

İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇÖKEL KÖKENLİ İNCE DANELİ ZEMİNLERDE

FİZİKSEL – MEKANİK ÖZELLİK BAĞINTILARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre ERBEK

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Geoteknik

HAZİRAN 2012

İSTANBUL KÜLTÜR ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇÖKEL KÖKENLİ İNCE DANELİ ZEMİNLERDE

FİZİKSEL – MEKANİK ÖZELLİK BAĞINTILARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre ERBEK

0909071004

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 8 Mayıs 2012

Tezin Savunulduğu Tarih: 31 Mayıs 2012

Tez Danışmanı ve Jüri Üyesi: Yrd. Doç. Dr. Ersin Arel

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Akın Önalp

Doç. Dr. Aykut Şenol (İTÜ)

HAZİRAN 2012

ÖNSÖZ

İstanbul Kültür Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Geoteknik Programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın konusu, çökel kökenli ince daneli zeminlerde fiziksel ve mekanik özellikler arasındaki bağıntıları araştırmaktır. Yüksek lisans eğitimim süresince her zaman iyiliğimi düşünen, yardımcı olmaya çalışan, manevi destek gösteren ve ilgisini esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Ersin Arel'e, gerek bilgisi gerek kişiliği ile örnek almaya çalıştığım, bizlere yol gösteren Prof. Dr. Akın Önalp'e, lisans eğitimimde Zemin Mekaniğini bana sevdiren, en güzel şekilde bilgilerini aktarmaya çalışan, karşılığını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim Yrd. Doç. Dr. Sedat Sert'e teşekkür ederim. Tez çalışmama görsel konularda katkıda bulunan Endüstri Ürünleri Tasarımcısı Canay Bayhan'a, çoğu konuda tartışmalarıyla ve kullanılan materyallerle ilgili olarak destekte bulunan İnş. Yük. Müh. Ozan Bilal ve İnş. Yük. Müh. İ. Burak Duran'a teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimim süresince bünyesinde çalışmış olduğum Elfa Mühendislik Danışmanlık ve Tic. Ltd. Şti. kurucularından Dr. İnş. Yük. Müh. Elif Yılmaz ve Jeo. Müh. Hadiye İnceoğlu'na, vermiş oldukları maddi ve manevi destekten dolayı teşekkür ederim. Son olarak, eğitim hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Haziran 2012

Emre ERBEK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
2. KONSOLİDASYON	2
2.1. Normal Konsolide Ve Aşırı Konsolide Zeminler	4
3. LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALAR	6
4. VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI	11
5. VERİ ANALİZİ	13
5.1. Verilerin Değerlendirilmesi.....	13
5.2. Aşırı Konsolide Numunelere Ait Değerlendirmeler	19
5.3. Normal Yüklenmiş Numunelere Ait Değerlendirmeler	24
5.4. Çoklu Regresyon Analizleri	29
5.5. Parametre Tahmini	31
6. YAPAY SİNİR AĞLARI	33
6.1. YSA İle Önerilen Model	39
6.2. İstatistik ve YSA Modellerinin Karşılaştırılması	42
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	44
8. KAYNAKLAR	46

KISALTMALAR

AKO : Aşırı Konsolidasyon Oranı
YSA : Yapay Sinir Ağı

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Tek Değişkenli Sıkışma İndisi Bağlıntıları.....	9
Tablo 3.2 Tek Değişkenli Yeniden Yükleme İndisi Bağlıntıları	10
Tablo 3.3 Çok Değişkenli Sıkışma İndisi Bağlıntıları	10
Tablo 3.4 Çok Değişkenli Yeniden Yükleme İndisi Bağlıntıları.....	10
Tablo 5.1 Verilerin Alt ve Üst Sınırları	17
Tablo 5.2 Tek Değişkenli Tüm Numunelerin Verilerine Ait Bağlıntılar	18
Tablo 5.3 Aşırı Konsolide Numunelere Ait Verilerin Özellikleri	21
Tablo 5.4 Tek Değişkenli Aşırı Konsolide Numune Verilerine Ait Bağlıntılar	22
Tablo 5.5 Normal Konsolide Numunelere Ait Zemin Özellikleri	26
Tablo 5.6 Tek Değişkenli Normal Yüklenmiş Numune Verilerine Ait Bağlıntılar	26
Tablo 5.7 Aşırı Konsolide – Normal Yüklenmiş – Tüm Numunelere Ait Eğilimlerin Karşılaştırılması	28
Tablo 5.8 Laboratuvar Verisi (C_c) ve Tahmini Değerlerin (C_c^*) Karşılaştırılması	32
Tablo 6.1 Laboratuvar Verisi (C_c) ve Tahmini Değerlerin ($C_c^* - C_c^{**}$) Karşılaştırılması	43

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Sıkışma İndisi ve Yeniden Yükleme İndisinin Hesaplanması.....	3
Şekil 2.2 Ön Konsolidasyon Basıncının Casagrande Metodu İle Belirlenmesi.....	4
Şekil 3.1 Sıkışma İndisi – Büzülme Limiti Arasındaki Bağntı (Siridhan & Nagaraj, 2000)	7
Şekil 3.2 Sıkışma İndisi – Plastisite İndisi Arasındaki Bağntı (Siridhan & Nagaraj 2000)	7
Şekil 3.3 Sıkışma İndisi – Likit Limit Arasındaki Bağntılar (Siridhan & Nagaraj 2000) .	8
Şekil 3.4 Sıkışma İndisi – Plastisite İndisi Arasındaki Bağntı (Mitchell, 2005)	8
Şekil 4.1 Veri Değerlendirme Şeması.....	11
Şekil 5.1 Verilere Ait Sınıflamalar	14
Şekil 5.2 Fiziksel Özellik Verilerine Ait Dağılımlar	14
Şekil 5.3 (Devamı) Fiziksel Özellik Verilerine Ait Dağılımlar	15
Şekil 5.4 Konsolidasyon Deney Verilerine Ait Dağılımlar	15
Şekil 5.5 (Devam) Konsolidasyon Deney Verilerine Ait Dağılımlar	16
Şekil 5.6 Sıkışma İndisi – Boşluk Oranı Arasındaki Bağntı.....	18
Şekil 5.7 Sıkışma İndisi – Doğal Birim Hacim Ağırlık Arasındaki Bağntı.....	19
Şekil 5.8 Sıkışma İndisi – Su Muhtevası Arasındaki Bağntı	19
Şekil 5.9 Aşırı Konsolide Numunelere Ait ρ_n , e_0 ve Sınıflamaların Histogramları	20
Şekil 5.10 Sıkışma İndisi – Boşluk Oranı Arasındaki Bağntı.....	22
Şekil 5.11 Sıkışma İndisi – Doğal Birim Hacim Ağırlık Arasındaki Bağntı	23
Şekil 5.12 Sıkışma İndisi – Su Muhtevası Arasındaki Bağntı	23
Şekil 5.13 Doğal Birim Hacim Ağırlık Verilerinin Özeti.....	24
Şekil 5.14 Normal Yüklenmiş Numunelere Ait I_L , I_p ve Sınıflamaların Histogramları....	25
Şekil 5.15 Sıkışma İndisi – Doğal Birim Hacim Ağırlık Arasındaki Bağntı	27
Şekil 5.16 Sıkışma İndisi – Boşluk Oranı Arasındaki Bağntı.....	27
Şekil 5.17 Sıkışma İndisi – Su Muhtevası Arasındaki Bağntı	28
Şekil 5.18 Laboratuvardan Elde Edilen Sıkışma İndisi ile Tahmin Edilen Sıkışma.....	32
Şekil 6.1 Tipik Bir Biyolojik Nöron	33
Şekil 6.2 Biyolojik Nöronun Matematiksel Modeli.....	34
Şekil 6.3 Basit Tek Katmanlı YSA Modeli	35
Şekil 6.4 Geri Beslemeli Model Yapısı	36
Şekil 6.5 Sigmoid Transfer Fonksiyonu	37
Şekil 6.6 YSA Modeli Çıktı Ekranı	40
Şekil 6.7 YSA Modeli Benzeştirme Sonuçları	41
Şekil 6.8 Çoklu Regresyon Tahmini ile YSA Modeli Tahminlerinin Karşılaştırılması ...	42
Şekil 7.1 Karşılaştırma Akış Şeması.....	44

SEMBOL LİSTESİ

C_c	: Sıkışma İndisi
C_r	: Yeniden Yükleme İndisi
e	: Boşluk Oranı
e_0	: Başlangıç Boşluk Oranı
G_s	: Özgül Ağırlık
w_s	: Büzülme Limiti
σ_c	: Ön Konsolidasyon Basıncı
w_n	: Doğal Su Muhtevası
w_L	: Likit Limit
w_P	: Plastik Limit
I_P	: Plastisite İndisi
I_L	: Sıvılık İndisi
$\gamma_n(\rho_n)$: Doğal Birim Hacim Ağırlık
w_i	: Girdi Ağırlıkları
x_i	: Girdi
$d(t)$: Önceden Sonucu Belli Olan Girdi
μ	: Öğrenme Katsayısı

ÖZET

Bu tez, İstanbul Kültür Üniversitesi ve Sakarya Üniversitesi Zemin Mekaniği laboratuvarlarında alüviyal ortamlara ait zeminler üzerinde gerçekleştirilmiş deney sonuçlarının değerlendirilmesiyle yapılmıştır. Değerlendirmeye alınan konu çökel kökenli ince daneli zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki bağıntılarıdır. Zeminlerin fiziksel özellikleri ile mekanik özelliklerinden konsolidasyon deney sonuçlarından sıkışma indisi (C_c) ve yeniden yükleme indisi (C_r) verileri alınmıştır. Literatürde yer alan zemin özelliklerinin, birçok araştırmacıya ait sıkışma indisi ve yeniden yükleme indisi bağıntıları bilinmektedir. Bu bağıntıların birçoğu yöresel çalışmalar sonucu ortaya çıkan; özel karışım numuneleri ve normal yüklenmiş killer için belirtilmiştir. Çalışmanın birinci bölümünde; aşırı konsolide ve normal yüklenmiş numunelere ait zemin özellikleri ile gerçekleştirilen regresyon ve çoklu regresyon analizleri sonucunda, sıkışma indisi ile boşluk oranı, doğal birim hacim ağırlık ve su muhtevası arasında yüksek korelasyon katsayılarına sahip ilişkilerin olduğu ortaya konmuştur. İkinci bölümünde ise, insan beyninin örnek alınmasından yola çıkılıp biyolojik sinir hücrelerinin benzeştirilmesiyle uygulanan yapay sinir ağları (YSA) matematiksel modelinden yararlanılarak neden – sonuç ilişkileri kurulmuştur. Böylece, sıkışma indisi tahmin edilmiş olup, benzeştirme ile çoklu regresyon analizi sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fiziksel Özellikler, Sıkışma İndisi, Yeniden Yükleme İndisi, Çoklu Regresyon Analizi, Yapay Sinir Ağı.

ABSTRACT

This thesis contains a critical evaluation of the database at Sakarya and İstanbul Kültür Universities' data base on the properties of alluvial fine grained soils. The interrelationships of physical and mechanical parameters of alluvial soils have been investigated. The natural moisture content, consistency limits, grain size distribution and natural unit weight determined in the laboratory were chosen as physical properties to be compared with mechanical properties such as compression (C_c) and recompression indices (C_r) from consolidation tests. The existing abundant literature on the compression properties of contains several relationships which were derived from regional data on testing of reconstituted and undisturbed samples of normally loaded clays. In the first part of this study, single and multiple regression analyses carried out have pointed out to reliable relationships between the compression indices and physical properties such as void ratio, unit weight and moisture content with high correlation coefficients. The second part of the thesis contains work on artificial intelligence, a method inspired by the simulation of biological nerve cells to mathematical operations and reasoning – result process has been established. The results obtained from artificial neural network (ANN) operations have been compared to multiple regression results.

Keywords: Physical Parameters, Compression Indice, Recompression Indice, Multiple Regression Results, Artificial Neural Network.

1. GİRİŞ

1.1. Amaç

Bu tezin amacı; çökel kökenli numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarından faydalanarak fiziksel ve mekanik özelliklerinin birbirleri ile olan ilişkilerini incelemektir. Özellikle konsolidasyon çalışmalarından elde edilen mekanik özellik sıkışma indisi üzerinde durulmuştur. Ayrıca fiziksel özellikler ile yeniden yükleme indisi arasındaki bağıntılar da incelenmiştir.

Zeminlerin fiziksel özellikleri ile sıkışma indisi, yeniden yükleme indisi gibi mekanik özelliklerinin aralarındaki ilişkilerin tek değişkenli regresyon, çok değişkenli regresyon analizleri ve YSA ile irdelenmesi, tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

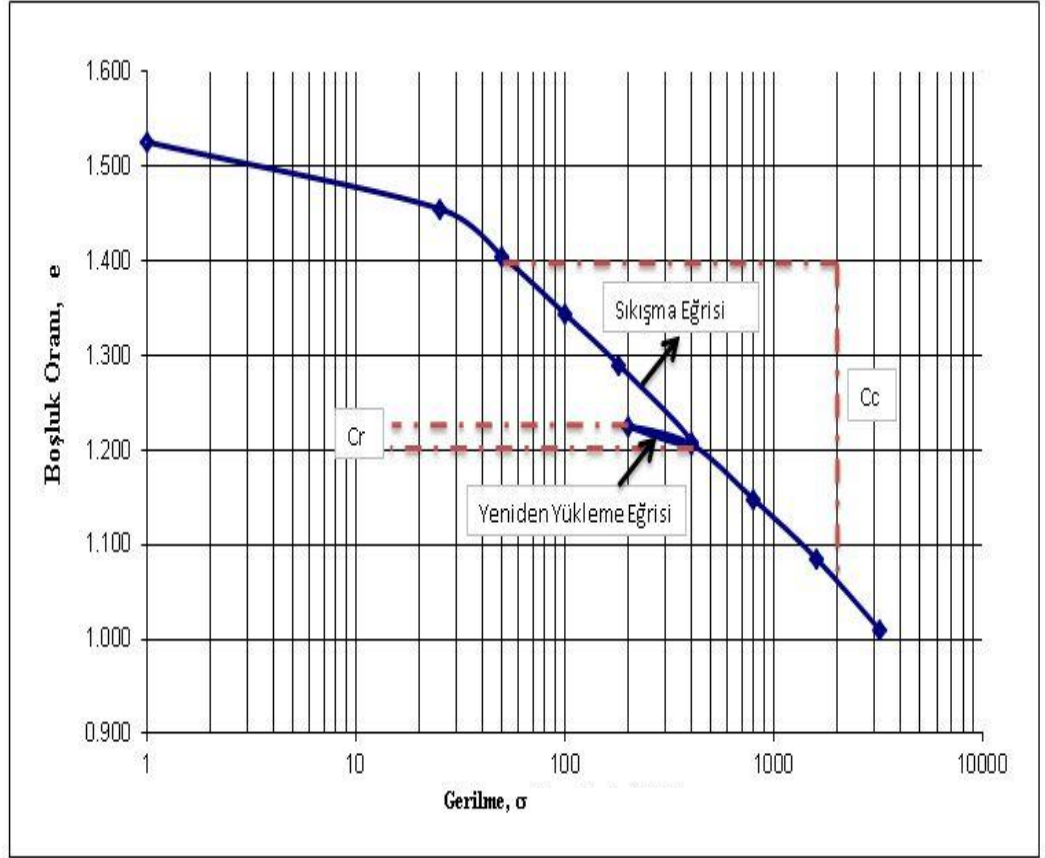
2. KONSOLIDASYON

Boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucu zeminlerde meydana gelen hacimsel şekil değiştirmelerine (boşluk suyu basınçlarının zaman içerisinde sönümlenmesi) zemin mekaniğinde "Konsolidasyon" adı verilmektedir. Zemin içinde suyun hareket edebilme özelliğinin değişik zeminlerde birbirinden çok farklı olduğu bilinmektedir. İnce daneli zeminlerin geçirimsizliği çok düşük olduğu için, yüklenen zeminden suyun dışarı çıkışı yavaş olmaktadır. Bununla birlikte zeminin sıkışması da zamana bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla zeminlerin sıkışmasının hesaplanmasında gerilme – şekil değiştirme – zaman ilişkilerinin incelenmesi gerekli olmaktadır. Bu ilişkiler deneysel olarak laboratuvarında ödometre aleti kullanılarak, kuramsal olarak ise konsolidasyon teorisi ile incelenmektedir.

Konsolidasyon deneyi sonucunda, deney esnasında iki katlık gerilme artışlarıyla 24 saat aralıklı olarak alınan okumalardan, numune başlangıç ve deney sonrası ağırlığından, başlangıç ve bitiş yükseklik ölçülerinden faydalanarak istenilen parametreler elde edilir. Sıkışma indisi, yeniden yükleme indisi ve ön konsolidasyon basıncı parametrelerinin nasıl hesaplandığı Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de gösterilmektedir.

