım algoritmasıdır. Geri yayılım algoritması, ilk olarak birbirinden bağımsız olarak Rumelhart tarafından önerilmiştir. 1986 yılında Rumelhart ve arkadaşlarının geri yayılım algoritmasını yeniden keşfetmeleri, algoritmanın tanınmasını ve yaygın kullanılmasını sağlamıştır. Geri yayılma algoritması, en çok kullanılan öğreticili öğrenme algoritmasıdır. İleri beslemeli ağlar girdiden çıktıya doğru tek yönde ilerlemeye müsaade etmektedir. Bu geri beslemelerin olmadığı anlamına gelmektedir. Tipik bir ileri beslemeli YSA, girdi katmanı, genellikle bir veya iki ara katman (saklı katman) ve çıktı katmanından oluşmaktadır. Her katmanda ilgilenilen probleme göre değişen sayıda nöronlar bulunmaktadır. Şekil 7.10'da tek saklı katmanlı ileri beslemeli bir YSA görülmektedir. Girdi katmanında n , gizli katmanda p ve çıktı katmanında m adet nöron bulunmaktadır. Her bir katmandaki nöronlar arasındaki bağlantıların ağırlıklarının düzenlenmesi ile ağın eğitimi gerçekleştirilir. Ağırlıkların düzenlenmesi işlemi, hata fonksiyonunun minimize edilmesi ile sağlanmaktadır. Geri yayılım algoritması ismini, çıktı katmanında oluşan hatayı minimize etmek için geriye doğru ağırlıkların düzenlenmesi işleminden almaktadır.

Geri yayılma algoritması, sinir ağının eğiticili sınıfına giren genel bir algoritmadır. Daha öncede belirtildiği gibi girişlerle çıkışlar arasındaki hata sinyali bulunarak, ağırlıklar bu hata sinyaliyle güncellenmektedir. Hata yani $e(k)$, elde edilmek istenen çıkış (gerçek çıkış = $y(k)$) ile sinir ağının çıkışı ($o(k)$) arasındaki farktır.

$$e(k) = y(k) - o(k) \quad (31)$$

Aşağıdaki şekilde birçok sinir hücresinin birbirine bağlandığı ileri yönlü çok katmanlı bir YSA görülmektedir. Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katman veya katmanlar gizli katman olarak adlandırılır. Sinir ağlarında kaç tane gizli katman kullanılacağı ve her bir gizli katmanda kaç nöron olacağı bugüne kadar belirlenememiştir, probleme göre değişen bu nitelikler deneme-yanılma yoluyla bulunur.



Şekil 7.10. İleri beslemeli çok katmanlı sinir ağı (Hamzaçebi ve Kutay, 2004)

8. DENEY SONUÇLARI KULLANILARAK SİNİR AĞI MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Yapay Sinir Ağı modelleri, Bölüm 7.7.1’de detaylı olarak açıklanan geri yayılma yapay sinir ağı metodolojisi kullanılarak tahmin edilmiştir. İleri besleme ağ yapısına sahip bu ağ mimarilerinde denetimli eğitime kullanılmaktadır. Zaten, geri yayılma ağ olarak adlandırılmalarının temel nedeni de, denetimli eğitime tekniği olan geri yayılma algoritması kullanılmasıdır.

Bu yöntem, ölçmeye dayalı verilerle tahmin amaçlı çalışmalarda en çok kullanılan ağ mimarisi olması nedeniyle, bu çalışmada tercih edilen metot olmuştur. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan yapılarda oldukça başarılı sonuçlar vermesi tahmin amaçlı çalışmalarda sıkça kullanılmasının ve dolayısıyla bu çalışmada uygulanan metot olmasının sebeplerinden biridir. Başka bir önemli sebep ise diğer mimarilere göre çok daha kullanışlı bir yöntem olmasıdır.

Yapılan çalışmada kullanılan iki deney yöntemi olan kum konisi deneyi ile nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası parametrelerinin tahmininde, iki tabakalı ağ mimarisi oluşturulmuştur. Yapay sinir ağı eğitilirken, aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant-hiperbolik türünde bir aktivasyon fonksiyonu seçilmiştir. Girdi ve çıktı tabakalarındaki nöron sayılarının girdi ve çıktı değişkenlerin sayısına bağlı olduğu göz önüne alındığında, 87 farklı deney verisinin kullanıldığı modelde, çıkış tabakasında 87 değer elde edilmiştir. Bağımlı değişken olarak, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri seçilmiş, dolayısıyla elde edilen çıkış değerleri, kum konisi deneyine ait hesaplanan çıkış değerleridir.

Kullanılan tanjant-hiperbolik fonksiyonun doğrusal olmayan yapısından dolayı, veri setleri ağa verilmeden önce her bir giriş ve çıkış

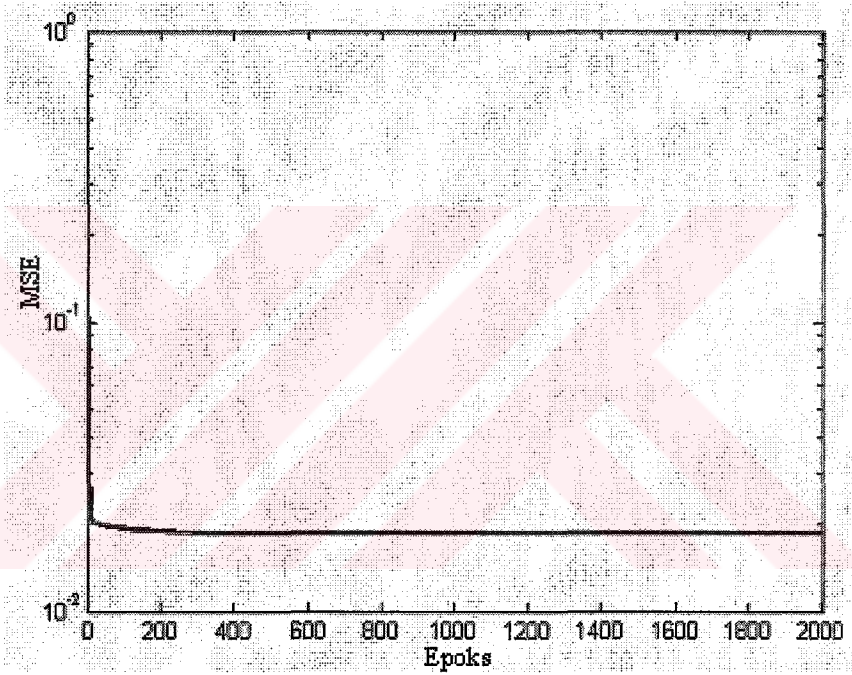
değişkenlerinin maksimum ve minimum değerleri bulunarak, elde edilen değerler $[0 - 1]$ arasında normalize edilmiştir. Buna bağlı olarak da, yapay sinir ağına üreteceği sonuç değerler de yine $[0 - 1]$ arasında elde edilmiştir. Bu durumda başlangıçta yapılan normalize işlemi tersine çevrilerek çıkış değerleri bulunmuştur.