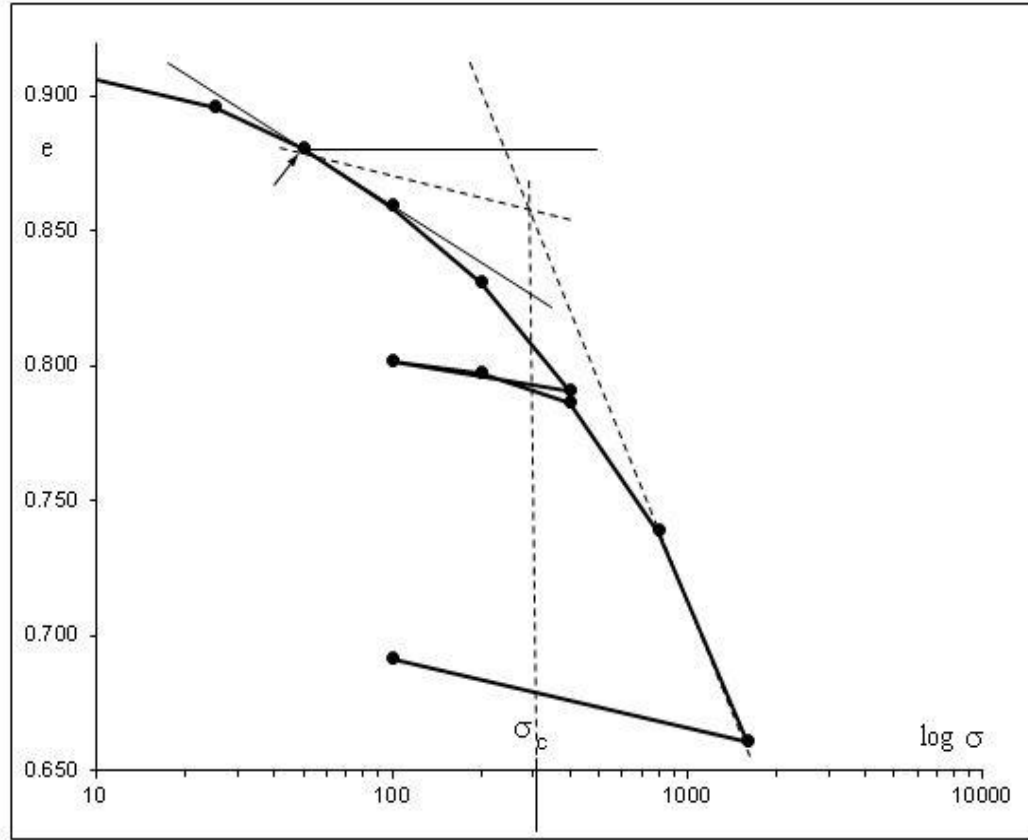
Sıkışma indisi ve yeniden yükleme indisinin hesaplanması aşağıdaki hesaplamalar ile gerçekleşmektedir.

$$C_{c,r} = \frac{e_2 - e_1}{\log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)}$$



Şekil 2.1 Sıkışma İndisi ve Yeniden Yükleme İndisinin Hesaplanması

Sıkışma indisi, bakir sıkışma bölgesinin doğrusal kısmının eğimi olarak tarif edilebilmektedir. Yeniden yükleme indisi ise yeniden yükleme bölgesinin doğrusal kısmının eğimi olarak ifade edilmektedir. Kabarma indisi olarak da adlandırılmaktadır. Sıkışma indisi ile arasındaki ampirik formül $C_r = C_c / (1+e_0)$ olarak bilinmektedir (Azzouz vd, 1976).



Şekil 2.2 Ön Konsolidasyon Basıncının Casagrande Metodu İle Belirlenmesi

2.1. Normal Konsolide Ve Aşırı Konsolide Zeminler

Zeminler doğal ortamlarında zamanla dış etkenlerden etkilenerek gerilme miktarlarında değişim yaşamaktadırlar. Zeminin şimdiki gerilme miktarı, taşıdığı maksimum gerilme ise bu tür zeminler “Normal Konsolide Zeminler” dir. Şimdiki zemin gerilmesini ifade eden jeolojik gerilme miktarı normla konsolide zeminlerde aynı zamanda ön konsolidasyon basıncını ifade etmektedir. Ancak zemin maksimum gerilme altında geçmişte kalmış ise ve jeolojik zamanlar içerisinde doğa olayları sonrasında bu gerilme miktarında bir azalma meydana gelmiş ise bu tür zeminlere de “Aşırı Konsolide Zeminler” denmektedir. Bu gibi zeminlerde, ön konsolidasyon basıncının değeri, zemine uygulanan güncel düşey gerilmeden daha büyüktür. (Şenol, Sağlamer, 2002)

Zeminlerin normal konsolide – aşırı konsolide tanımlamalarını gerçekleştirebilmek için ön konsolidasyon basıncının hesaplanması gerekmektedir. Geoteknik mühendisliği literatüründeki mevcut ön konsolidasyon basıncını belirleme yöntemleri aşağıda sıralanmaktadır.

- Casagrande Yöntemi
- Schmertmann Yöntemi
- Janbu Yöntemi
- Tavenas Yöntemi
- Butterfield Yöntemi
- Burnister Yöntemi

Farklı bilim adamları tarafından geliştirilen bu yöntemler ön konsolidasyon basıncını belirleme şekline göre iki ana guruba ayrılmaktadır. (Şenol, Sağlamer, 2002)

➤ Grafik Yöntemler

Deney verileri bu yöntemlere göre kendi eksen takımlarına uyarlanıp, çizildikten sonra eğrilerin bir seri işleme tabi tutulmasının ardından ön konsolidasyon basıncının bulunduğu yöntemlerdir. Bu yöntemlere örnek olarak; Casagrande, Schmertmann, Butterfield, Burnister yöntemleri gösterilebilir.

➤ Okuma Yöntemler

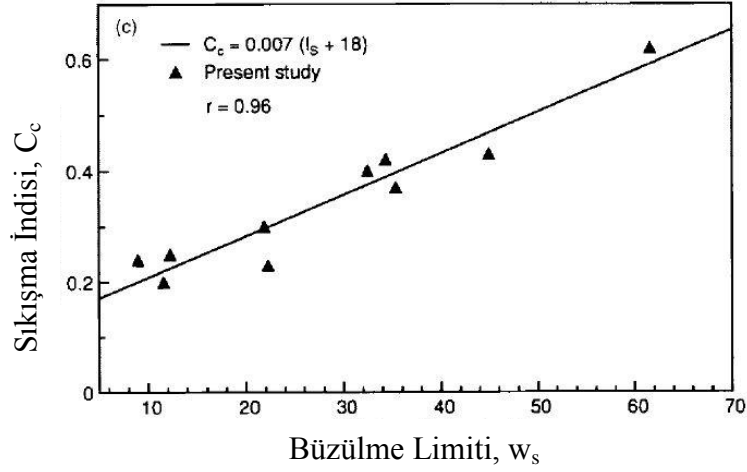
Bu yöntemler grafik üzerindeki eğrinin şeklinden doğrudan ön konsolidasyon basıncının okunduğu yöntemlerdir. Dolayısıyla herhangi bir analitik hesap, tatonman veya eğri düzeltilmesi yoktur. Doğrudan grafik üzerinden ön konsolidasyon basıncı değeri anlaşılabilir. Bu yöntemlere örnek olarak Janbu ve Tavenas yöntemleri verilebilir.

3. LİTERATÜRDEKİ BENZER ÇALIŞMALAR

Mekanik özelliklerin fiziksel özellikleri ile ilişkilendirilmesi 1927 yılında Terzaghi'nin konsolidasyon çalışmaları ile başlamıştır. Skempton ile birlikte sıkışabilirlik hakkında 1944 yılında normal konsolide killer için kabul ettikleri likit limit ile ilişkilendirdikleri " $C_c = 0.009 (w_L - 10)$ " bağıntısını bulmuşlardır.

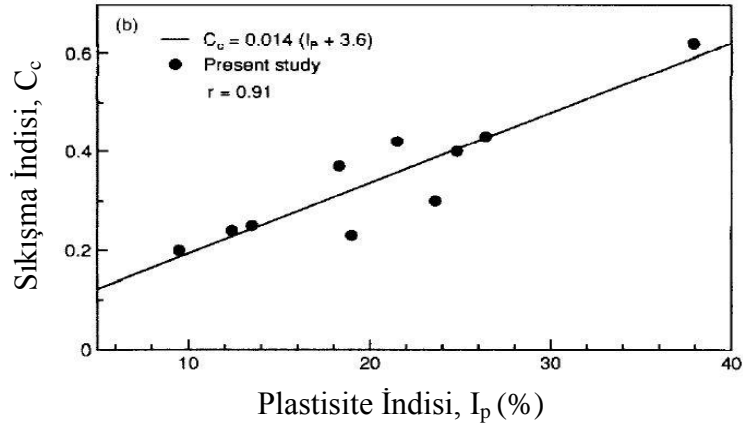
1956 yılında boşluk oranı ile sıkışma indisi arasındaki ilişkiyi Nishida " $C_c = 1.15(e - e_0)$ " bağıntısı ile öne sürmüştür. Yöresel olarak çalışmış olan Cozzolino 1961 yılında Brezilya killeri için " $C_c = 0.0045(w_L - 9)$ " bağıntısını bulmuştur. Sowers 1970 yılında düşük plastisiteli zeminler için " $C_c = 0.75(e_0 - 0.5)$ " bağıntısını bulmuştur. Azzouz 1976 yılında su muhtevası ile ilişkilendirdiği " $C_c = 0.01(w_n - 5)$ " bağıntısını tüm killer için geçerli olarak bulmuştur. 1981 yılında Koppula; Azzouz'un 1976'da bulmuş olduğu sıkışma indisi ve su muhtevası arasındaki ilişki üzerine çalışmış ve " $C_c = 0.01w_n$ " bağıntısını bulmuştur. 1989 yılında Bowles organik siltler ve killer için geçerli olan ve su muhtevasıyla ilişkilendirdiği bağıntısını " $C_c = 0.0115w_n$ " olarak öne sürmüştür. Ayrıca Bowles 1989'lu yıllarda boşluk oranı ve sıkışma indisi arasındaki ilişkiyi irdelemiştir. Bununla ilgili olarak tüm killer için geçerli olan " $C_c = 0.156e_0 + 0.0107$ " bağıntısını ve Chicago Killeri için geçerli olan " $C_c = 0.208e_0 + 0.0083$ " bağıntısını bulmuştur. 1991 yılında Tsuchida Osaka Körfez Killeri için " $C_c = 0.009(w_L - 8)$ " bağıntısını bulmuştur. Shorten 1995 yılında sedimantasyona uğramış genç zeminler için " $C_c = 0.2e^{1.6}$ " bağıntısını bulmuştur.

2000'li yıllarda Siridhan ve Nagaraj normal konsolide killer için büzülme limiti, plastisite indisi ve sıkışma indisi arasında bağıntılar bulmuşlardır (Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3). 2005 yılında Mitchell ve Soga plastisite indisi ile ilgili ilişkiler aramışlar ve sonuç olarak plastisite indisi – sıkışma indisi ve plastisite indisi – yeniden yükleme indisi bağıntılarını ortaya koymuşlardır (Şekil 3.4.).



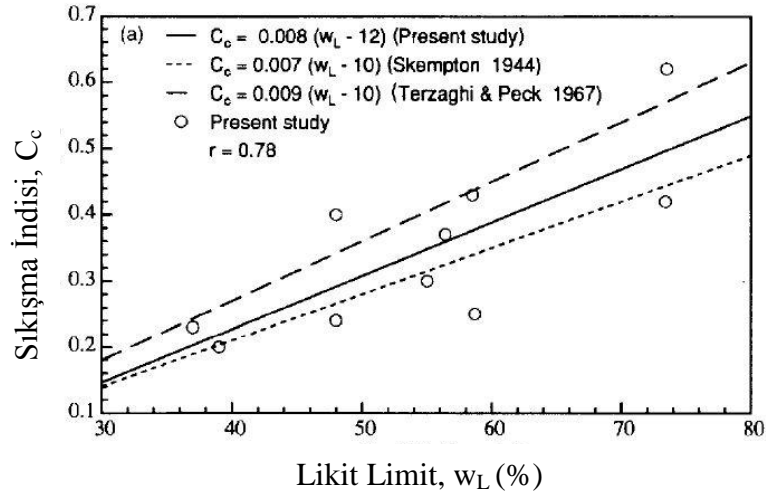
Şekil 3.1 Sıkışma İndisi – Büzülme Limiti Arasındaki Bağını (Siridhan & Nagaraj, 2000)

Siridhan ve Nagaraj'ın normal konsolide killer üzerinde tek değişkenli olarak buldukları " $C_c=0.007(w_L+18)$ " büzülme limiti ile ilişkilendirilmiştir. Şekil 3.1'den de görüleceği üzere büzülme limiti ile sıkışma indisi arasındaki korelasyon katsayısı 0.96 olarak bulunmuştur.



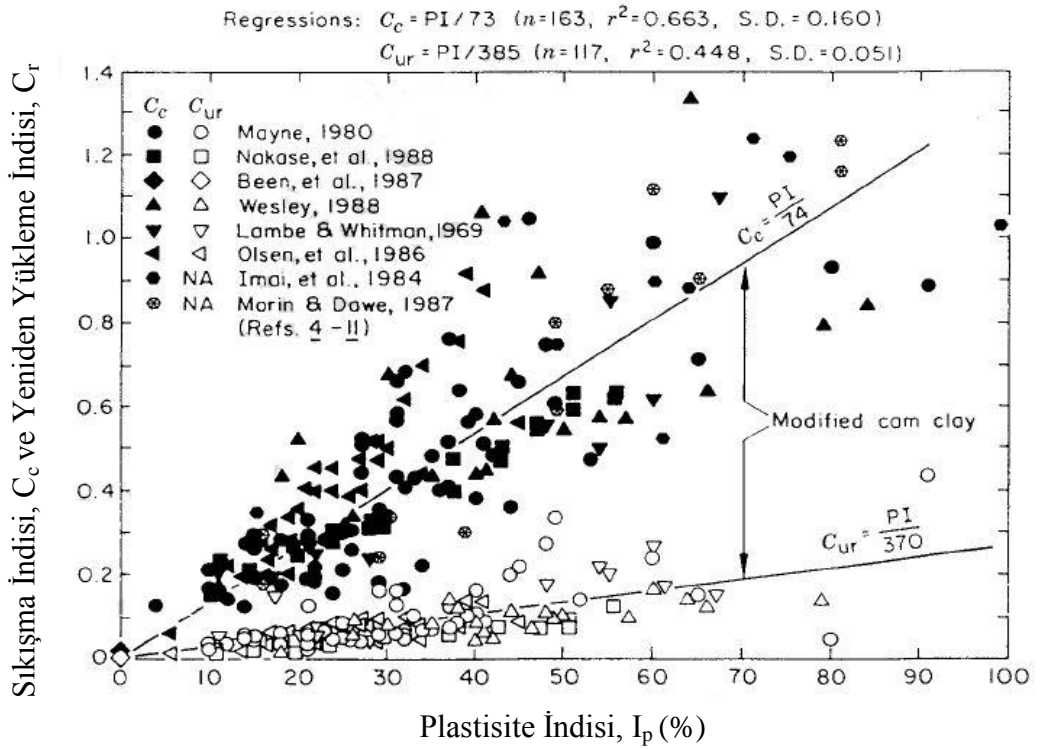
Şekil 3.2 Sıkışma İndisi – Plastisite İndisi Arasındaki Bağını (Siridhan & Nagaraj 2000)

Siridhan ve Nagaraj'ın normal konsolide killer üzerinde tek değişkenli olarak buldukları başka bir bağını " $C_c = 0.014(I_p+3.6)$ " plastisite indisi ile ilişkilendirilmiştir. Şekil 3.2'den de görüleceği üzere plastisite indisi ile sıkışma indisi arasındaki korelasyon katsayısı 0.91 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.3 Sıkışma İndisi – Likit Limit Arasındaki Bağntılar (Siridhan & Nagaraj 2000)

Siridhan ve Nagaraj’ın normal konsolide killer üzerinde tek değişkenli olarak buldukları sıkışma indisi ile ilişkilendirilen başka bir bağıntı “ $C_c = 0.008(w_L - 12)$ ” likit limittir. Şekil 3.3’ten de görüleceği üzere likit limit ile sıkışma indisi arasındaki korelasyon katsayısı 0.78 olarak bulunmuş olup 1944 Skempton ve 1967 Terzaghi & Peck bağıntılarının aralığında kaldığı belirtilmiştir.



Şekil 3.4 Sıkışma İndisi – Plastisite İndisi Arasındaki Bağntı (Mitchell, 2005)

Mitchell ve Soga plastisite indisi ile sıkışma indisi ve yeniden yükleme indisi için tek değişkenli bağıntılarını 2005 yılında bulmuşlardır. Şekil 3.4'ten de görüleceği üzere “ $C_c = PI/74$ ” ve “ $C_r = PI/370$ ” olarak bağıntılar verilmiştir.

Tüm zeminlerde değilse bile, aynı tür veya aynı yöreden gelen killerin sıkışma indisinin zeminin kolayca bulunabilen fiziksel özelliklerinden tahmin edilebilmesi için yaygın çalışmalar yapılmıştır (Önalp, 2007). Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de sıkışma indisi ve yeniden yükleme indisi için geçerli kabul edilen tek değişkenli olan bağıntılar, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te sıkışma indisi ve yeniden yükleme indisi için geçerli kabul edilen çok değişkenli bağıntılar yer almaktadır.

Tablo 3.1 Tek Değişkenli Sıkışma İndisi Bağıntıları

Tek Değişkenli Sıkışma İndisi Bağıntıları		
Denklem	Uygulanabilecek Zemin Özelliği	Referans
$C_c = 0.009 (w_{LL} - 10)$	Normal Konsolide Killer	Skempton (1944)
$C_c = 0.007 (w_L - 10)$	Yoğurulmuş Killer	Skempton (1944)
$C_c = 1.15(e_0 - 0.35)$	Tüm Killer	Nishida (1956)
$C_c = 0.29 (e_0 - 0.27)$	İnorganik Zeminler	Hough (1957)
$C_c = 0.35 (e_0 - 0.5)$	Organik Zeminler	Hough (1957)
$C_c = 0.246 + 0.43(e_0 - 0.25)$	Motley Killeri, Sao Paulo	Cozzolino (1961)
$C_c = 1.21 + 1.055(e_0 - 1.87)$	Lowlands Killeri, Santos	Cozzolino (1961)
$C_c = 0.0046(w_L - 9)$	Brezilya Killeri	Cozzolino (1961)
$C_c = 0.009(w_L - 10)$	Normal Konsolide Killer	Terzaghi & Peck (1967)
$C_c = 0.75 (e_0 - 0.5)$	Düşük Plastisiteli Zeminler	Sowers (1970)
$C_c = 0.01 (w_n - 5)$	Tüm Killer	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.006 (w_L - 9)$	Tüm Killer ($w_L < 100\%$)	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.01 w_n$	Tüm Killer	Koppula (1981)
$C_c = 0.01 (w_n - 7.549)$	Tüm Killer	Herrero (1983)
$C_c = 0.2237 e_L$	Yoğurulmuş ve Normal Konsolide Killer	Nagaraj & Srinivasa Murthy (1983)
$C_c = 0.2343 e_L$	Yoğurulmuş ve Normal Konsolide Killer	Nagaraj & Srinivasa Murthy (1986)
$C_c = 0.0115 w_n$	Organik Siltler ve Killer	Bowles (1989)
$C_c = 0.156e_0 + 0.0107$	Tüm Killer	Bowles(1989)
$C_c = 0.208e_0 + 0.0083$	Chicago Killeri	Bowles (1989)
$C_c = 0.009 (w_L - 8)$	Osaka Körfez Killeri	Tsuchida (1991)
$C_c = 0.009 w_L$	Tokyo Körfez Killeri	Tsuchida (1991)
$C_c = 0.2e^{1.6}$	Sedimentasyona Uğramış Genç Zeminler	Shorten (1995)
$C_c = 0.274 e_L$	Kil - Kum Karışımı	Nagaraj (1995)
$C_c = 0.61e_0 - 0.17$	Klang Killeri, Malaysia	Tan & Gue (2000)
$C_c = IP/73$	Tüm Killer	Mitchell (2005)

Tablo 3.2 Tek Değişkenli Yeniden Yükleme İndisi Bağlıntıları

Tek Değişkenli Yeniden Yükleme İndisi Bağlıntıları		
Denklem	Uygulanabilecek Zemin Özelliği	Referans
$C_r = 0.003 (w_n + 7)$	Tüm Killer	Azzouz et al. (1976)
$C_r = 0.15 (e_0 + 0.007)$	Tüm Killer	Azzouz et al. (1976)
$C_r = 0.017 + 0.102C_c$	Bursa - Çankırı Killeri	Gündüz & Önalp (1996)

Tablo 3.3 Çok Değişkenli Sıkışma İndisi Bağlıntıları

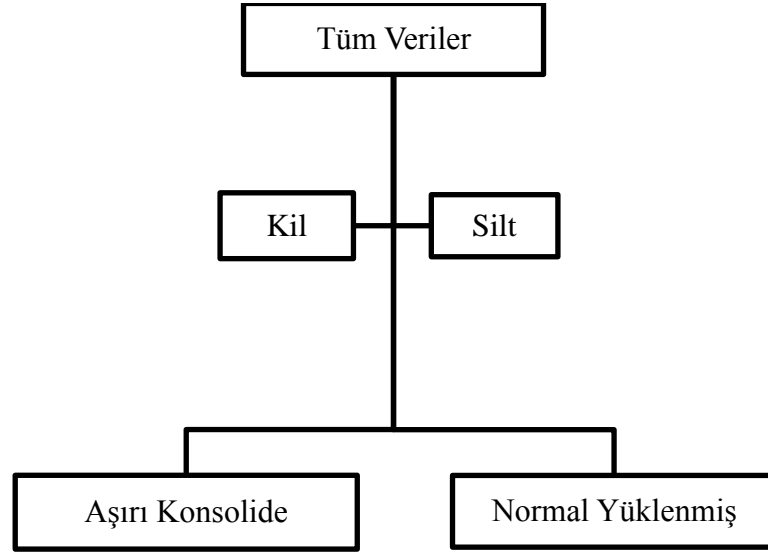
Çok Değişkenli Sıkışma İndisi Bağlıntıları		
Denklem	Uygulanabilecek Zemin Özelliği	Referans
$C_c = 1.15 (e - e_0)$	Tüm Killer	Nishida (1956)
$C_c = 0.37 (e_0 + 0.003w_{LL} - 0.34)$	Tüm Killer	Azzouz et al. (1976)
$C_c = -0.156 + 0.41e_0 + 0.00058w_n$	Tüm Killer	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.040 (e_0 - 0.25)$	Tüm Killer	Azzouz et al. (1976)
$C_c = 0.5G_s I_p$	Normal Konsolide Killer	Wroth ve Wood (1978)
$C_c = 0.141G_s^{1.2} + (1 + e_0) / G_s$	Tüm Killer	Herrero (1980)
$C_c = 0.5(\gamma_w / \gamma_d)^{2.4} = 0.5[(1 + e_0) / G_s]^{2.4}$	Tüm Killer	Herrero (1980)
$C_c = -0.1143 + 0.008w_n + 0.0037 C_p$	Tüm Killer	Koppula (1981)
$C_c = [0.185G_s(\gamma_w / \gamma_d)^2 - 0.144]$	Tüm Zemin Sınıfları	Herrero (1983)
$C_c = 0.2343w_n G_s$	Yoğurulmuş ve Normal Konsolide Killer	Nagaraj & Srinivasa Murthy (1985)
$C_c = 0.329[0.0027(w - w_p) + 0.0133I_p(1.192 + ACT)^{-1}]$	Yoğurulmuş ve Normal Konsolide Killer	Carrier (1985)
$C_c = 0.009w_n + 0.02w_{LL} - 0.10$	Yoğurulmuş ve Normal Konsolide Killer	Nagaraj & Srinivasa Murthy (1986)
$C_c = 0.0023w_{LL} G_s$	Yoğurulmuş ve Normal Konsolide Killer	Nagaraj & Srinivasa Murthy (1986)
$C_c = 0.141 + G_s(\gamma_w / \gamma_d)12/5$	Normal Konsolide Killer	Khafaji & Andersland (1992)

Tablo 3.4 Çok Değişkenli Yeniden Yükleme İndisi Bağlıntıları

Çok Değişkenli Yeniden Yükleme İndisi Bağlıntıları		
Denklem	Uygulanabilecek Zemin Özelliği	Referans
$C_r = 0.126 (e_0 + 0.003w_{LL} - 0.06)$	Tüm Killer	Azzouz et al. (1976)
$C_r = 0.00046w_{LL} G_s$	Yoğurulmuş ve Normal Konsolide Killer	Nagaraj & Srinivasa Murthy (1985)

4. VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI

Çalışmada kullanılacak veriler İstanbul, Sakarya ve Bursa yörelerinden alınmış alüviyal kökenli numuneler üzerinde yapılmış olan konsolidasyon, Atterberg kıvam limitleri ve elek analizi deney sonuçlarından oluşmaktadır. Konsolidasyon deneylerinden zemin özelliklerinden doğal birim hacim ağırlık, boşluk oranı, sıkışma indisi, yeniden yükleme indisi ve ön konsolidasyon basıncı verileri alınmıştır. Atterberg kıvam limitleri ve bunlara ek olarak sıvılık indisi ampirik formül ile hesaplanmıştır. Verilerin arasında bulunan normal yüklenmiş numuneler ve ön konsolidasyon basıncına sahip numuneler ayrı olarak analiz edilip tüm verilerin analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İlişkilerin incelenmesi regresyon analizi ve çoklu regresyon analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizleri sonucunda irdelenen ilişkinin eğilim göstermesi durumunda ortaya çıkan korelasyon katsayılarının $-1 < R < -0.9$ ve $+0.9 < R < +1$ değerleri arasında kalan bir yönelim, ilişkinin kuvvetlendiğini göstermektedir.



Şekil 4.1 Veri Değerlendirme Şeması

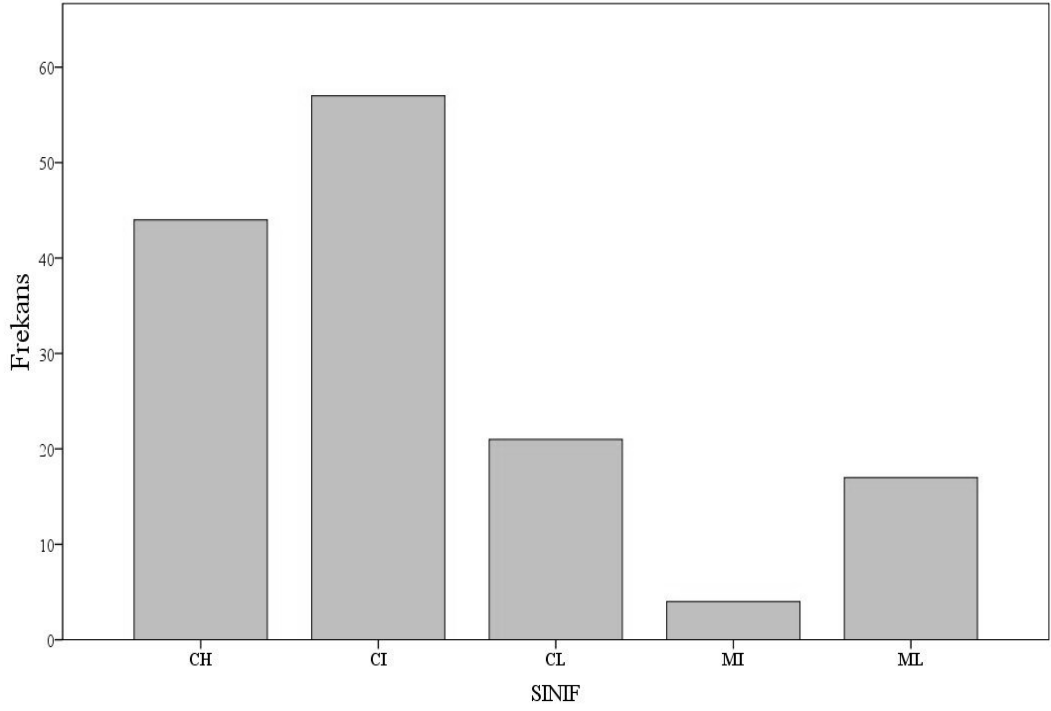
Verilerin içerisinde yer alan çökel kökenli zeminlerden sınıflama sonuçları silt (M) çıkan numuneler ayıklanarak sadece kil (C) numuneleri üzerinde karşılaştırma gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1). Ayrıca silt-kil ayrımı yapılmadan ve yapıldıktan sonraki fark detaylı olarak gösterilmiştir. Laboratuvarda yapılan araştırmaların başlangıcında numunenin normal yüklenmiş mi yoksa aşırı konsolide mi olduğu teorik olarak bilinmemekte olup yalnızca tahmin edilmektedir. Gerçekleştirilen silt-kil sınıflamalarının ayırma işleminin aşırı konsolide ve normal yüklenmiş ayırımından sonra yapılması bu sebeple gereksiz görülmüştür. Laboratuvar ortamında ön konsolidasyon basıncını ve bir numunenin normal yüklenmiş olduğunu anlamak konsolidasyon deneyi ile birlikte numunenin doğada ne şartlardan alındığının bilinmesi ile gerçekleşmektedir.

5. VERİ ANALİZİ

Zemin özellikleri, aşırı konsolide numunelere ait veriler, normal yüklenmiş numunelere ait veriler ve çalışmadaki tüm numunelere ait veriler olmak üzere üç ana başlıkta değerlendirilmiştir. Normal yüklenmiş ve aşırı konsolide olarak ayırımın sebebi ise genelden özele geçildiğinde etkisinin ne kadar olduğunu görebilmektir. Gerek tek değişkenli polinom regresyon analizleri gerekse çoklu regresyon analizleri ile değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen değerlendirmeler sonucunda sıkışma indisinin tahmin edilmesi ve laboratuvarından elde edilen sıkışma indisi sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır.

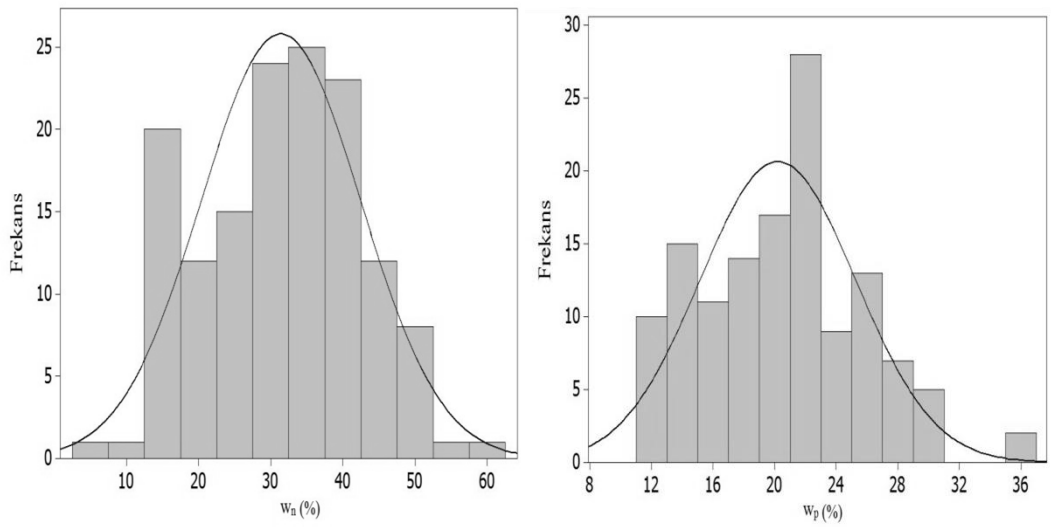
5.1. Verilerin Değerlendirilmesi

Tüm veriler belirli bir ön konsolidasyon basıncına sahip numuneler ile normal yüklenmiş numuneleri içermektedir. Sınıflama açısından bakıldığında kil (C) ve silt (M) numunelerinden oluşmaktadır. Tüm verilere ait dağılımlar, ortalamaları, standart sapmaları ve sayılarına ait bilgiler Tablo 5.1’de verilmektedir. Ayrıca fiziksel özelliklere ait veri dağılımları Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de, konsolidasyon deneyinden elde edilen verilere ait veri dağılımları Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’te, sınıflama sonuçları ise Şekil 5.1’de gösterilmektedir.

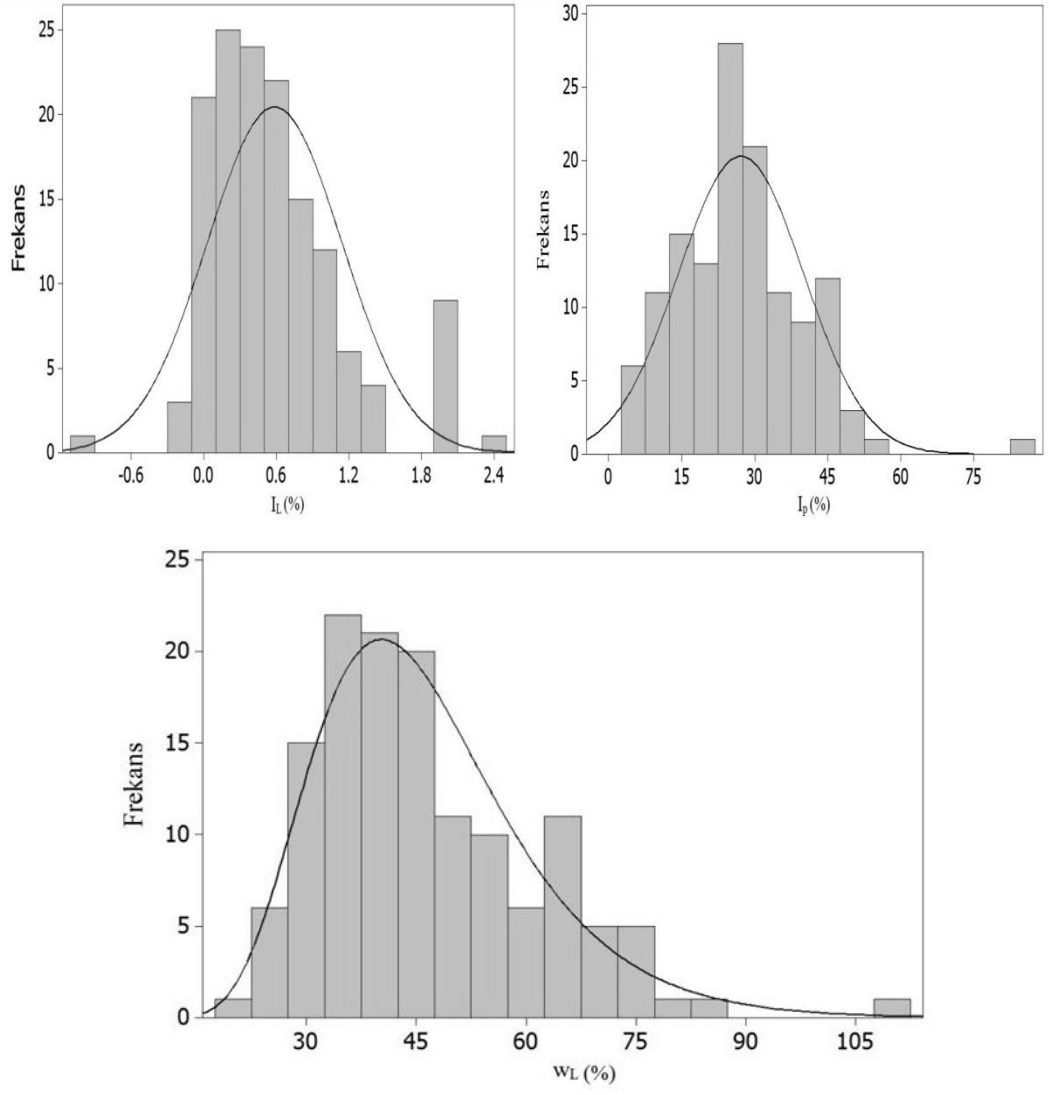


Şekil 5.1 Verilere Ait Sınıflamalar

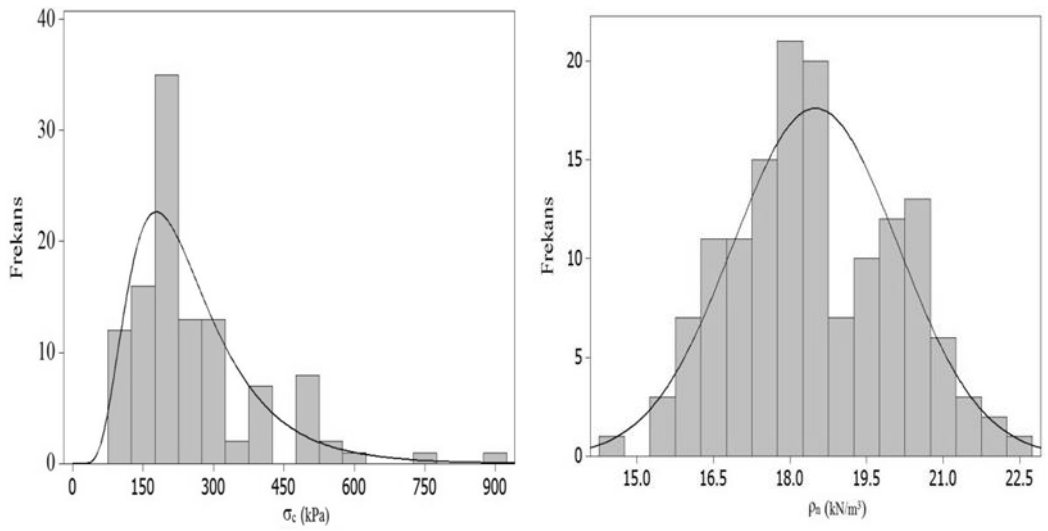
Şekil 5.1’de yer alan histogramda görülen veriler içerisinde toplam 123 adet kil, 21 adet silt numunesi yer almaktadır. Değerlendirme aşamasında 123 adet kil numunelerine ait veriler ile silt + kil numunelerine ait verilerin sıkışma indisi ile olan ilişkileri karşılaştırılmıştır.