Yapay sinir ağı kullanılarak modelin oluşturulmasında, geri yayımlı yapay sinir ağı seçilmiş; girdi değişkenleri olarak, nükleer deneyden elde edilen kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası değerleri, çıktı değişkeni olarak ise kum konisi deneyinden elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerleri seçilmiştir. Gizli tabakadaki nöron sayısı ise 10, 30, 50 ve 70 olarak seçilmiştir.

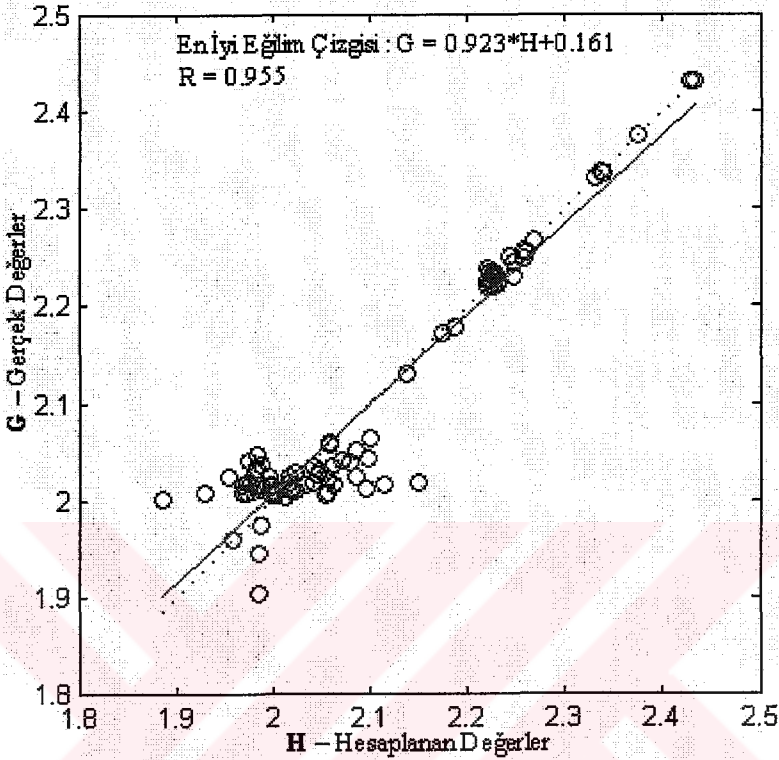
Modelin mimarisi oluşturulduktan sonra eğitime sürecine geçilmiştir. Eğitim süreciyle birlikte amaç fonksiyonunun (Ortalama Hata Kareleri Toplamı - MSE) minimize edilebilmesi için bağlantı ağırlıklarının ayarlanması, bir başka ifadeyle öğrenme işleminin gerçekleştirilmesidir. Gizli tabakadaki nöron sayılarına göre oluşturulan dört farklı yapay sinir ağı modeli, 2000 döngü kullanılarak eğitilmiştir. MSE fonksiyonun bu eğitime işlemi boyunca nasıl minimize edildiği ve hesaplanan kuru birim hacim değerleri ile gerçek kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin elde edilen dağılma grafikleri ile bunlara ait korelasyon katsayıları aşağıdaki şekillerde görülmektedir.

Şekil 8.1'de görüldüğü gibi, eğitime işlemi sayesinde MSE değeri, ilk 5-10 döngüde oldukça hızlı olmak üzere, giderek azalmış ve 0.09 civarında sabitlenmiştir. Eğitim sonucunda ortalama karesel hata 0.01864 olarak bulunmuştur. Eğitim ve test sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması ise şekil 8.2'de yer almaktadır. Sonuçta elde edilen korelasyon katsayısı değeri 0.955 olarak hesaplanmıştır. Bununla

birlikte en iyi eğilim çizgisi, $G = 0.923 \times H + 0.161$ olarak elde edilmiştir. Korelasyon katsayısının pozitif ve 1'e çok yakın bir değerde bulunması, ilişkisi incelenen parametreler olan, nükleer deneye ait kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası ile kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değerleri arasında çok kuvvetli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir.



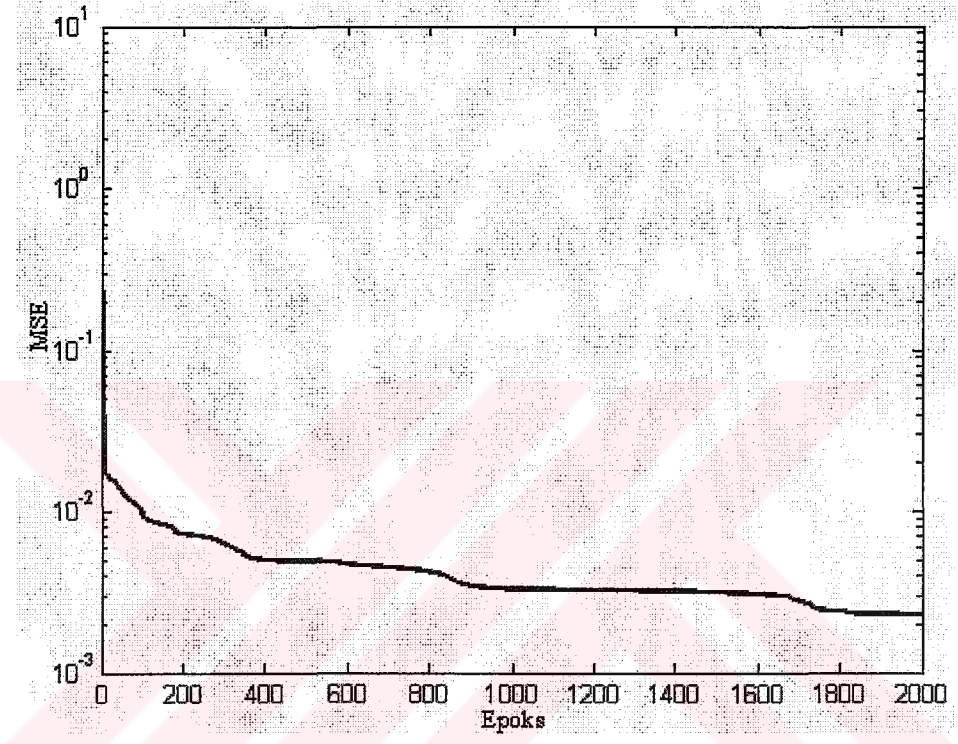
Şekil 8.1. Eğitim süreci içinde 10 gizli tabaka için MSE'nin değerleri



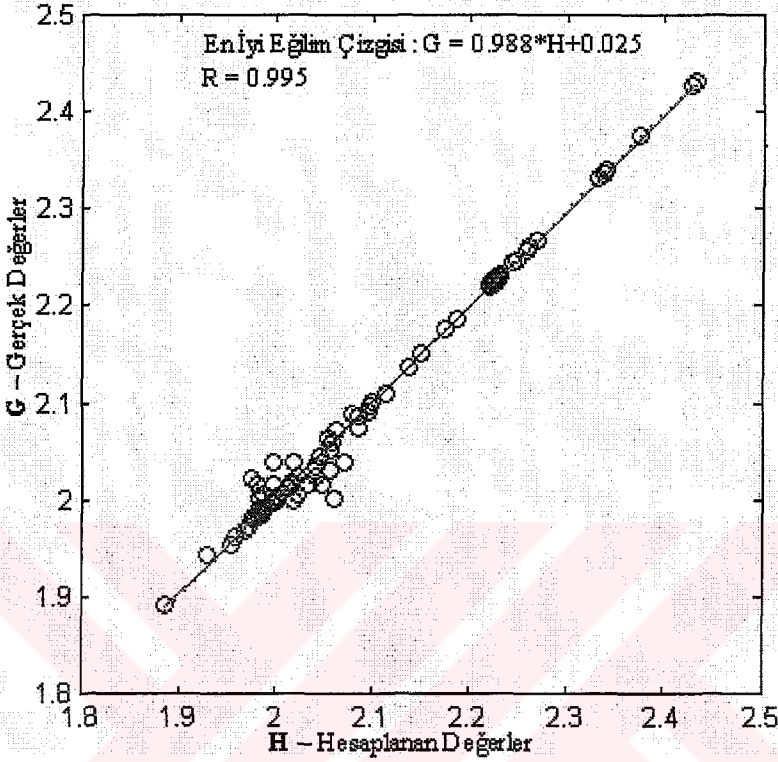
Şekil 8.2. YSA modeli sonucu ile kum konisi deneyi sonunda elde edilen γ_k değerlerinin 10 gizli tabaka için karşılaştırılması

Şekil 8.3'te, gizli tabakadaki nöron sayısının 30 olarak seçildiği model için oluşturulan ortalama karesel hata toplamına ait değerler yer almaktadır. Grafikten de görüldüğü gibi, ortalama karesel hata değerlerinin, 2000 döngü sayısı için değişimi düzgün değildir. MSE değeri, ilk 400 değerinde bir azalma sergilemiş, sonrasında ise, belirli döngülerde küçük azalmalar ile birlikte, 0.0085 seviyesinde sabitlenmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen ortalama karesel hata, 0.0023 olarak hesaplanmıştır. En iyi eğilim çizgisi ise, $G = 0.988 \times H + 0.025$ olarak elde edilmiştir. Eğitim ve test sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerine ait dağılıma grafiği, şekil 8.4'te görülmektedir. Sonuç olarak, hesaplanan korelasyon katsayısı; $R = 0.995$,

değerinin pozitif ve 1'e çok yakın bir değerde bulunması, modeli oluşturan parametreler arasında çok kuvvetli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir.



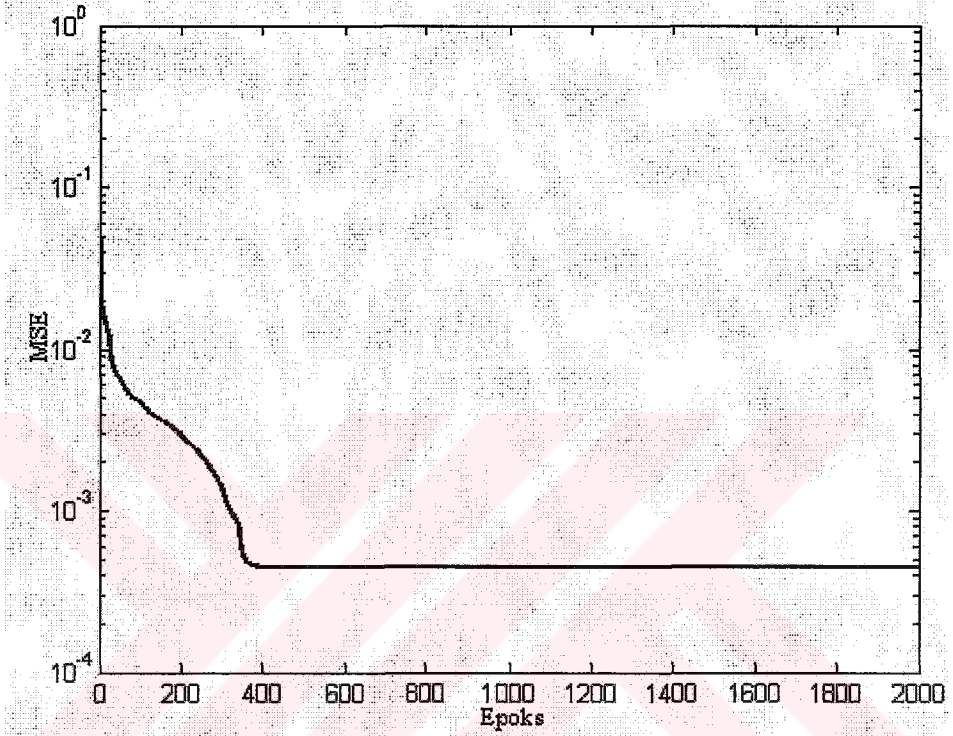
Şekil 8.3. Eğitim süreci içinde 30 gizli tabaka için MSE'nin değerleri



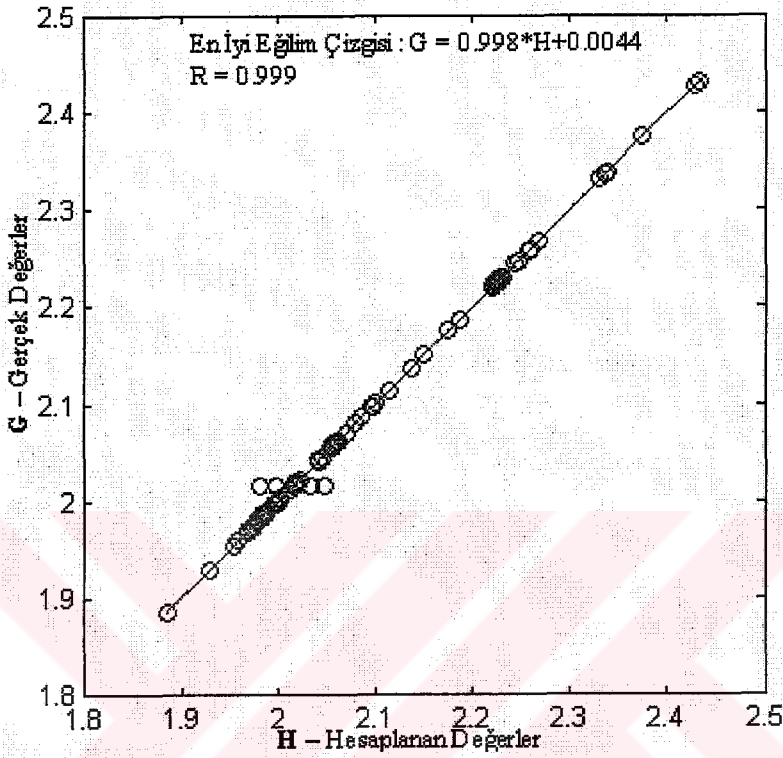
Şekil 8.4. YSA modeli sonucu ile kum konisi deneyi sonunda elde edilen γ_k değerlerinin 30 gizli tabaka için karşılaştırılması