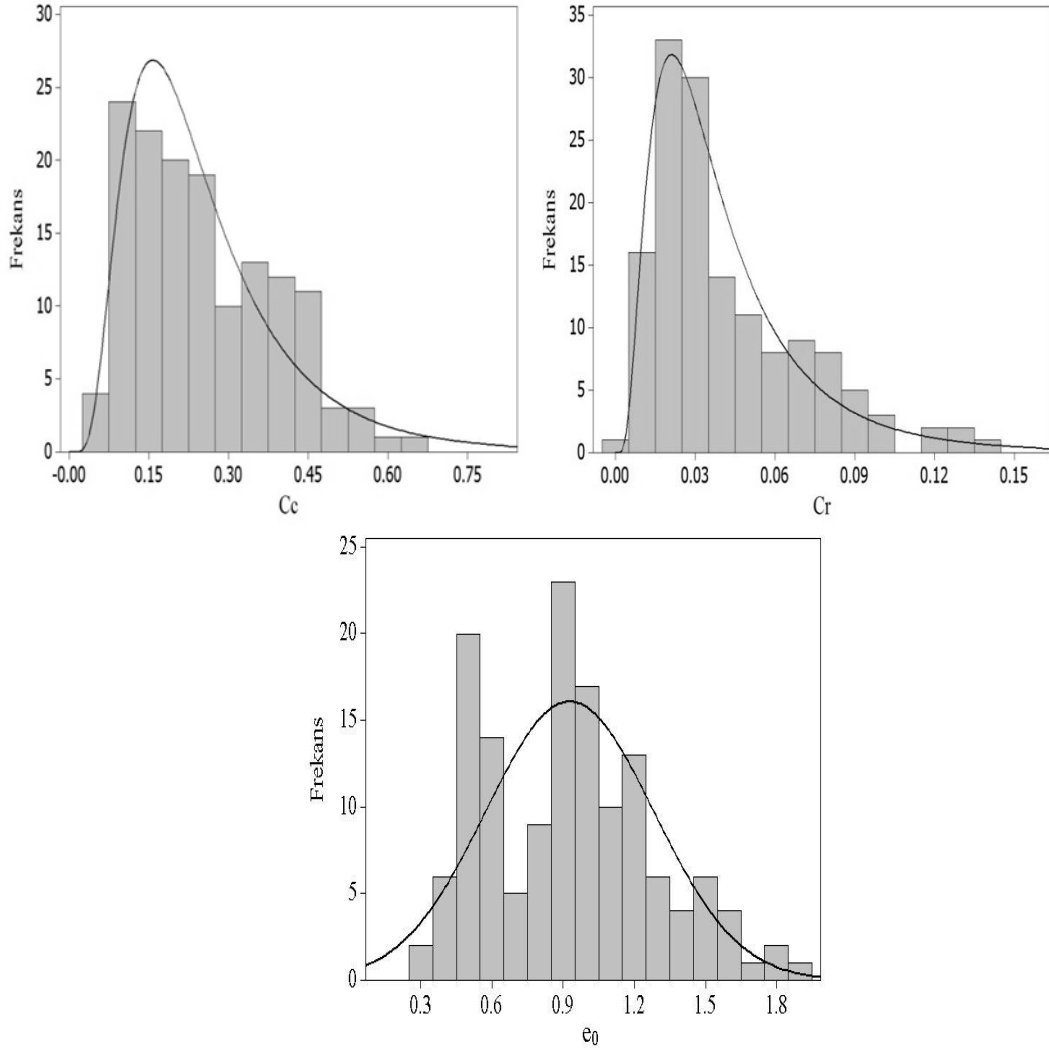
Şekil 5.2 Fiziksel Özellik Verilerine Ait Dağılımlar



Şekil 5.3 (Devamı) Fiziksel Özellik Verilerine Ait Dağılımlar



Şekil 5.4 Konsolidasyon Deney Verilerine Ait Dağılımlar



Şekil 5.5 (Devam) Konsolidasyon Deney Verilerine Ait Dağılımlar

Tablo 5.1’de verilerin ortalamaları, standart sapmaları, veri frekansı, minimum ve maksimum değerleri verilmektedir. Tablo 5.1’de yer almakta olan 143 adet su muhtevası verisi %6.03 ile %60.99 değerleri arasında olup aritmetik ortalaması 31.41, standart sapması 11.06 olarak hesaplanmıştır. Likit limit değerleri toplam 136 adetten oluşmaktadır. %21.00 ile %109.12 değerleri arasında değişmektedir. Aritmetik ortalaması 46.55 olmakla birlikte standart sapması 17.83’tür. Plastik limit değerleri toplam 131 adetten oluşmaktadır. Toplam 12 adet non-plastic veri de bulunmaktadır. Aritmetik ortalaması 20.21 olmakla birlikte %11.06 ile %35.00 değerleri arasında değişmektedir. Standart sapması 7.42’dir.

Tablo 5.1 Verilerin Alt ve Üst Sınırları

Zemin Özellikleri	Ortalama	Minimum Değer	Maksimum Değer	Standart Sapma	Veri Sayısı
Su Muhtevası	31.41	6.03	60.99	11.06	143
Likit Limit	46.55	21.00	109.12	17.83	136
Plastik Limit	20.21	11.06	35.00	7.42	131
Plastisite İndisi	27.16	3.00	86.43	14.44	131
Sıvılık İndisi	0.59	-0.92	2.40	0.56	143
Doğal Birim Hacim Ağırlık	18.50	14.49	22.34	1.62	143
Boşluk Oranı	0.93	0.29	1.90	0.35	143
Sıkışma İndisi	0.254	0.039	0.642	0.133	143
Yeniden Yükleme İndisi	0.042	0.004	0.137	0.029	143
Ön Konsolidasyon Basıncı	255	80	900	163	143

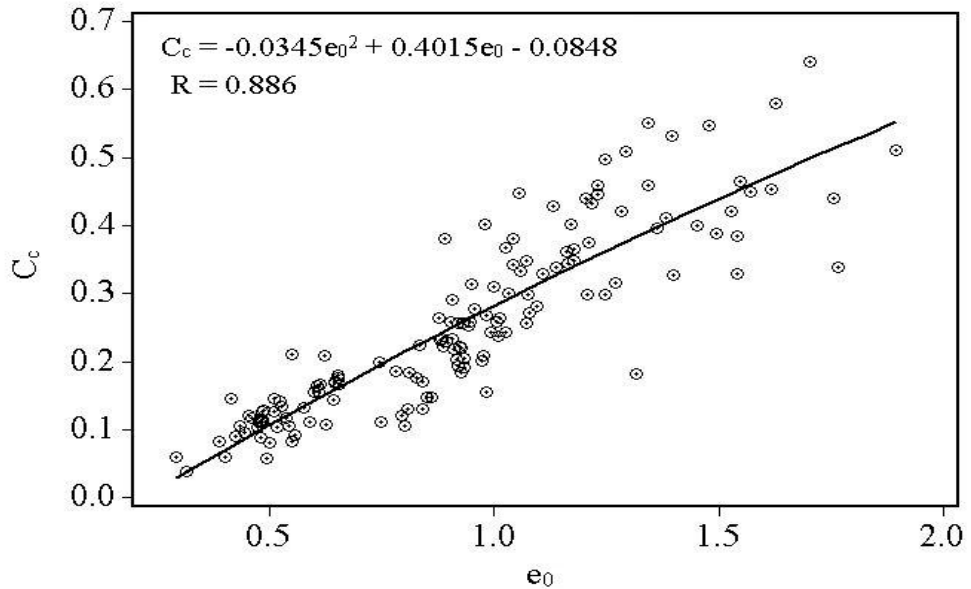
Plastisite indisi değerleri toplam 131 adetten oluşmaktadır. Toplam 12 adet de non-plastic veri bulunmaktadır. Aritmetik ortalaması 27.16 olmakla birlikte %3.00 ile %86.43 değerleri arasında değişmektedir. Standart sapması 14.44'tür. Doğal birim hacim ağırlık verileri toplam 143 adettir. 14.49kN/m³ ile 22.34kN/m³ değerleri arasındadır. Standart sapması 1.62 olmakla beraber aritmetik ortalaması 18.50kN/m³'tür. Boşluk oranı verileri toplam 143 adettir. Aritmetik ortalaması 0.93 olup 0.29 ile 1.90 değerleri arasında değişmektedir. Standart sapması 0.35'tir. Sıkışma indisi verileri toplam 143 adettir. 0.039 ile 0.642 değerleri arasında olup standart sapması 0.133'tür. Yeniden yükleme indisi verileri 0.004 ile 0.137 değerleri arasındadır. Toplam 143 adettir. Standart sapması 0.029 olup aritmetik ortalaması 0.042'dir. Ön konsolidasyon basınç verileri toplam 143 adettir. 80 ile 900 değerleri arasında değişmektedir. Aritmetik ortalaması 255 olup standart sapması 163'dür. Toplam 32 adet normal yüklenmiş veri bulunmaktadır.

Tablo 5.2’de verilmiş denklemlerin korelasyon katsayılarına bakıldığında sıkışma indisi – boşluk oranı, sıkışma indisi – doğal birim hacim ağırlık ve sıkışma indisi – su muhtevası verileri arasında yüksek eğilim gösteren doğrusal olmayan (polinom) ilişkiler görülmektedir.

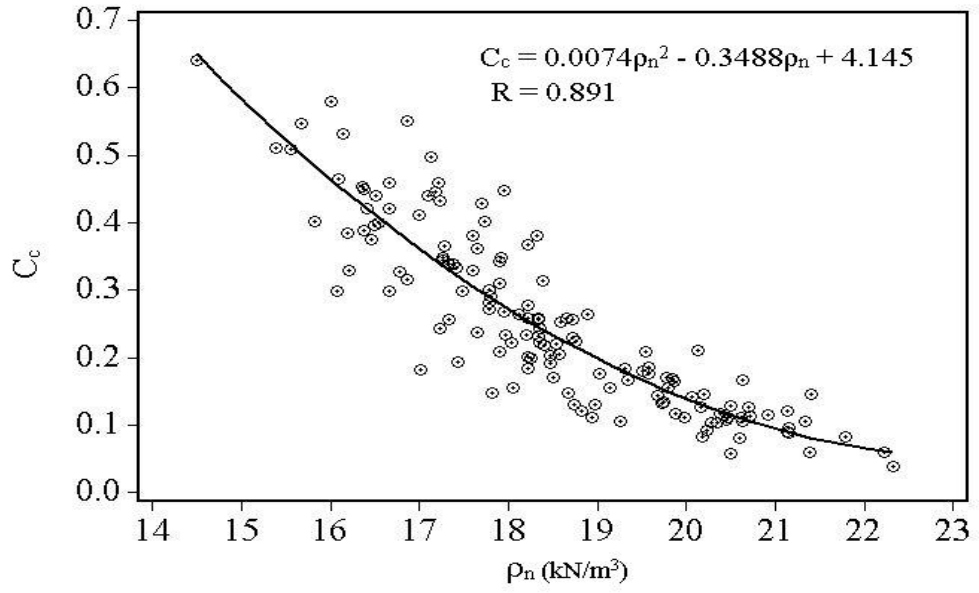
Tablo 5.2 Tek Değişkenli Tüm Numunelerin Verilerine Ait Bağlıntılar

Tek Değişkenli Tüm Verilere Ait Bağlıntılar	
İlişki	R (Korelasyon Katsayısı)
$C_c = 0.000042w_n^2 + 0.0069w_n - 0.0102$	0.796
$C_c = 0.0074\rho_n^2 - 0.3488\rho_n + 4.145$	0.891
$C_c = -0.0345e_0^2 + 0.4015e_0 - 0.0848$	0.886

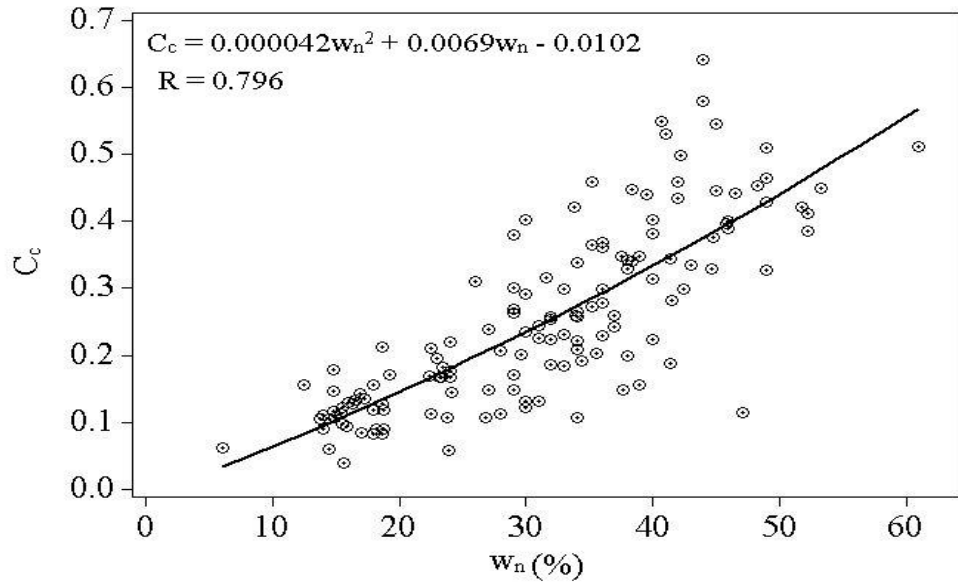
Bu denklemlere ait grafikler Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de gösterilmektedir. Tüm veriler için incelenmiş olan ilişkiler arasında yer alan yüksek korelasyon katsayılı bağıntıların yanı sıra çok düşük korelasyon katsayılı bağıntılar veren parametreler de mevcuttur. Sıkışma indisi ve yeniden yükleme indisi ile diğer zemin parametreleri ile olan ilişkilerine ait grafikler bu çalışmada Ek-1’de yer almaktadır.