Şekil 8.5'te oluşturulan geri yayımlı yapay sinir ağı modelinde, gizli tabaka sayısı 50 olarak seçilmiş ve elde edilen ortalama karesel hata değeri hesaplanmıştır. Grafikten de görüldüğü gibi, ilk 400 döngüde hızlı bir azalma olmasına karşın, bu noktadan sonra MSE değeri 0.00045 değerinde sabitlenmiştir. İterasyon sayısı diğer modellerde olduğu gibi 2000 olarak seçilmiştir. Eğitim ve test sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması, şekil 8.6'te yapılmıştır. Sonuçta elde edilen korelasyon katsayısı değerinin 0.999 bulunması, nükleer deneye ait parametreler olan kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası değişkenleri ile kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değişkeni arasında çok sıkı

bir ilişki bulunduğunu ifade etmektedir. Ayrıca en iyi eğilim çizgisi de, $G = 0.998 \times H - 0.0044$ olarak hesaplanmıştır.



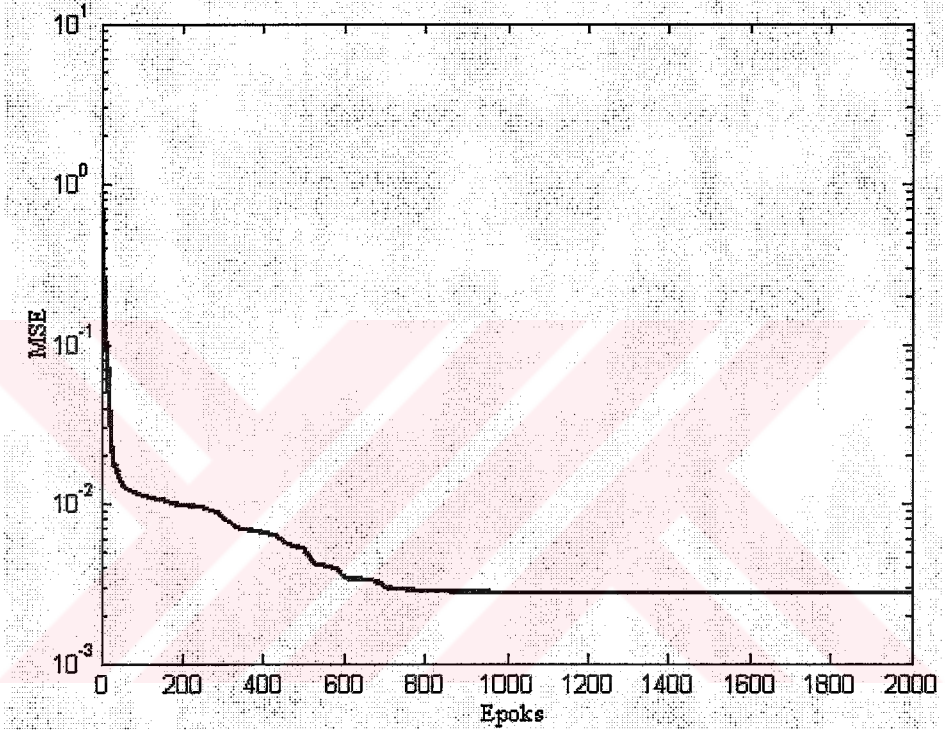
Şekil 8.5. Eğitim süreci içinde 50 gizli tabaka için MSE'nin değerleri



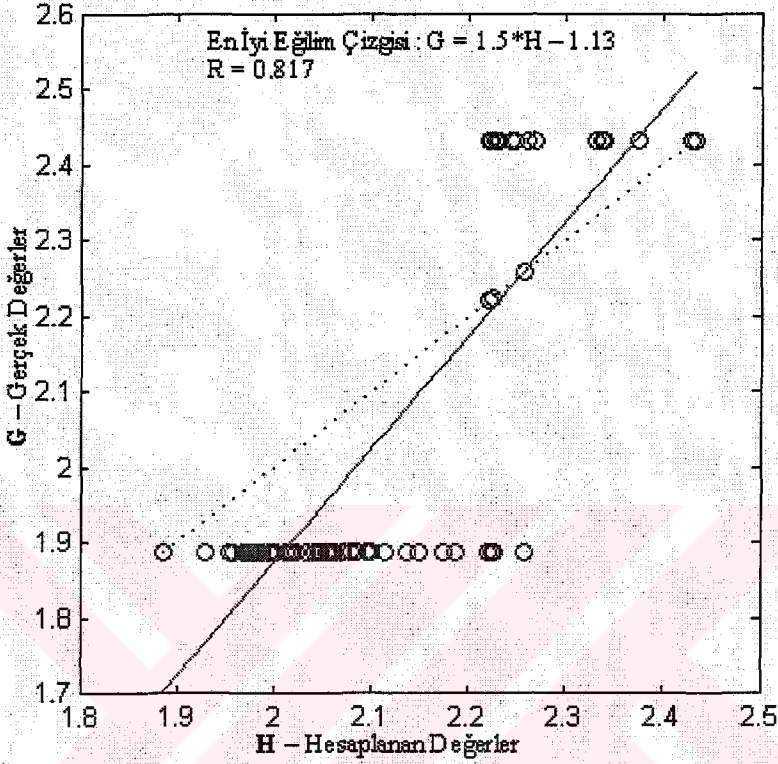
Şekil 8.6. YSA modeli sonucu ile kum konisi deneyi sonunda elde edilen γ_k değerlerinin 50 gizli tabaka için karşılaştırılması

Son olarak gizli tabaka sayısının 70 olarak seçildiği geri yayımlı yapay sinir ağı modeli geliştirilmiş ve ortalama karesel hatalar toplamı hesaplanmıştır. Şekil 8.7’de görüldüğü gibi, 800 döngüye kadar MSE değerinde hızlı bir azalma söz konusu olmakla birlikte, bu değerden sonra MSE değeri 0.00276 değerinde sabitlenmiştir. Eğitim ve test sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerlerine ait dağılım grafiği, şekil 8.8’de görülmektedir. Sonuçta elde edilen korelasyon katsayısı değeri 0.817 olarak bulunmuştur. Ayrıca en iyi eğilim çizgisi ise, $G = 1.5 \times H - 1.13$ olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısına bakılarak, modeli oluşturan parametreler arasında anlamlı bir ilişki bulunduğu söylenebilir. Buna karşın,

gizli tabaka sayısının değişimi göz önüne alınan diğer tabakalarla karşılaştırıldığında, parametreler arası anlamlılığın daha düşük olduğu söylenebilir.



şekil 8.7. Eğitme süreci içinde 70 gizli tabaka için MSE'nin değerleri



Şekil 8.8. YSA modeli sonucu ile kum konisi deneyi sonunda elde edilen γ_k değerlerinin 70 gizli tabaka için karşılaştırılması

Sonuç olarak, nükleer deney ait kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası parametreleri ile kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değişkenlerinin incelenmesinde, gizli tabaka sayısı göz önüne alınarak kurulan geri yayımlı dört modelden, gerçeğe en yakın sonuçlar 50 gizli tabakaya sahip modelde elde edilmiştir. Modelde elde edilen doğrusal regresyon denklemi olan, $G = 0.998 \times H - 0.0044$ denklemi, gerçek kuru birim hacim ağırlık değerleri ile hesaplanan kuru birim hacim ağırlık değerleri arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. MSE değeri en düşük elde edilen modelin bu olmasının yanı sıra, hesaplamalar sonucunda elde edilen

korelasyon katsayısı değeri 1'e en yakın model olması da, uygulanabilirliği en yüksek model olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, Ek 2'de oluşturulan 50 saklı tabakaya sahip YSA modeli sonucunda elde edilen ağırlık matrislerinin değerleri sunulmuştur. Bu değerlerin sunulmasında amaç, sonraki nükleer deney uygulamalarında gerekli düzeltmelerin yapılarak, nükleer deneyin doğruluğunun artırılmasıdır. Ayrıca ağırlık matrisleri, ileride yapılacak olan nükleer deney uygulamalarında elde edilen sonuçlar kullanılarak yenilenebilme özelliğine de sahiptir. Böylece, deney sırasında çeşitli şekillerde oluşan deney hatalarının da minimize edilmesi sağlanmış olacaktır.



9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çeşitli yol inşaatlarından temin edilen kum konisi ve nükleer deneyleri sonucunda elde edilmiş kuru birim hacim ağırlık, su muhtevası ve sıkışma yüzdesi verileri kullanılarak, doğrusal olmayan regresyon ve yapay sinir ağları yardımı ile parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Yapay sinir ağı ve doğrusal olmayan regresyona ait sonuçlar kendi içlerinde karşılaştırılmış ve bunlara ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmanın temel amacı, yol inşaatlarında dolguların sıklık kontrolünde kullanılan deney yöntemleri arasındaki ilişkinin belirlenmeye çalışılmasıdır. Bu kapsamda, yapılan deneylerden kum konisi yönteminin, gerçeğe daha yakın sonuçlar vermekle birlikte, uygulamada işgücü açısından yapılabilirlik ve süre bakımından olumsuzluklar yaşanmaktadır. Buna karşın, aynı amaçlar dahilinde kullanılan nükleer deney çok daha sık aralıklarla ve çok kısa sürelerde gerçekleştirilebilmektedir. Fakat, elde edilen sonuçların gerçek değerlere göre bir miktar farklı olduğu bilinmektedir. Bu bilgiler ışığında çok daha fazla miktarda ve daha hızlı olarak gerçekleştirilebilen nükleer deney sisteminin, elde edilen sonuçlar açısından karşılaşılan olumsuzlukların önlenmesi amacıyla, benzer zeminlerde yapılan sıkıştırma işlemlerinde kullanılan deneylerden elde edilen sonuçlar, çeşitli yöntemler kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Öncelikli olarak, eldeki verilere ilişkin istatistiksel değerlendirmeler yapılmış, ilgili parametreler hesaplanarak, verilerin dağılımları araştırılmıştır. Bununla birlikte, verilerin normal dağılıma uygunlukları incelenmiştir. Kum konisi ve nükleer deneye ait değerlerin üç boyutlu yüzey ve kontur diyagramları ile birlikte, iki boyutlu saçılma grafikleri çizilerek, verilerin doğrusallığı ile ilgili bilgi edinilmiştir. Hesaplamalar sonucunda ulaşılan ortak sonuç, veriler arasında doğrusal bir ilişkinin bulunmamasıdır. Bundan dolayı, değişkenlerin arasındaki ilişki, doğrusal olmayan regresyon

ile ifade edilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte, yapay sinir ağı mimarisinden faydalanılarak, veriler arasındaki ilişki incelenmiş ve elde edilen sonuç ile regresyon denklemlerine ait sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen hesaplardan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, korelasyon katsayıları karşılaştırıldığında, parametreler arası ilişkilerin yapay sinir ağları ile elde edilen eşitlikler ile, doğrusal olmayan regresyon analizinden elde edilen eşitliklere göre daha iyi açıklanabildiği söylenebilir. Çok sayıda yapay sinir ağı mimarisi arasından yaygın şekilde kullanılması avantajından dolayı geri yayılmalı yapay sinir ağı mimarisi tercih edilmiştir. Geri yayılmalı yapay sinir ağı mimarisinden yararlanılarak, kum konisi deneyine ait kuru birim hacim ağırlık değeri, nükleer deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık ve su muhtevası değerleri cinsinden tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Doğrusal olmayan regresyon eşitliklerinde ise, ilgili parametreler arasında dokuz farklı eşitlik geliştirilmiş, bunlardan en anlamlı eşitlik göz önüne alınarak, yapay sinir ağı modeli ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yapay sinir ağları yönteminin doğrusal olmayan regresyon analizine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Diğer taraftan, yapılan analizlerin doğrusal olmayan modelleme teknikleri yanında, doğrusal tekniklerle karşılaştırılması olarak düşünülmesi durumunda, zeminin sıklığının belirlenmesinde kullanılan deney sonuçları arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde, doğrusal olmayan modellerin daha etkili olduğu yönünde bir genelleme yapılabilir.

Nükleer deney sonuçlarının, ileriki zamanlarda uygulamalarında gerekli düzeltmelerinin gerçekleştirilmesi amacıyla, yapay sinir ağı sonucunda elde edilen ağırlıklarına ilişkin matris değerleri, ekler kısmında okuyucuya sunulmuştur. Böylece, gelecekteki nükleer deney uygulamalarına ait sonuçlar, bu çalışmada elde edilen yapay sinir ağı ağırlıkları ile gerekli

düzeltilmeler yapılarak, nükleer deney sonuçlarının doğruluğu düzenlemiş olacaktır.