Şekil 5.6 Sıkışma İndisi – Boşluk Oranı Arasındaki Bağlıntı



Şekil 5.7 Sıkışma İndisi – Doğal Birim Hacim Ağırlık Arasındaki Bağını

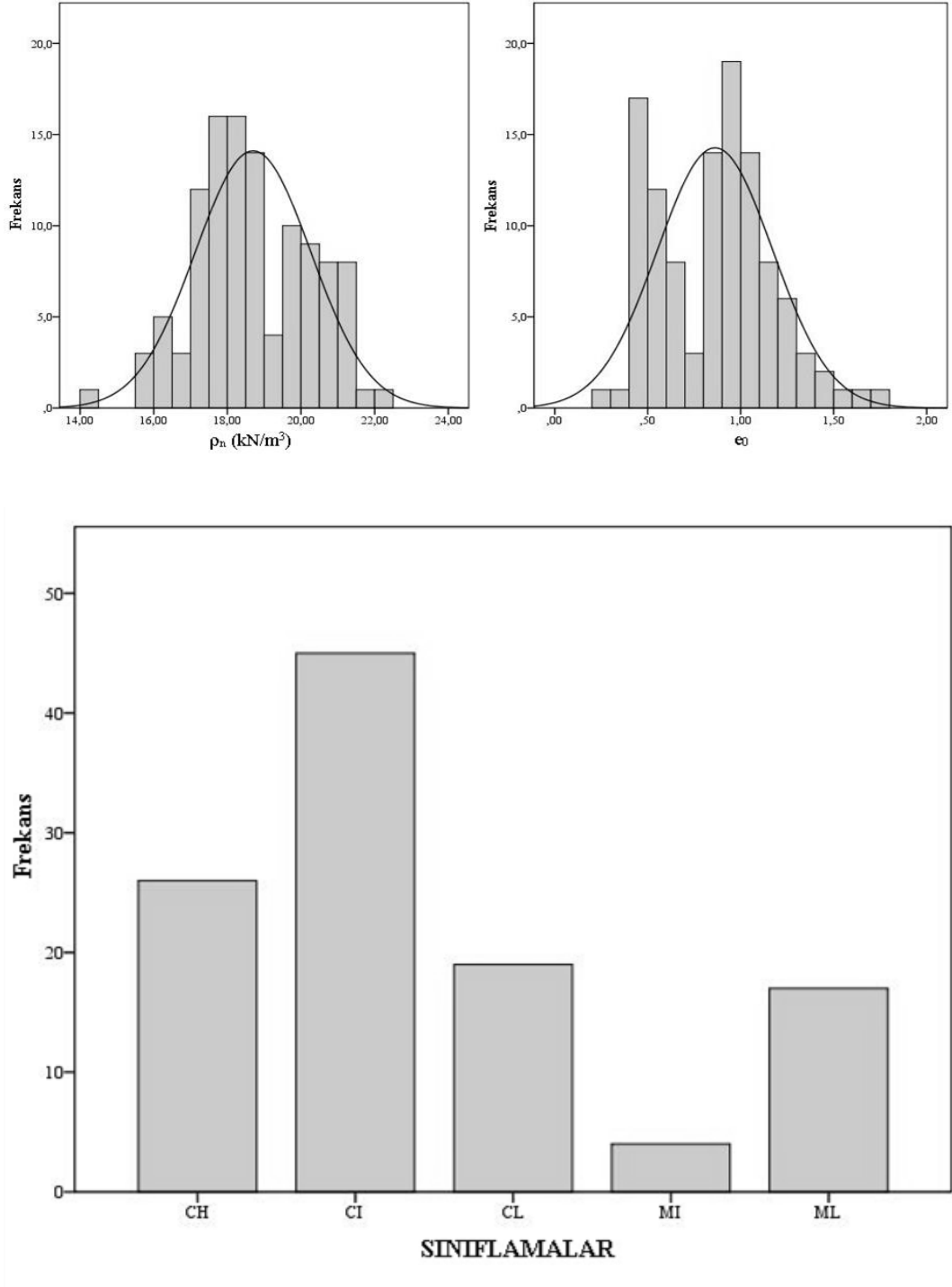


Şekil 5.8 Sıkışma İndisi – Su Muhtevası Arasındaki Bağını

5.2. Aşırı Konsolide Numunelere Ait Değerlendirmeler

Ön konsolidasyon basıncına sahip numunelerin ortalama, minimum değer, maksimum değer, standart sapma ve toplam sayıları Tablo 5.3'te yer almaktadır. Tablo 5.4'te tek değişkenli aşırı konsolide numune verilerine ait denklemler ve

bunlara ait korelasyon katsayıları yer almaktadır. Ayrıca Şekil 5.9’da normal dağılıma uygun olan ρ_n ve e_0 histogramları ile zemin sınıfları yer almaktadır.



Şekil 5.9 Aşırı Konsolide Numunelere Ait ρ_n , e_0 ve Sınıflamaların Histogramları

Aşırı konsolide numunelere ait verilerin değerlendirilmesinde sınıflama ayrımı gerçekleştirilmemiştir. Tüm aşırı konsolide veriler bir arada değerlendirilmiştir. Toplam 111 adet aşırı konsolide numune verisi bulunmaktadır. Tablo 5.3'te 111 adet numuneye ait zemin özelliklerinin hangi aralıkta yer aldığı, ortalamaları ve standart sapmaları yer almaktadır.

Tablo 5.3 Aşırı Konsolide Numunelere Ait Verilerin Özellikleri

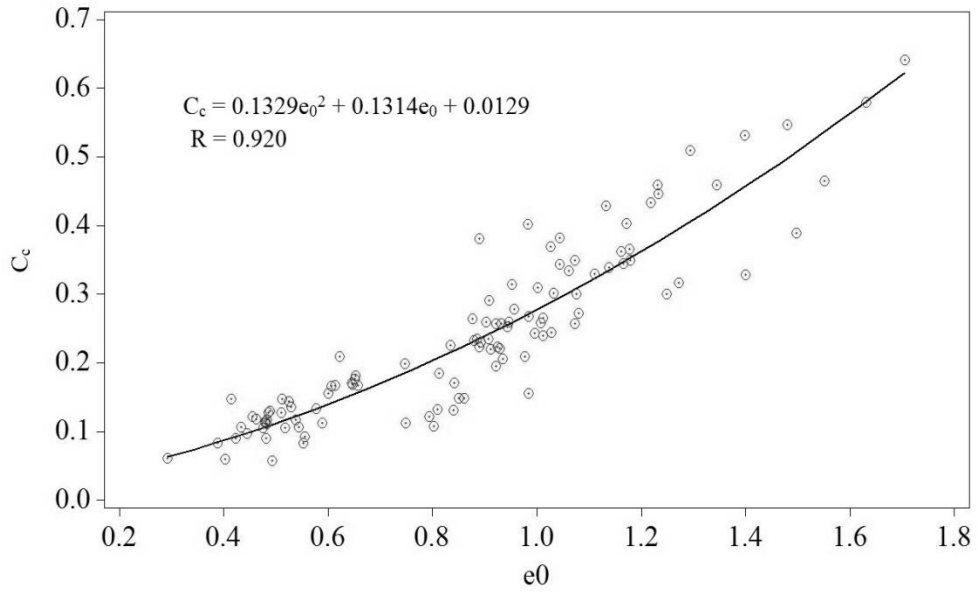
Zemin Özellikleri	Ortalama	Minimum Değer	Maksimum Değer	Standart Sapma	Veri Sayısı
Su Muhtevası	29.66	6.03	49	9.98	111
Likit Limit	43.85	21.00	85	13.44	104
Plastik Limit	20.04	11.06	35	5.10	99
Plastisite İndisi	24.75	3.00	57	11.54	99
Sıvılık İndisi	0.61	-0.92	2.4	0.61	111
Doğal Birim Hacim Ağırlık	18.70	14.49	22.24	1.56	111
Boşluk Oranı	0.862	0.293	1.704	0.307	111
Sıkışma İndisi	0.237	0.058	0.642	0.126	111
Yeniden Yükleme İndisi	0.037	0.004	0.137	0.025	111
Ön Konsolidasyon Basıncı	255	80	900	139	111

Tablo 5.3'de verilmiş denklemlerin korelasyon katsayılarına bakıldığında sıkışma indisi – boşluk oranı, sıkışma indisi – doğal birim hacim ağırlık ve sıkışma indisi – su muhtevası verileri arasında yüksek eğilim gösteren doğrusal olmayan (polinom) ilişkiler görülmektedir.

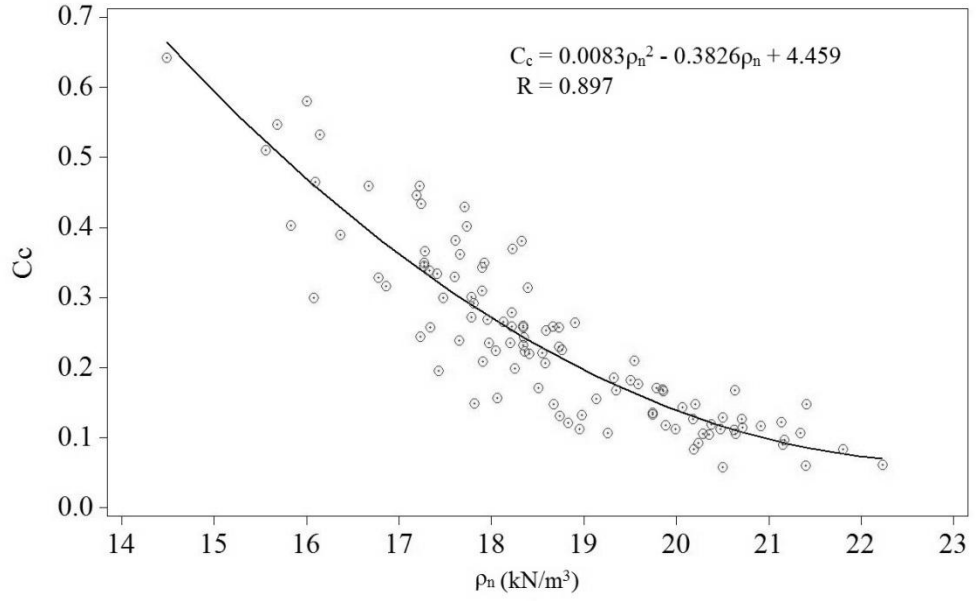
Tablo 5.4 Tek Değişkenli Aşırı Konsolide Numune Verilerine Ait Bağlıntılar

Tek Değişkenli Aşırı Konsolide Veri Bağlıntıları	
İlişki	R (Korelasyon Katsayısı)
$C_c = 0.0001w_n^2 + 0.0033w_n + 0.0305$	0.784
$C_c = 0.0083\rho_n^2 - 0.3826\rho_n + 4.459$	0.897
$C_c = 0.1329e_0^2 + 0.1314e_0 + 0.0129$	0.920

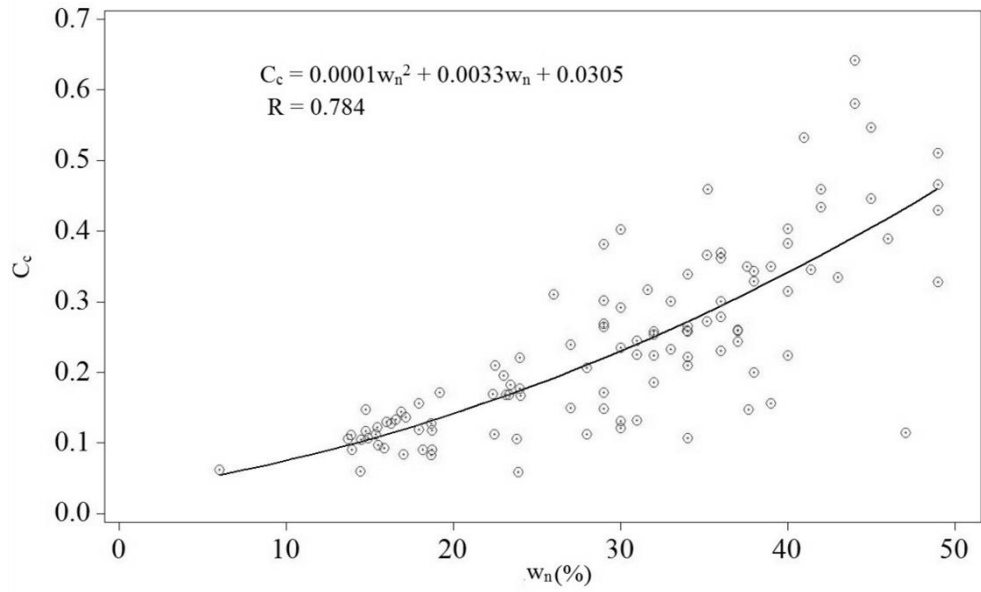
Bu denklemlere ait grafikler Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de gösterilmektedir. Aşırı konsolide veriler için incelenmiş olan ilişkiler arasında yer alan yüksek korelasyon katsayılı bağlantıların yanı sıra çok düşük korelasyon katsayılı bağlantılar veren parametreler de mevcuttur. Sıkışma indisi ve yeniden yükleme indisi ile diğer zemin parametreleri ile olan ilişkilerine ait grafikler bu çalışmada Ek-2’de yer almaktadır.



Şekil 5.10 Sıkışma İndisi – Boşluk Oranı Arasındaki Bağını



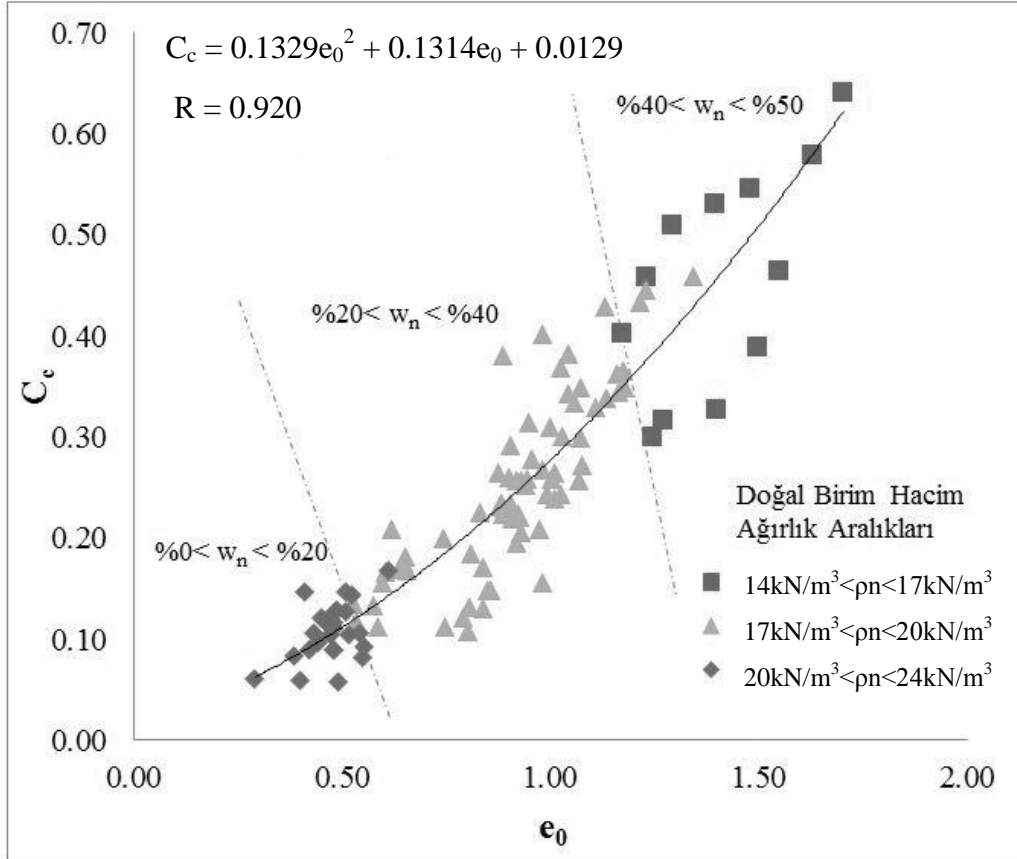
Şekil 5.11 Sıkışma İndisi – Doğal Birim Hacim Ağırlık Arasındaki Bağını



Şekil 5.12 Sıkışma İndisi – Su Muhtevası Arasındaki Bağını

Şekil 5.13’de sıkışma indisi ile boşluk oranı arasındaki bağıntıda doğal birim hacim ağırlıkların dağılımları gösterilmektedir. Ayrıca dördüncü etken olarak su muhtevasının hangi aralıklarda toplandığı da gösterilmektedir. Doğal birim hacim ağırlık aralıklarına göre denklemlere bakıldığında, $14\text{kN/m}^3 - 17\text{kN/m}^3$ değerleri arasında korelasyon katsayısı $R = 0.654$ olarak hesaplanmıştır. Bu aralıktaki su muhtevası değerleri %40 ile %50 arasında değişmektedir. $17\text{kN/m}^3 - 20\text{kN/m}^3$

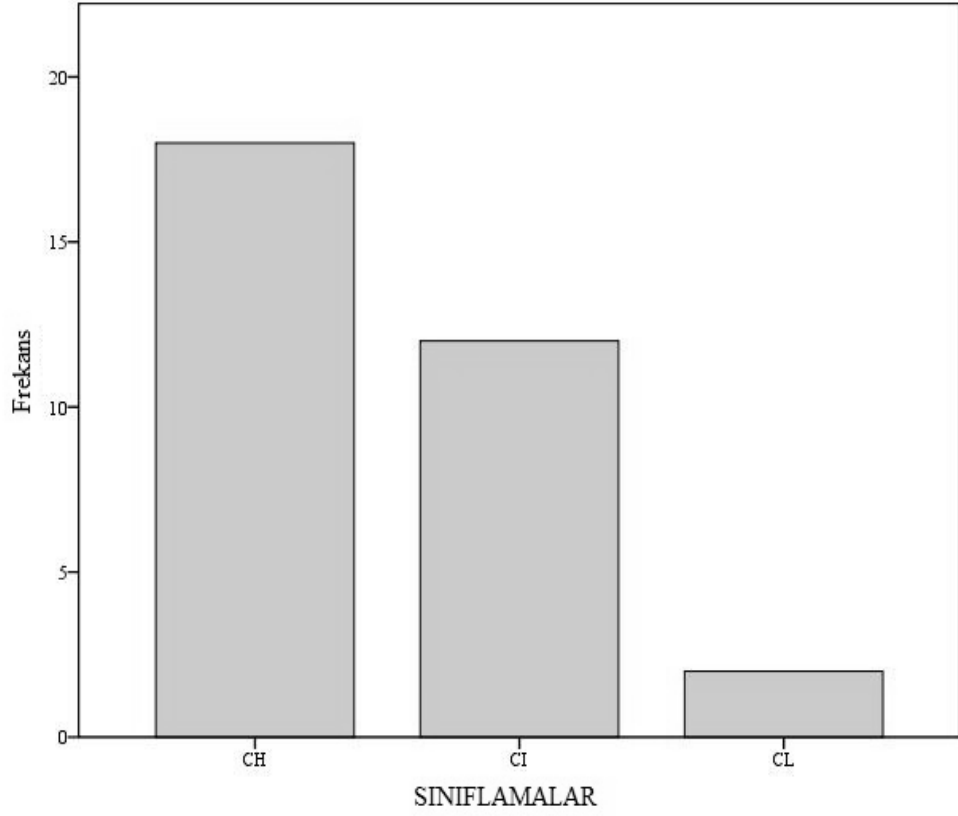
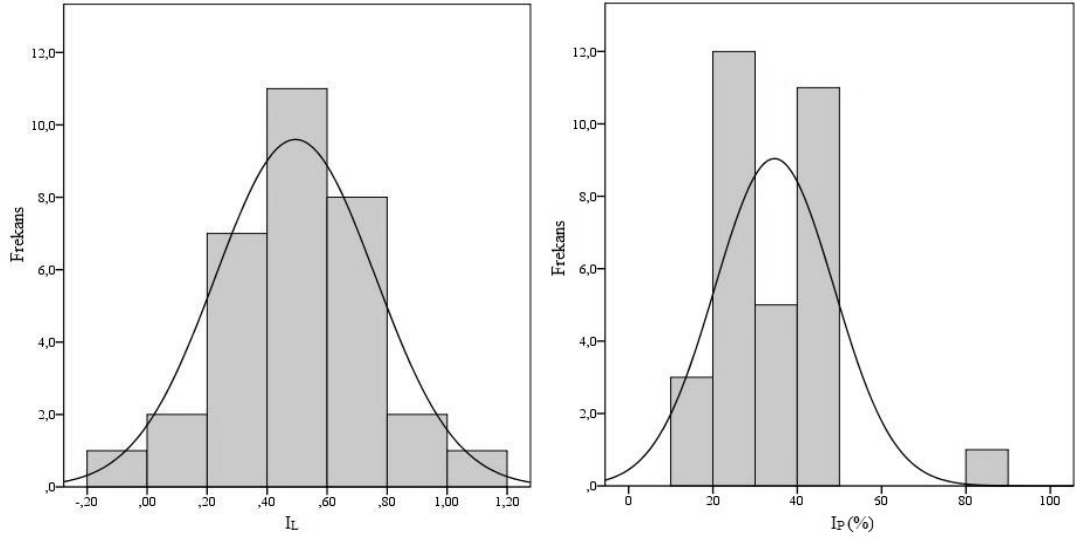
değerleri arasında korelasyon katsayısı $R = 0.824$ olarak hesaplanmıştır. Bu aralıktaki su muhtevası değerleri %20 ile %40 arasında değişmektedir. $14 \text{ kN/m}^3 - 17 \text{ kN/m}^3$ değerleri arasında korelasyon katsayısı $R = 0.477$ olarak hesaplanmıştır. Bu aralıktaki su muhtevası değerleri de %0 ile %20 arasında değişmektedir.