Yapılan çalışma sonucunda yapay sinir ağları metodu kullanılarak yol inşaatlarında zeminin sıkılığının kontrolünde kullanılan nükleer deney yöntemi ile elde edilen sonuçlar parametrik olarak değerlendirilmiş ve gerçek sonuçlarla olan ilişkisi modellenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, yapay sinir ağları yönteminin bu ilişkiyi oldukça iyi bir şekilde modellediği görülmüştür. Böylece sıkıştırma kontrolü olarak kullanılan nükleer deney yönteminden elde edilen sonuçların model yardımıyla ifade edilebilme imkanı elde edilmiştir. Yapay sinir ağlarının yol mühendisliğinde yaygın olarak kullanımı ve bu çerçevede elde edilecek deneyimler, bu tekniklerin yol mühendisliği problemlerinin çözümünde sağlayacağı yararların daha açık bir şekilde değerlendirilebilmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akdeniz, H. A.,** 1996, İstatistik-I, Anadolu Matbaacılık, İzmir, 133-163s.
- ASTM D 698,** 1992, Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, Annual Book of ASTM Standards, USA
- ASTM D 1556,** 1992, Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method, Annual Book of ASTM Standards, USA
- ASTM D 1557,** 1992, Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort, Annual Book of ASTM Standards, USA
- ASTM D 2922,** 1992, Standard Test Method for Density of Soil and Soil-Aggregate in Place by Nuclear Method, Annual Book of ASTM Standards, USA
- ASTM D 3017,** 1992, Standard Test Method for Water Content of Soil and Rock in Place by Nuclear Method, Annual Book of ASTM Standards, USA
- Aktnson, K.,** 1990, Highway Maintenance Handbook, Thomas Telford Ltd., 88-97pp.
- Argawal, G., Frost, J. D. and Chameau, J. A.,** 1994, Data analysis and modelling using an artificial neural network., 13th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi, Oxford and IBH Publications Co., 1441-1444pp.

KAYNAKLAR (devam)

- Attoh-Okine, N. O.,** 1999, Analysis of learning rate and momentum term in backpropagation neural network algorithm trained to predict pavement performance, *Advances in Engineering Software*, Vol. 30, 291-302pp.
- Attoh-Okine, N. O.,** 2002, Combining use of rough set and artificial neural networks in developed-pavement-performance modeling-a hybrid approach, *ASCE, Journal of Transportation Engineering*, Vol. 128, No. 3, 270-275pp.
- Barnes, J. W.,** *Statistical Analysis for Engineers and Scientists*, McGraw-Hill, New York, 212-214pp.
- Basheer, I. A. and Najjar, Y. M.,** 1995, A neural network for soil compaction, *5th International Semposium on Numerical Models in Geomechanics*, Davos, Switzerland, 435-440pp.
- Bayazıt, M, ve Oğuz, B.,** 1994, *Mühendisler için İstatistik*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 179-209s.
- Bender, E. A.,** 1996, *Mathematical Methods in Artificial Intelligence*, IEEE Computer Society Press, California, 1-17pp.
- Canküyer, E. ve Aşan, Z.,** 2001, Parametrik olmayan istatistiksel teknikler, *Anadolu Üni. Fen Fak. Yayınları*, Eskişehir, 1-16s.
- Civalek, Ö. ve Ülker, M.,** 2004, Dikdörtgen Plakların Doğrusal Olmayan Analizinde Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı, *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergisi*, Yazı No: 213
- Civalek, Ö. ve Çatal, H. H.,** 2004, Geriye yayılma yapay sinir ağı kullanılarak elastik kirişlerin statik ve dinamik analizi, *DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, Sayı:1, 1-16s.

KAYNAKLAR (devam)

- Colucci, R. B. and Sinha, K. C.,** 1985, Optimal pavement management approach using roughness measurements, Transportation Research Record, Vol. 1048, 419-432pp.
- Couto, D. P.,** 1999, Geotechnical Engineering, Prentice Hall, New Jersey, 68-113pp.
- Çelik, S. ve Tan, Ö.,** 2004, Yapay Sinir Ağları ile Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul
- Das, B. M.,** 1983, Advanced Soil Mechanics, Hemisphere Publishing Corporation, Singapore, 36-51pp.
- Ellis, W, et. al.,** 1995, Stress-Strain modelling of sands using artificial neural networks, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol:121, 429-435pp.
- Erdem, M. H.,** 1994, Yapay Nöron Ağı Modelleri, Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-10s.
- Evett, J. B.,** 2000, Soil Properties: Testing, Measurement and Evaluation, Prentice Hall, New Jersey, 141-173pp.
- Fırat, M. ve Güngör, M.,** 2004, Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergisi, Yazı No:219
- Fwa, T. F., Chan, W. T.,** 1993, Priority rating of highway maintenance needs by neural networks, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 119, No 3, 419-432pp.

KAYNAKLAR (devam)

- Gulen, S. et al**, 2001, Development of improved pavement performance prediction models for Indiana pavement management system, The Federal Highway Administration, No:17, Indiana, 39-49pp.
- Hamzaçebi, C. ve Kutay, F.**, 2004, Yapay Sinir Ağları ile Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini, Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt:19 No:3, Ankara, 229s.
- Holtz, R. D and Kovacs, W. D.**, 2002 Geoteknik Mühendisliğine Giriş, (Çev. K. Kayabalı), Gazi Kitabevi, Ankara, 105-137s.
- Hopfield, J. J.**, 1982, Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational ağabeylities, National Acedemy of Sciences, No:79
- Impe, W.F.V.**, 1989, Soil Improvement Techniques and Their Evoution, A.A.Balkame Publishers, Rotterdam, 14-39pp.
- Juang, C. H., Lu, P. C. and Chen, C. J.**, 2002, Predicting geotechnical parameters of sands from CPT measurements using neural networks, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol.17, 31-42pp.
- Karaşahin, M.**, 1993, Resilient Behavior of Granular Materials of Analysis of Highway Pavements. PhD Thesis. Department of Civil Engineering. University of Nottingham. England. 312pp.
- Karagöz, Y.**, 2003, Üstel ve Ki-Kare Dağılımları arasındaki İlişkinin Simulasyon ile Üretilen Random Sayılarla Gösterilmesi, C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, Cilt:4, Sayı:1, Sivas, 198-201s.
- Karol, R. H.**, 1960, Soils and Soil Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 14-30pp.

KAYNAKLAR (devam)

- Knight, K. and Rich, E.,** 1991, Artificial Intelligence, McGraw-Hill, New York, 3-26pp.
- Koç, M. L., Balas, C. E. ve Arslan, A.,** 2004, Taş Dolgu Dalgakıranların Yapay Sinir Ağları ile Ön Tasarımı, İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergisi, Yazı No:225
- Kohonen, T.,** 1980, Content Addressable Memories, Springer-Verlag, New York, 21-38pp.
- Krishnaiah, P.R.,** 1980, Analysis of Variance, Kluwer Academic Publishers, New York, 27-54pp.
- Luthin, J. N.,** 1966, Drainage Engineering, John Wiley & Sons Inc., New York, 174-203pp.
- Neaupane, K and Achet, S.,** 2004, Some applications of a backpropagation neural network in geo-engineering, Enviromental Geology, Vol. 45, 567-575pp.
- Owusu-Ababio, S.,** 1998. Effect of Neural Network Topology on Flexible Pavement Cracking Prediction, Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 13, 349-355pp.
- Penumadu, D. and Zhao, R.,** 1999, Triaxial compression behavior of sand and gravel using artificial neyrnal networks, Elsevier Science Ltd., Vol. 24, 207-230pp.
- Püskülcü, H. ve İkiz, F.,** 1983, İstatistiğe Giriş, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları Yayın No:1, İzmir, 235-257s.
- Rafiq, M. Y., Bugmann, G. and Easterbrook, D. J.,** 2001, Neural Network Design for Engineering Applications, Computers and Structures, No:79, 1-7pp.

KAYNAKLAR (devam)

- Russell, S. J. and Norving, P.**, 1995, Artificial Intelligence – a Modern Approach, Prentice Hall, 14-42pp.
- Saltan, M.**, 1999. Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 202s., Isparta
- Schroeder, W. L. and Dickenson, S. E.**, 1996, Soils in Construction, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 256-275pp.
- Serper, Ö.**, 1985, Uygulamalı istatistik, Filiz Kitabevi, İstanbul, 1-8s.
- Shahin, M. Y., Becker, J. M.**, 1984, Development of performance prediction models for airfield pavements, Transportation Research Record, Vol. 985, 25-33pp.
- Sillers, W. S. and Fredlund, D. G.**, 2001, Statistical Assessment of Soil-Water Characteristic Curve Models for Geotechnical Engineering, Canadian Geotechnical Journal, Vol:38
- Snedecor, G.W. and Cochran, W.G.**, 1989, Statistical Methods, Blackwell Publishing, Iowa, 149-193pp.
- Sundin, S., Braban-Ledoux, C.**, 2001, Artificial intelligence-based decision support technologies in pavement management, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 16, 143-157pp.
- Sutton, B. H. C.**, 1993, Solving Problems in Soil Mechanics, Pearson Education, Harlow, 237-255pp.
- Şen, Z.**, 2004, Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 7-16s.

KAYNAKLAR (devam)

- Şıklar, E.**, 2000, Regresyon Analizine Giriş, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, 3s.
- Tekinsoy, M. A.**, 2002, Doymamış Zeminlerin İndeks ve Hidrolik Özellikleri, SDÜ Basımevi, Isparta, 340-381s.
- Thurner, H. F.**, 2001, Quality Assurance and Self Control in Road Construction, Advanced Measurement Technology, Geodynamik AB, Stockholm, 2-6pp.
- Toğrol B.**, 1966, Korelasyon Metodları, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Basımevi, İstanbul, 1-10s.
- Tunç, A.**, 2001, Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 471-649s.
- Türk, G., Logar, J. and Majes, B.**, 2001, Modelling soil behaviour in uniaxial strain conditions by neural networks, Elsevier Science Ltd, Vol.32, 805-812pp.
- Türkbal, A.**, 1981, Bilimsel Araştırma Metodları ve Uygulamalı İstatistik, Atatürk Üniversitesi Basımevi, Erzurum, 146-158s.
- Umar, F. ve Ağar, E.**, 1991. Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- Umar, F., ve Yayla, N.**, 1981, Yol İnşaatı, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 235-260s.
- Ural, D. N., Bayrak, M. B. ve Saygılı, G.**, 2004, Yapay Sinir Ağları Metodu ile Tabakalı Zeminlerde Sıvılaşma Potansiyeli Analizi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul

KAYNAKLAR (devam)

- Yavuzer, Y.**, 1996, Uzman Sistemler ve Yapay Zeka, Harp Akademileri Basımevi, İstanbul, 66-70s.
- Yazdani, M.**, 1986, Artificial Intelligence : Principles and Applications, Chapman and Hall, London, 6-25pp.
- Yıldırım, H. ve ark.**, 2004, Emme Kapasitesinin Belirlenmesinde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımının Kullanılabilirliği, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul
- Yoğurtçugil, M. K.**, 1976, Örneklemeye – yöntemler ve uygulama, Sermet matbaası, İstanbul, 215 – 232s.
- Yoon, L.M., Kim, B.T. and Jeon, S.S.**, 2004, Empirical correlations of compresion index for marine clay from regression analysis, Can. J. Geotech, Vol. 46, 1213-1221pp.
- Yüçetürk, A. C.**, 1999, Yapay sinir ağları kullanılarak örüntü sınıflandırma ve tanıma, Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, 1-28s.
- Zhu, J. H., Zaman, M. M. and Anderson, S. A.**, 1998, Modeling of soil behavior with a reccurent neural network, Can. J. Geotech, Vol. 35, 858-872pp.

EKLER

EK 1 Kum Konisi ve Nükleer Deney Sonuçları

Ek 2 YSA Ağırlık Matrisinin Gösterimi



Kum Konisi Deneyi			γ_{kmax} ortak (gr/cm ³)	Nükleer Deney		
ω (%)	γ_k (gr/cm ³)	Sıkışma (%)		ω (%)	γ_k (gr/cm ³)	Sıkışma (%)
6,83	1,988	100,97	1,969	6,70	2,028	103,00
7,76	2,003	101,72	1,969	7,40	2,022	102,71
7,65	1,978	100,45	1,969	4,60	1,991	101,14
6,94	2,020	102,62	1,969	4,50	1,980	100,55
7,82	1,998	101,46	1,969	5,20	1,990	101,04
5,04	2,061	104,66	1,969	5,10	1,986	100,85
8,42	2,012	102,17	1,969	7,50	2,046	103,89
7,62	2,151	109,23	1,969	3,80	1,970	100,06
4,52	1,975	100,28	1,969	5,20	1,972	100,17
9,29	2,002	101,65	1,969	4,80	2,128	108,07
9,72	1,998	101,49	1,969	7,20	2,039	103,56
8,29	1,986	100,89	1,969	5,30	2,056	104,42
8,08	2,023	102,76	1,969	5,60	2,002	101,67
3,79	1,983	100,71	1,969	3,60	1,975	100,30
4,75	2,098	106,53	1,969	3,10	1,969	100,02
8,42	2,049	104,04	1,969	3,00	1,973	100,19
5,28	1,981	100,61	1,969	3,00	1,973	100,19
8,26	1,997	101,40	1,969	3,80	1,974	100,25
7,13	1,997	101,40	1,969	3,80	1,974	100,25
6,81	1,954	99,24	1,969	4,40	1,997	101,42
6,88	2,042	103,69	1,969	4,70	1,974	100,27
9,83	2,033	103,25	1,969	4,20	1,984	100,76
4,36	1,999	101,53	1,969	4,20	1,984	100,76
5,90	2,071	105,18	1,969	5,20	1,974	100,26
6,67	2,023	102,76	1,969	4,70	2,011	102,13
8,77	2,096	106,43	1,969	4,30	1,982	100,66
8,95	2,057	104,47	1,969	5,40	1,984	100,76
10,03	1,973	100,23	1,969	4,20	1,974	100,26