Şekil 5.13 Doğal Birim Hacim Ağırlık Verilerinin Özeti

5.3. Normal Yüklenmiş Numunelere Ait Değerlendirmeler

Normal yüklenmiş numunelere ait verilerin ortalama, standart sapma, minimum değer, maksimum değer ve toplam veri sayıları Tablo 5.5'te yer almaktadır. Tablo 5.6'da normal yüklenmiş numune verilerine ait bağıntılar ile korelasyon katsayıları gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 5.14'te normal dağılıma uygun olan I_L ve I_p histogramları ile zemin sınıfları yer almaktadır.



Şekil 5.14 Normal Yüklenmiş Numunelere Ait I_L , I_P ve Sınıflamaların Histogramları

Toplam 32 adet normal konsolide numune verisi bulunmaktadır. Tablo 5.4'te 32 adet numuneye ait zemin özelliklerinin hangi aralıkta yer aldığı, ortalamaları ve standart sapmaları yer almaktadır.

Tablo 5.5 Normal Konsolide Numunelere Ait Zemin Özellikleri

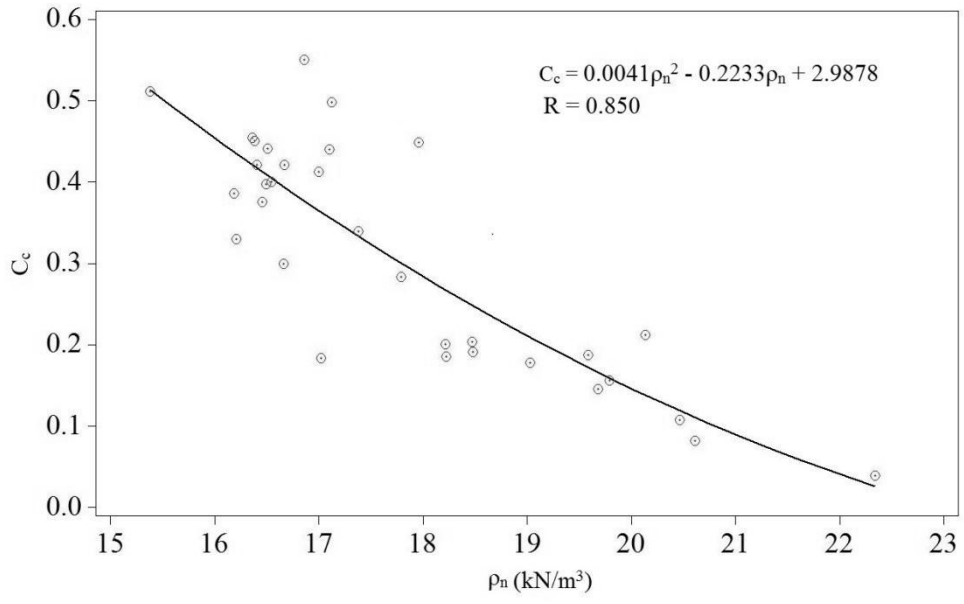
Zemin Özellikleri	Ortalama	Minimum Değer	Maksimum Değer	Standart Sapma	Veri Sayısı
Su Muhtevası	37.50	12.47	60.99	12.21	32
Likit Limit	55.31	32.00	109.12	16.52	32
Plastik Limit	20.72	12.62	30.00	4.82	32
Plastisite İndisi	34.59	16.75	86.43	13.67	32
Sıvılık İndisi	0.49	-0.10	1.05	0.26	32
Doğal Birim Hacim Ağırlık	17.80	15.38	22.34	1.62	32
Boşluk Oranı	1.16	0.32	1.90	0.40	32
Sıkışma İndisi	0.31	0.04	0.55	0.14	32
Yeniden Yükleme İndisi	0.06	0.01	0.13	0.03	32

Tablo 5.6’da görüldüğü üzere sıkışma indisi – doğal birim hacim ağırlık, sıkışma indisi – boşluk oranı ve sıkışma indisi – yeniden yükleme indisi verilerinin arasında yüksek sayılabilecek bir eğilim olduğu gözükmemektedir.

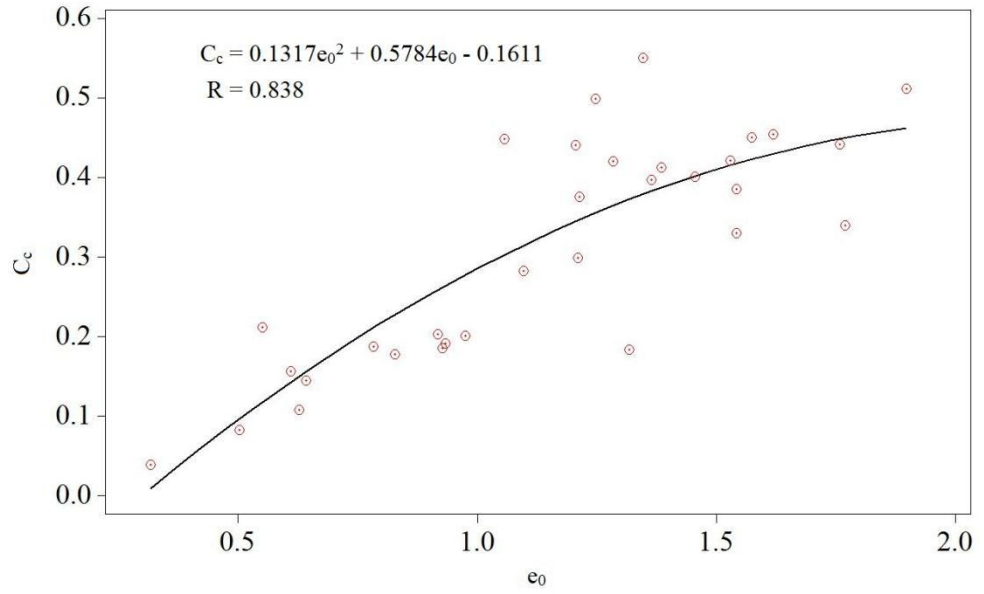
Tablo 5.6 Tek Değişkenli Normal Yüklenmiş Numune Verilerine Ait Bağlıntılar

Tek Değişkenli Normal Yüklenmiş Veri Bağlıntıları	
İlişki	R (Korelasyon Katsayısı)
$C_c = 0.000001w_n^2 + 0.0084w_n - 0.0195$	0.794
$C_c = 0.0041\rho_n^2 - 0.2233\rho_n + 2.9878$	0.850
$C_c = -0.1317e_0^2 + 0.5784e_0 - 0.1611$	0.838

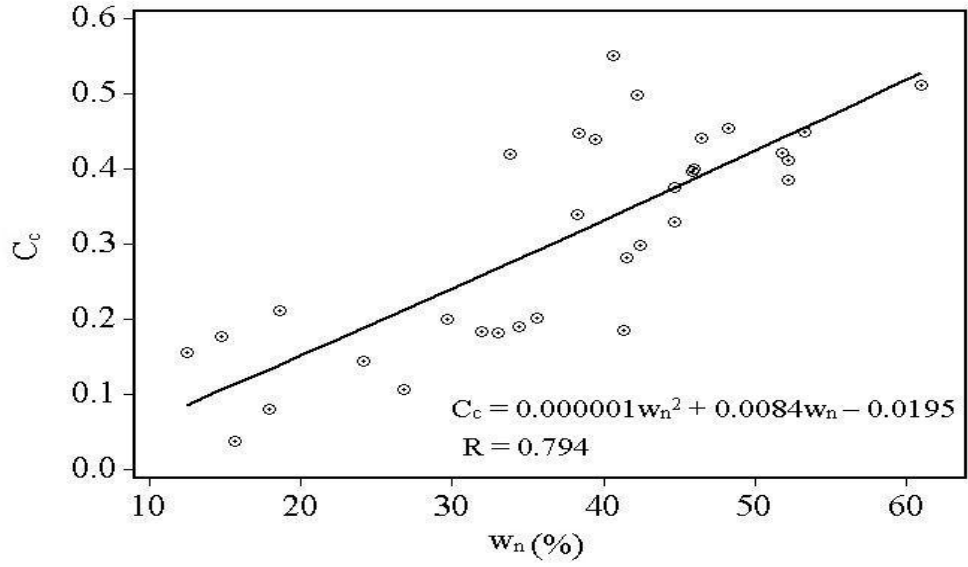
Bu denklemlere ait grafikler Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de gösterilmektedir. Normal konsolide veriler için incelenmiş olan ilişkiler arasında yer alan yüksek korelasyon katsayılı bağıntıların yanı sıra düşük korelasyon katsayılı bağıntılar veren parametrelerde mevcuttur. Sıkışma indisi ve yeniden yükleme indisi ile diğer zemin parametreleri ile olan ilişkilerine ait grafikler bu çalışmada Ek – 3’te yer almaktadır.



Şekil 5.15 Sıkışma İndisi – Doğal Birim Hacim Ağırlık Arasındaki Bağntı



Şekil 5.16 Sıkışma İndisi – Boşluk Oranı Arasındaki Bağntı



Şekil 5.17 Sıkışma İndisi – Su Muhtevası Arasındaki Bağntı

Tablo 5.7’de aşırı konsolide numunelere, normal yüklenmiş numunelere ve tüm numunelerin verilerine ait sıkışma indisi ile olan bağıntılarına ait korelasyon katsayıları karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.7 Aşırı Konsolide – Normal Yüklenmiş – Tüm Numunelere Ait Eğilimlerin Karşılaştırılması

Analiz Edilen Bağntı	Tek Değişkenli Aşırı Konsolide Numunelere Ait Değerlemeler	Karşılaştırma	Tek Değişkenli Normal Yüklenmiş Numunelere Ait Değerlemeler	Tek Değişkenli Tüm Verilere Ait Değerlemeler
	R (Korelasyon Katsayısı)		R (Korelasyon Katsayısı)	R (Korelasyon Katsayısı)
$C_c - w_n(\%)$	0.784	<	0.794	<u>0.796</u>
$C_c - w_L(\%)$	0.492	<	0.808	0.575
$C_c - w_p(\%)$	0.697	<	0.751	0.703
$C_c - I_p(\%)$	0.348	<	0.725	0.390
$C_c - I_L$	0.417	>	0.416	0.417
$C_c - \rho_n(\text{kN/m}^3)$	0.897	>	0.714	<u>0.891</u>
$C_c - e_0$	0.920	>	0.838	<u>0.886</u>
$C_c - \sigma_c$	0.455	--	--	0.455

Tablo 5.7’de yer alan karşılaştırmalara bakıldığı zaman bazı parametrelerin sıkışma indisi ile olan ilişkilerin de birleşim sonucunda korelasyon katsayısında düşüş yaşanırken bazılarında artış gözlenmiştir.

5.4. Çoklu Regresyon Analizleri

Regresyon analizleri sonuçlarında birbirleri ile aralarında olan eğilimlerin korelasyon kat sayıları 0.7 ile 1.00 ve -0.7 ile -1.00 arasında olan parametreler seçilerek tahmin yeteneğinin yükselmesini sağlamak için çoklu regresyon analizi yapılmıştır. Çoklu regresyon analizinde sıkışma indisi tahmin edilecek parametre, diğer seçilen parametreler ise bağımsız değişken olarak yer alacaktır. Sıkışma indisinin seçilmesinin sebebi, bir hafta veya on gün süren konsolidasyon deneyinin yapılmasına gerek duyulmamasına yöneliktir.

Aşırı konsolide, normal yüklenmiş ve tüm numunelere ait verilerin kullanacağı çoklu regresyon analizinde bu üç grubun karşılaştırması da yer almaktadır. Karşılaştırma, kullanılan parametreleri ve bu parametreler sonucu ortaya çıkacak çoklu regresyon katsayısını içermekte olup, su muhtevası, doğal birim hacim ağırlık ve boşluk oranından sıkışma indisi tahmin edilmiştir.

Aşırı konsolide numunelere ait sıkışma indisi ile arasındaki ilişki tek değişkenli olarak incelenmiş zemin özelliklerinden su muhtevası ($R = 0.784$), doğal birim hacim ağırlık ($R = 0.897$) ve boşluk oranı ($R = 0.920$) verileri kullanılarak sıkışma indisi ile bağıntısı incelenmiştir. Sonuç olarak;

$$C_c = 0.368e_0 - 0.002\rho_n + 0.001w_n - 0.133 \quad (1)$$

bağıntısı bulunmuştur. Çoklu regresyonun korelasyon katsayısı, $R = 0.913$ olarak bulunmuştur. Çoklu regresyon sonucu ortaya çıkan korelasyon katsayısının, sıkışma indisinin tahminini polinom regresyona göre daha iyi şekilde gerçekleştireceği görülmektedir.

Normal konsolide numunelere ait zemin özelliklerden su muhtevası ($R = 0.794$), doğal birim hacim ağırlık ($R = 0.850$) ve boşluk oranı ($R = 0.838$) verileri kullanılarak sıkışma indisi ile bağıntısı incelenmiştir. Sonuç olarak;

$$C_c = 0.054e_0 - 0.043\rho_n + 0.003w_n + 0.925 \quad (2)$$

bağıntısı bulunmuştur. 2 numaralı bağıntının korelasyon katsayısı, $R = 0.858$ bulunmuştur. Normal yüklenmiş numunelere ait verilerde de aşırı konsolide numunelere ait verilerde olduğu gibi çoklu korelasyon katsayısının, sıkışma indisinin tahminini polinom regresyona göre daha iyi şekilde gerçekleştireceği görülmektedir.

Tüm numunelere ait zemin özelliklerden su muhtevası ($R = 0.796$), doğal birim hacim ağırlık ($R = 0.891$) ve boşluk oranı ($R = 0.886$) verileri kullanılarak sıkışma indisi ile bağıntısı incelemiştir. Sonuç olarak;

$$C_c = 0.185e_0 - 0.0278\rho_n + 0.00101w_n + 0.563 \quad (3)$$

bağıntısı bulunmuştur. 3 numaralı bağıntının korelasyon katsayısı, $R = 0.908$ bulunmuştur. Normal yüklenmiş numunelere ait veriler ve aşırı konsolide numunelere ait verilerin birleşmesinden oluşan tüm verilerin çoklu regresyon sonucunda ortaya çıkan korelasyon katsayıları karşılaştırıldığında normal yüklenmiş numunelere ait çoklu regresyonlarda ortaya çıkan korelasyon katsayısından yüksek, aşırı konsolide numunelere ait çoklu regresyonlarda ortaya çıkan korelasyon katsayısından düşük olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak ortaya çıkan korelasyon katsayısı düşük bir seviyede kalmamaktadır. Bu seviyeyi daha da yükseltebilmek için tüm verilerden silt – kil ayrımı yapılarak sadece killi zeminler üzerinde çalışılmaya devam edilmiştir.