5,56	2,056	104,40	1,969	4,80	1,969	100,02
5,04	1,973	100,19	1,969	3,90	1,974	100,26
4,71	2,086	105,92	1,969	4,80	1,988	100,95
8,33	2,017	102,46	1,969	8,80	2,001	101,62
5,78	2,055	104,39	1,969	5,40	2,003	101,72
5,68	2,041	103,67	1,969	5,10	2,001	101,62
11,88	2,000	101,56	1,969	2,90	1,980	100,54
10,01	2,046	103,92	1,969	6,8	2,067	105,00
9,23	2,018	102,51	1,969	6,20	1,996	101,38
6,77	1,988	100,98	1,969	5,10	1,984	100,75
5,35	1,986	100,84	1,969	5,50	1,989	101,00
7,95	1,970	100,06	1,969	6,70	2,012	102,19
5,85	1,980	100,57	1,969	7,70	2,002	101,67
9,13	1,959	99,51	1,969	6,40	2,016	102,39
11,06	2,101	106,72	1,969	4,10	2,006	101,87
7,44	2,019	102,52	1,969	5,40	1,972	100,18
7,88	1,969	100,01	1,969	4,40	1,969	100,02
5,38	1,988	100,99	1,969	5,80	1,999	101,53
10,17	1,886	95,80	1,969	5,40	2,009	102,01
8,14	2,080	105,62	1,969	5,20	1,985	100,80
6,86	1,984	100,77	1,969	5,80	1,999	101,53
7,54	2,086	105,94	1,969	7,70	1,993	101,20
6,83	1,983	100,69	1,969	5,00	1,975	100,32
4,57	2,114	107,36	1,969	5,70	1,996	101,38
8,70	2,187	111,08	1,969	6,50	1,984	100,76
7,08	1,929	97,98	1,969	5,40	1,985	100,80
7,77	2,062	104,73	1,969	5,60	1,981	100,61
7,79	2,059	104,59	1,969	8,30	1,970	100,07
8,03	1,986	100,86	1,969	5,30	2,031	103,17
8,97	2,137	108,52	1,969	7,10	1,992	101,17
4,25	2,223	100,20	2,219	3,20	2,235	100,74

5,35	2,231	100,54	2,219	4,00	2,232	100,57
5,44	2,226	100,33	2,219	4,00	2,230	100,49
3,45	2,226	100,33	2,219	4,69	2,233	100,64
4,30	2,229	100,47	2,219	4,21	2,230	100,50
5,91	2,229	100,43	2,219	4,57	2,243	101,06
5,79	2,247	101,24	2,219	4,49	2,284	102,95
5,62	2,227	100,38	2,219	7,11	2,222	100,14
3,19	2,221	100,11	2,219	7,57	2,219	100,00
6,18	2,224	100,20	2,219	6,40	2,246	101,23
5,17	2,220	100,06	2,219	5,44	2,233	100,65
5,65	2,257	101,70	2,219	6,11	2,237	100,82
4,42	2,230	100,50	2,219	2,55	2,241	100,99
5,56	2,229	100,43	2,219	4,20	2,234	100,68
4,26	2,225	100,28	2,219	6,46	2,221	100,11
4,42	2,260	101,86	2,219	3,48	2,262	101,95
6,64	2,247	101,26	2,219	5,38	2,240	100,97
3,73	2,221	100,09	2,219	2,48	2,245	101,19
3,60	2,257	101,73	2,219	6,94	2,220	100,04
3,81	2,244	101,13	2,219	3,64	2,266	102,10
3,66	2,336	100,28	2,330	3,90	2,334	100,17
2,66	2,339	100,39	2,330	3,20	2,332	100,10
2,33	2,331	100,05	2,330	2,50	2,352	100,95
2,63	2,375	101,92	2,330	4,30	2,355	101,06
6,08	2,175	109,68	1,983	3,98	2,040	102,87
3,41	2,059	103,85	1,983	3,18	2,042	102,98
2,60	2,432	100,51	2,420	3,10	2,423	100,12
2,49	2,428	100,32	2,420	2,70	2,424	100,15
2,86	2,268	101,01	2,245	1,40	2,269	101,08

Ek 2. YSA Ağırlık Matrisinin Gösterimi

Girişten Gizli Tabakaya
Ağırlık Değerleri :

3.944	-11.258
-5.891	5.320
4.415	8.810
8.908	-4.744
9.037	-4.275
7.962	5.891
-4.172	-11.621
-9.439	0.584
-5.806	9.104
-8.692	-3.816
4.805	-9.275
-3.429	10.669
3.734	-9.517
6.868	-8.355
3.594	-10.692
-8.637	-6.193
-6.465	7.911
6.134	-8.486
-10.359	1.682
5.885	-9.697
-8.196	6.628
-4.92	-9.473
10.358	-3.609
-11.667	1.546
6.367	-13.415
7.587	26.472
-7.127	13.157
-5.208	-15.977
-4.431	-13.365
0.936	-22.854
10.245	4.070
-6.636	19.991
4.084	-9.045
-15.474	-1.143
11.694	-1.305
-11.478	5.869
38.851	22.550
7.599	17.510
11.087	-7.292
1.061	-13.260
-3.017	-17.855
-7.856	-18.386
11.050	-23.393
20.917	12.374
22.816	-7.451
10.269	2.986
24.304	-4.812
10.671	-15.973
-13.170	-13.914
-16.409	8.106

Ağırlık
Tabakası : A
 $A^1 =$

-3.559
-4.713
4.665
-1.120
-1.103
5.505
2.351
-1.136
-2.464
-4.594
2.640
3.833
-1.618
-2.434
-4.730
-5.686
-0.808
1.346
-2.606
-6.157
4.136
-6.069
-5.574
4.921
8.703
-11.421
-9.011
-7.939
7.649
-7.553
1.406
-4.723
-10.682
-10.767
-9.560
16.529
-14.109
-7.153
11.55
2.067
-2.957
1.474
7.228
28.648
-9.446
16.824
-7.212
8.723
2.623
-6.528

Tabaka 1'e
Sınır Değerler :

-8.822
11.324
-9.157
-8.644
-8.342
-7.869
7.841
7.642
6.227
6.800
-6.288
5.122
-4.771
-4.089
-5.196
4.985
3.805
-3.997
2.180
-2.630
1.901
-1.076
-1.140
-2.088
-1.641
2.922
-1.780
-1.558
-2.731
3.399
4.148
-3.539
3.206
-11.090
9.370
-6.735
34.188
5.866
8.862
7.147
-10.241
-9.220
9.772
18.162
19.505
10.480
23.145
13.455
-15.788
-18.001

Tabaka 2'ye
Sınır Değerler (-4.872)

ÖZGEÇMİŞ

Emrah Gedük 1980 yılında Kütahya’da doğdu. İlk öğrenimini Kütahya Cumhuriyet İlkokul’unda tamamladıktan sonra, 1995 yılında Kütahya Ali Güral Anadolu Lisesi’nin orta kısmından, 1998 yılında Eskişehir Süleyman Çakır Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı ve bu bölümden 2003 yılında mezun oldu. Halen Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.