Tüm kil numunelerine ait zemin özelliklerden su muhtevası ($R = 0.830$), doğal birim hacim ağırlık ($R = 0.902$) ve boşluk oranı ($R = 0.901$) verileri kullanılarak sıkışma indisi ile bağıntısı incelemiştir. Sonuç olarak;

$$C_c = 0.113e_0 - 0.0348\rho_n + 0.00203 w_n + 0.735 \quad (4)$$

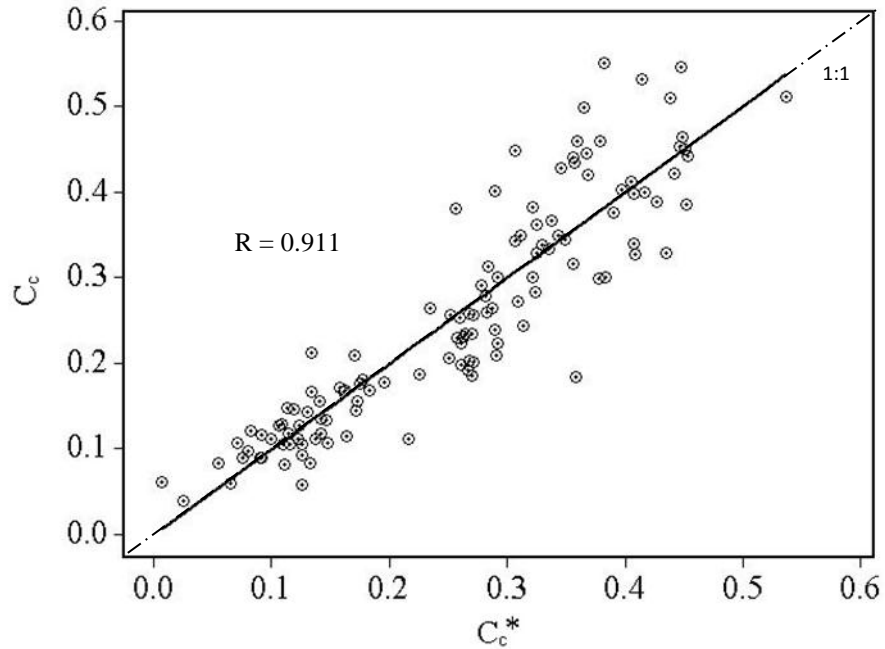
bağıntısı bulunmuştur. 4 numaralı bağıntının korelasyon katsayısı, $R = 0.911$ bulunmuştur. Silt numunelerinin ayırımı yapılmadan gerçekleştirilen çoklu regresyon analizindeki korelasyon katsayısı ile yalnız kil numunelerinin çoklu regresyonundaki korelasyon katsayısı arasındaki farkın ihmal edilecek kadar az olduğu ortaya çıkmıştır. Fakat numune sayılarının eşit olmamasından ötürü çalışmaya yalnız kil numune verileri ile devam edilmiştir. Ayrıca Ek – 4’te kil numunelerine ait verilerin fiziksel özellikleri ile sıkışma indisi ve yeniden yükleme indisi arasındaki bağıntılar yer almaktadır.

5.5. Parametre Tahmini

Fiziksel özelliklerden faydalanılarak sıkışma indisinin tahmini için çoklu regresyon analizleri sonucu tüm kil numunelerine ait “ $C_c = 0.113e_0 - 0.0348\rho_n + 0.00203w_n + 0.735$ ” bağıntısı $R = 0.911$ korelasyon katsayısı ile yüksek tahmin yeteneğinin olacağını açıklamaktadır. Bu bağıntı sonucu hesaplanan sıkışma indisi değerlerine tahmini C_c olarak adlandırarak mevcut deneysel çalışma sonucu ortaya çıkan sıkışma indisi ile karşılaştırılmakta olup Şekil 5.18’de yer almaktadır. Ayrıca tahmin edilen sıkışma indisi değerleri ile gerçek sıkışma indisi değerlerinin karşılaştırılması Tablo 5.8’de yer almaktadır.

Tablo 5.8 Laboratuvar Verisi (C_c) ve Tahmini Değerlerin (C_c^*) Karşılaştırılması

C_c	C_c^*	C_c	C_c^*	C_c	C_c^*	C_c	C_c^*	C_c	C_c^*	C_c	C_c^*
0.223	0.261	0.156	0.140	0.107	0.071	0.283	0.324	0.334	0.336	0.239	0.290
0.317	0.356	0.145	0.172	0.117	0.142	0.398	0.408	0.547	0.448	0.199	0.261
0.459	0.379	0.212	0.135	0.171	0.158	0.442	0.453	0.465	0.450	0.118	0.114
0.176	0.176	0.178	0.196	0.329	0.325	0.386	0.452	0.340	0.408	0.129	0.109
0.259	0.268	0.039	0.025	0.235	0.270	0.376	0.390	0.421	0.369	0.105	0.115
0.459	0.359	0.203	0.268	0.112	0.137	0.413	0.406	0.421	0.442	0.082	0.111
0.114	0.164	0.191	0.267	0.147	0.120	0.454	0.447	0.330	0.436	0.185	0.271
0.403	0.398	0.184	0.359	0.117	0.092	0.512	0.538	0.201	0.271	0.314	0.284
0.106	0.126	0.449	0.307	0.166	0.161	0.499	0.366	0.058	0.126	0.105	0.110
0.168	0.134	0.093	0.126	0.209	0.171	0.551	0.383	0.111	0.100	0.133	0.147
0.382	0.321	0.264	0.235	0.349	0.344	0.299	0.378	0.083	0.133	0.143	0.130
0.169	0.163	0.061	0.007	0.272	0.310	0.450	0.451	0.083	0.055	0.097	0.080
0.147	0.113	0.389	0.428	0.127	0.124	0.440	0.356	0.090	0.090	0.345	0.350
0.156	0.173	0.206	0.251	0.127	0.107	0.401	0.417	0.187	0.226	0.366	0.338
0.429	0.346	0.209	0.291	0.446	0.367	0.253	0.260	0.107	0.148	0.362	0.325
0.510	0.439	0.112	0.217	0.300	0.383	0.090	0.091	0.532	0.415	0.090	0.075
0.182	0.178	0.230	0.257	0.136	0.143	0.265	0.287	0.224	0.293	0.259	0.283
0.301	0.292	0.257	0.252	0.235	0.265	0.278	0.282	0.122	0.082	0.244	0.314
0.328	0.409	0.257	0.271	0.168	0.183	0.349	0.312	0.060	0.065	0.292	0.279
0.434	0.358	0.381	0.257	0.300	0.321	0.112	0.122	0.402	0.290	0.343	0.307
0.339	0.330	0.232	0.263								

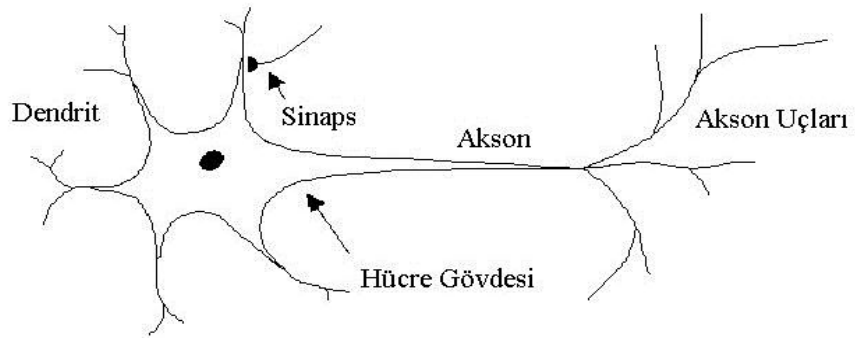


Şekil 5.18 Laboratuvardan Elde Edilen Sıkışma İndisi ile Tahmin Edilen Sıkışma

6. YAPAY SİNİR AĞLARI

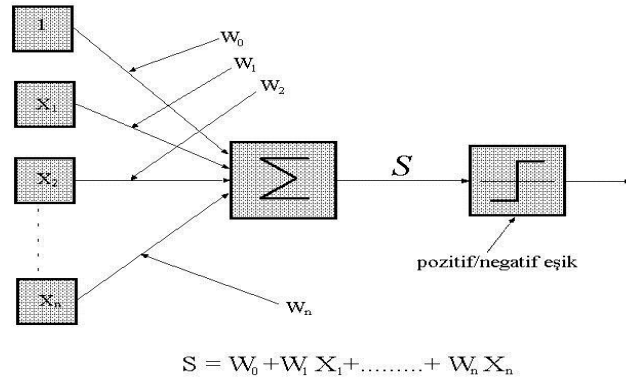
Yapay Sinir Ağı (YSA), insan beyninin bilgi işleme teknolojisinden esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir. YSA ile basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şekli benzeştirilir. Benzeştirilen sinir hücreleri nöronlar içerirler ve bu nöronlar çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler. Diğer bir ifadeyle, YSA'lar, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir. Bir insanın düşünme ve gözleme kabiliyetlerini kullanmasını gerektiren problemlere çözümler üretebilmesinin temel sebebi ise, beyinin yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir.

Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik bağlantıların ayarlanması ile olur. Yani, insan doğumundan itibaren yaşayarak öğrenme süreci içerisine girer. Bu süreç içinde beyin sürekli bir gelişme göstermektedir. Yaşayıp tecrübe ettikçe sinaptik bağlantılar ayarlanır ve hatta yeni bağlantılar oluşur. Bu sayede öğrenme gerçekleşir. Bu durum benzeştirme için de geçerlidir. Öğrenme, eğitime yoluyla, örnekler kullanarak olur; başka bir deyişle, gerçekleşme girdi/çıkı verilerinin işlenmesiyle, yani eğitime algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantı ağırlıklarının bir yakınsama sağlanana kadar, tekrar tekrar ayarlanmasıyla olur (Çetin, 2012).



Şekil 6.1 Tipik Bir Biyolojik Nöron

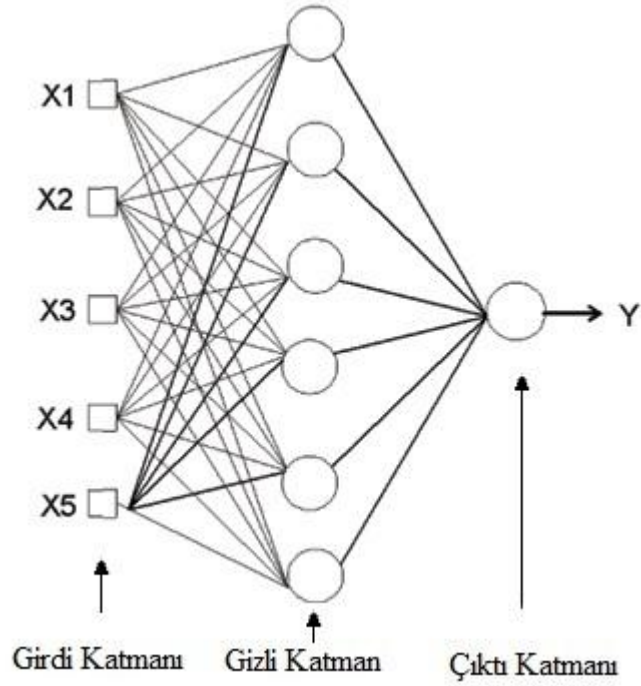
YSA'lar, ağırlıklandırılmış şekilde birbirlerine bağlanmış birçok işlem biriminden (nöronlar) oluşan matematiksel sistemlerdir. Bir işlem birimi, aslında sık sık transfer fonksiyonu olarak anılan bir denklemdir. Bu işlem birimi, diğer nöronlardan sinyalleri alır; bunları birleştirir, dönüştürür ve sayısal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



Şekil 6.2 Biyolojik Nöronun Matematiksel Modeli

Sinirsel hesaplamanın merkezinde dağıtılmış, adaptif ve doğrusal olmayan işlem kavramları vardır. YSA'lar, geleneksel işlemcilerden farklı şekilde işlem yapmaktadırlar. Geleneksel işlemcilerde, tek bir merkezi işlem birimi her hareketi sırasıyla gerçekleştirir. YSA'lar ise her biri büyük bir problemin bir parçasıyla ilgilenen, çok sayıda basit işlem birimlerinden oluşmaktadır. En basit şekilde, bir işlem birimi, bir girdiyi bir ağırlık kümesi ile ağırlıklandırır, doğrusal olmayan bir şekilde dönüşümünü sağlar ve bir çıktı değeri oluşturur. İlk bakışta, işlem birimlerinin çalışma şekli yanıltıcı şekilde basittir. Sinirsel hesaplamanın gücü, toplam işlem yükünü paylaşan işlem birimlerinin birbirleri arasındaki yoğun bağlantı yapısından gelmektedir. Bu sistemlerde geri yayılım metoduyla daha sağlıklı öğrenme sağlanmaktadır.

Çoğu YSA'da, benzer karakteristiğe sahip nöronlar tabakalar halinde yapılandırılır ve transfer fonksiyonları eş zamanlı olarak çalıştırılırlar. Hemen hemen tüm ağlar, veri alan nöronlara ve çıktı üreten nöronlara sahiptirler.



Şekil 6.3 Basit Tek Katmanlı YSA Modeli

YSA'nın ana ögesi olan matematiksel fonksiyon, ağıın mimarisi tarafından şekillendirilir. Daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse, fonksiyonun temel yapısını, ağırlıkların büyüklüğü ve işlem elemanlarının işlem şekli belirler. YSA'ların davranışları, yani girdi veriyi çıktı veriye nasıl ilişkilendirdikleri, ilk olarak nöronların transfer fonksiyonlarından, nasıl birbirlerine bağlandıklarından ve bu bağlantıların ağırlıklarından etkilenir. Burada amaç, her numune için belirlenmiş olan zeminin temel özelliklerinden daha iyi bir matematiksel model belirleyerek sıkıştırma indisinin tayini için YSA modeli oluşturmaktır.

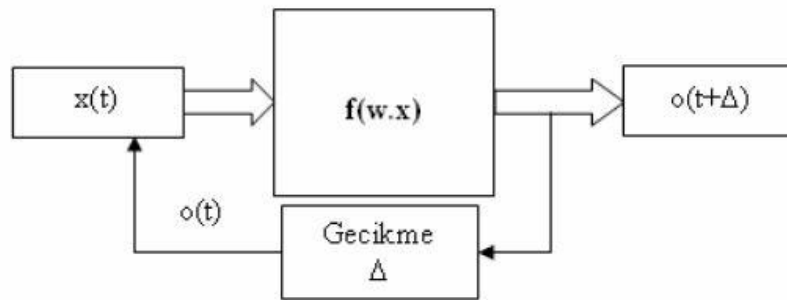
1990'lı yıllardan bugüne gelinceye kadar birçok öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Öğrenme algoritmaları temelde, eğiticiyiz öğrenme, takviyeli öğrenme ve eğiticiyiz öğrenme algoritmaları şeklinde üç grupta toplanmaktadır. Eğiticiyiz (unsupervised) öğrenmede, eğiticiyiz öğrenmedekine karşın arzu edilen çıkışlar bilinmemektedir. Bu yüzden kesin bir hata bilgisini, ağıın davranışını değiştirmekte kullanmak mümkün değildir. Cevabın doğruluğu veya yanlışlığı hakkında bilgi sahibi olunmadığı için öğrenme, girdilerin verdiği cevaplar gözlenerek gerçekleşir. Aslında eğiticiyiz öğrenme demek doğru değildir, çünkü

eğiticiyiz öğrenme gerçekte mümkün değildir. Eğiticinin her öğrenme adımında dahil olmamasına rağmen, amaçları ayarlamaktadır.

Takviyeli (reinforcement) öğrenmede, ağıın davranışının uygun olup olmadığını belirten bir öz yetenek bilgisine ihtiyaç duyulur. Bu bilgiye göre ağırlıklar ayarlanır. Gerçek zamanda öğrenme yöntemi olup deneme – yanılma esasına göre sinir ağı eğitilmektedir.

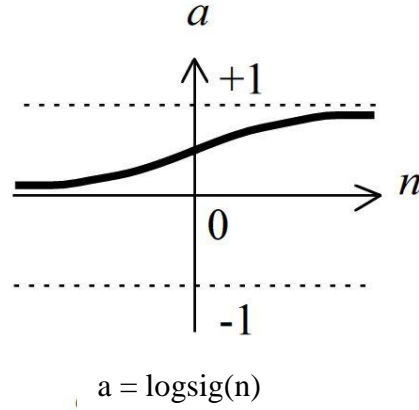
Eğiticiyi (supervised) öğrenmede ise, her bir örnekleme zamanında giriş uygulandığında sistemin arzu edilen cevabı eğitici tarafından sağlanır. Arzu edilen çıkış ile sinir ağı çıkışı arasındaki fark, hata ölçüsüdür ve ağı parametrelerini güncellemekte kullanılır. Ağırlıkların güncellenmesi süresince eğitici ödüllendirme – cezalandırma şemasını ağı uygulayarak hatayı azaltır. Bu öğrenme modelinde giriş ve çıkış örnekleri kümesi eğitim kümesi olarak adlandırılır.

Geriye Yayılım (Back Propagation) algoritması, eğiticiyi öğrenmede kullanılan en genel algoritmadır. Basit olması ve iyi bir öğrenme kapasitesine sahip olması birçok alana uygulanmasını sağlamıştır. Bu özelliği sayesinde farklı türdeki eğiticiyi öğrenme algoritmalarına göre daha az bellek elemanına ihtiyaç duymaktadır. Öte yandan standart geriye yayılım algoritması sonuca yavaş ulaşmakta ve lokal minimuma yakalanma riski taşımaktadır. Bu yüzden sonuca hızlı bir şekilde ulaşabilen ama hatanın geriye yayılarak ağırlıkların güncellendiği algoritmalara gereksinim vardır. Araştırmada, geoteknik problemlerde yaygın kullanılan yapay sinir ağı tiplerinden geri beslemeli model (back propagation) seçilmiştir.



Şekil 6.4 Geri Beslemeli Model Yapısı

Geri beslemeli öğrenmede girdi görüntüsü olarak süreklilik gösteren Sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon, hassas değerlendirmelerin kullanılacağı problemler için en uygun olan fonksiyonu temsil etmektedir. Sigmoid, doğrusal olmayan logaritmik bir fonksiyondur. Giriş değerleri hangi aralıkta olursa olsun, çıkış 0 ile 1 arasında olmaktadır. Türevlenebilir olduğu için geriye yayılım algoritmaları ile kullanılmıştır (Bulucu, 2007).



Şekil 6.5 Sigmoid Transfer Fonksiyonu

Geri beslemeli öğrenmede; sürekli girdi tipi kullanılmakta, aktivasyon için ise türevi alınabilecek bir fonksiyonu işleme sokmaktadır (Fausett, 1994). Geri besleme algoritmasında kullanılan sigmoid fonksiyonu ve bu fonksiyonun türevi;

$$f_{sigmoid}(x) = (2/(1 + \exp(-x))) - 1 \quad (4)$$

$$f'_{sigmoid}(x) = 1/2 * |1 + f_{sigmoid}(x)| * |1 - f_{sigmoid}(x)| \quad (5)$$

Burada türevi alınan bir fonksiyon kullanılması geri beslemeli bir YSA için önem taşımaktadır. Çünkü türev bir eğri üzerinde değişim olarak tarif edilmektedir. Diğer bir deyişle, hatanın minimize edilmesi demek, hatanın türevinin 0 olması anlamına gelmektedir. Bu nedenle geri besleme, hatanın türevini 'w_i' ağırlıkları üzerinde öğrenmekte ve bu sayede hatalar her bir iterasyon sonunda sifıra doğru yaklaşmaktadır (Lipmann, 1989).

Levenberg – Marquardt (LM) algoritması Newton metoduna bir yaklaşımdır. LM algoritması, Newton metodunun hızıyla, adım düşme metodunun sağlamlığının bileşkesidir (Lourakis, 2005). Bu çalışmada oluşturulan ağ yapısını eğitmek için LM algoritması kullanılmıştır. Son yıllarda kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Levenberg – Marquardt algoritması için ağırlıklar aşağıdaki eşitlik kullanılarak güncelleştirilir.

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \Delta W_{ij}(t) \quad (6)$$

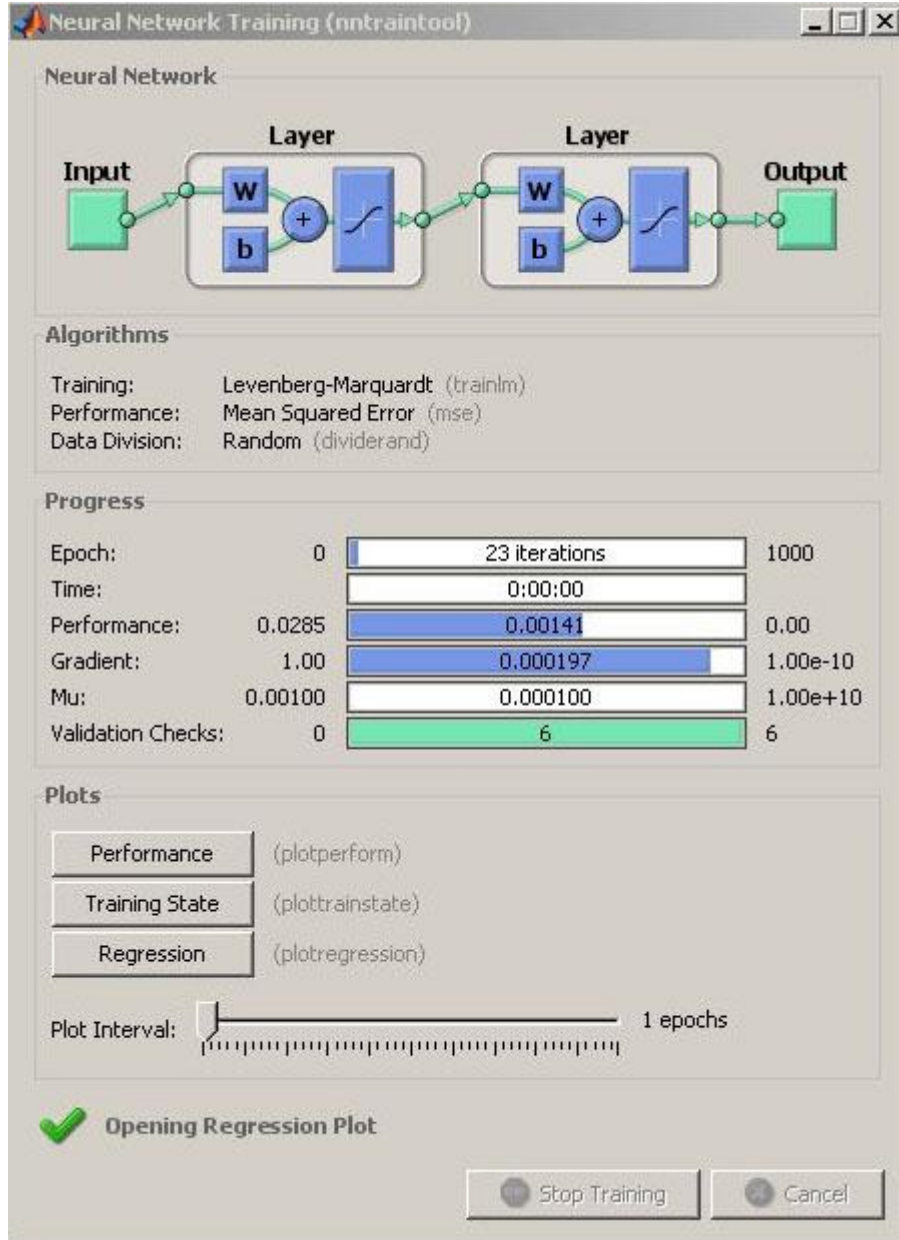
$$\Delta W_{ij} = [J^T(w)J(w) + \mu I]^{-1}J^T(w)E(w) \quad (7)$$

Burada W_{ij} ağırlıkları, J Jakobiyen matrisi, μ bir sabit, I birim matris ve $E(w)$ hata fonksiyonudur. Jakobiyen matrisi ağda yer alan ağırlık ve biaslara ait hataların ilk türevlerini içerir ve standart geri yayılım algoritması kullanılarak hesaplanabilir. Her başarılı adımda μ değeri azalırken hataların karelerinin toplamının arttığı adımlarda μ değeri artırılır. Bu metotta μ parametresi hesaplama süresince otomatik olarak güncellenmekte ve böylece yavaş yakınsama probleminden etkilenmediği için hızlı bir yaklaşım elde edilmektedir. Yaklaşım oranı hızlanması ile eğitim kısa sürmektedir. Ancak fazla işlem yapmayı ve sonucunda çok fazla hafıza kullanmayı gerektirmektedir.

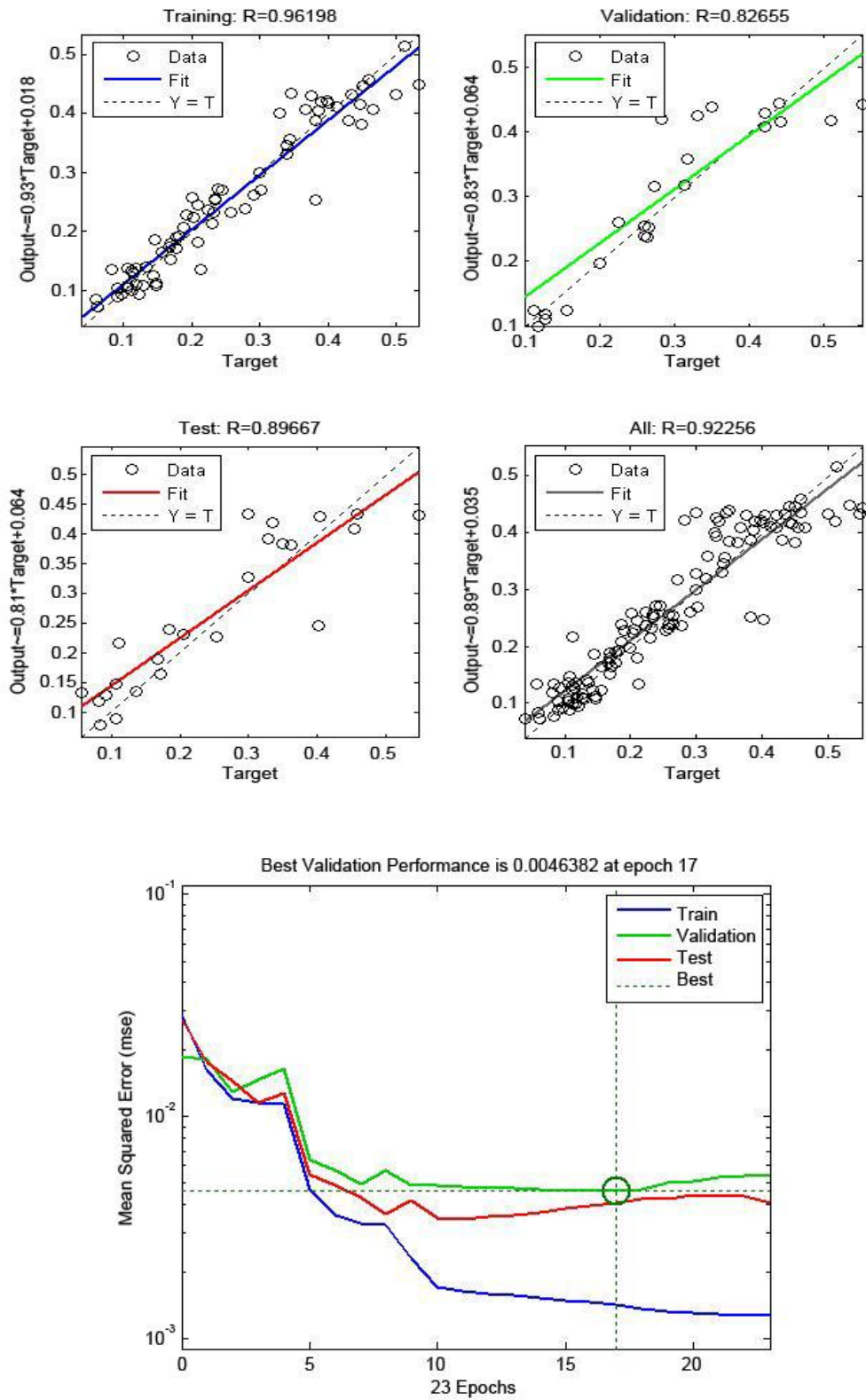
Bu çalışmada parametre tahmin eden eşitliklerin performanslarının değerlendirilmesi için yaygın olarak “hata kareleri karekökünün ortalaması” (root mean square error – RMSE) kullanılmıştır. RMSE tahmin edilen parametre ve gerçek parametre değerlerinin farklarının karelerinin kareköklerinin ortalamasını ifade etmektedir. Bu değer ele alınan bir eşitliğin ne kadarlık bir hatayla tahmin edildiğini yansıtmakta olup, değeri küçük olan bir eşitlik için performans yüksek, değeri büyük olan bir eşitliğin ise tahmin performansının düşük olduğunu söylemek mümkündür.

6.1. YSA İle Önerilen Model

YSA ile yapılacak olan çalışmanın en iyi tahmine ulaşabilmesi için problemin karakteristiğini yakalayabilecek kadar veriye sahip olması gereklidir. Bu sebeple tüm kil numune verileri değerlendirilecektir. Kil numunelerine ait verilerinden her birinden 123 adet olmak üzere doğal birim hacim ağırlık verisi, su muhtevası verisi, boşluk oranı verisi kullanılarak sıkışma indisi tahmin edilecektir. Matlab Neural Network Toolbox 7 kullanılarak yapılacak benzeşimler sırasında hangi zemin özelliklerinin benzeştirmede etkin rol oynadığına bakılarak denemeler yapılmış ve girdiler bu doğrultuda şekillendirilmiştir. İki adet logsigmoid fonksiyonlu katman ve 8 nöron yapısıyla şekillendirilmiş ağ yapısına girdi olarak su muhtevası, doğal birim hacim ağırlık ve boşluk oranı, çıktı olarak ise sıkışma indisi seçilmiştir. Ağ yapısına ait Şekil 6.6'da YSA modeli çıktı ekranı yer almakta olup YSA sonuçları Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



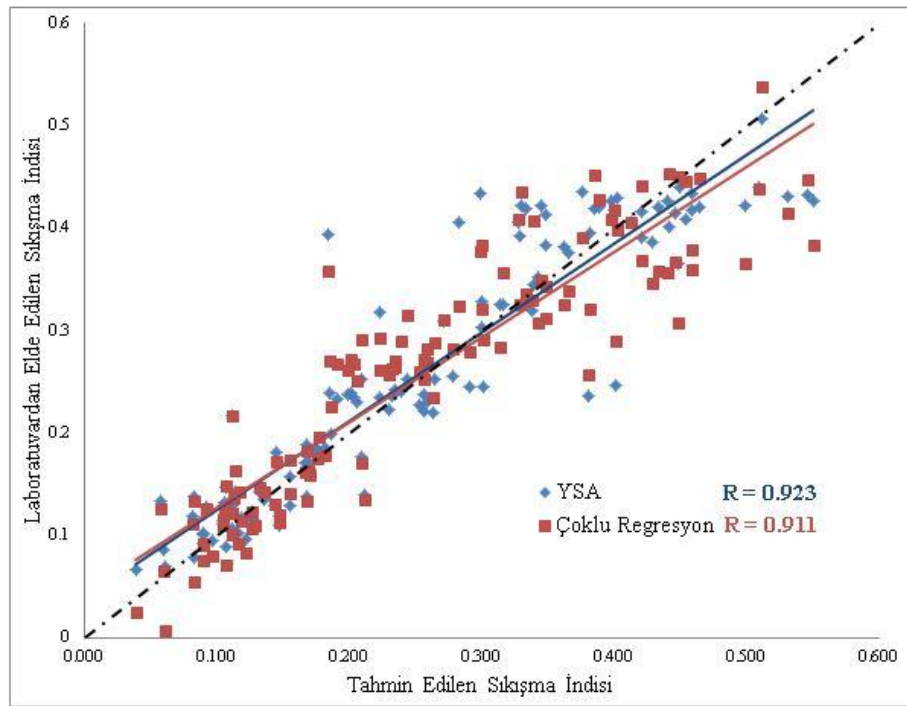
Şekil 6.6 YSA Modeli Çıktı Ekranı



Şekil 6.7 YSA Modeli Benzeştirme Sonuçları

6.2. İstatistik ve YSA Modellerinin Karşılaştırılması

YSA ile yapılan benzeşimler sonucunda çoklu regresyondan çıkan bağıntılar ile karşılaştırıldığında YSA modeli ile daha yüksek korelasyon katsayılarına ulaşıldığı gözlenmiştir. Şekil 6.8’de tüm kil numune verilerinden elde edilmiş çoklu regresyon katsayısı $R = 0.911$ iken YSA modelinin benzeşiminden $R = 0.923$ korelasyon katsayısı bulunmuştur. Ayrıca YSA tahmininin 1:1 eğrisine yakınlığı daha iyi tahmin yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.8 Çoklu Regresyon Tahmini ile YSA Modeli Tahminlerinin Karşılaştırılması

Tablo 6.1 Laboratuvar Verisi (C_c) ve Tahmini Değerlerin (C_c^* - C_c^{**}) Karşılaştırılması

C_c	C_c^*	C_c^{**}	C_c	C_c^*	C_c^{**}	C_c	C_c^*	C_c^{**}
0.223	0.235	0.261	0.083	0.138	0.133	0.454	0.408	0.447
0.317	0.325	0.356	0.083	0.078	0.055	0.512	0.507	0.538
0.459	0.433	0.379	0.090	0.101	0.090	0.499	0.422	0.366
0.176	0.184	0.176	0.187	0.199	0.226	0.551	0.426	0.383
0.259	0.231	0.268	0.107	0.147	0.148	0.299	0.434	0.378
0.459	0.417	0.359	0.201	0.239	0.271	0.450	0.440	0.451
0.114	0.143	0.164	0.156	0.130	0.140	0.440	0.426	0.356
0.403	0.429	0.398	0.145	0.181	0.172	0.401	0.418	0.417
0.106	0.132	0.126	0.212	0.139	0.135	0.253	0.227	0.260
0.168	0.138	0.134	0.178	0.182	0.196	0.090	0.102	0.091
0.382	0.395	0.321	0.039	0.066	0.025	0.265	0.253	0.287
0.169	0.172	0.163	0.203	0.235	0.268	0.278	0.255	0.282
0.147	0.110	0.113	0.191	0.233	0.267	0.349	0.384	0.312
0.156	0.158	0.173	0.184	0.394	0.359	0.112	0.129	0.122
0.429	0.386	0.346	0.449	0.366	0.307	0.343	0.353	0.307
0.510	0.440	0.439	0.093	0.128	0.126	0.244	0.252	0.314
0.182	0.185	0.178	0.264	0.220	0.235	0.292	0.244	0.279
0.301	0.245	0.292	0.061	0.069	0.007	0.105	0.110	0.110
0.328	0.406	0.409	0.389	0.420	0.428	0.133	0.142	0.147
0.434	0.421	0.358	0.206	0.230	0.251	0.143	0.129	0.130
0.339	0.319	0.330	0.209	0.252	0.291	0.097	0.095	0.080
0.532	0.431	0.415	0.112	0.217	0.217	0.345	0.423	0.350
0.224	0.318	0.293	0.230	0.222	0.257	0.366	0.376	0.338
0.334	0.419	0.336	0.257	0.221	0.252	0.362	0.382	0.325
0.547	0.432	0.448	0.257	0.237	0.271	0.314	0.325	0.284
0.465	0.420	0.450	0.381	0.236	0.257	0.107	0.089	0.071
0.340	0.345	0.408	0.232	0.235	0.263	0.117	0.141	0.142
0.421	0.390	0.369	0.090	0.092	0.075	0.398	0.426	0.408
0.421	0.416	0.442	0.082	0.118	0.111	0.442	0.401	0.453
0.330	0.422	0.436	0.185	0.239	0.271	0.386	0.420	0.452
0.283	0.405	0.324	0.413	0.406	0.406	0.166	0.170	0.161
0.272	0.309	0.310	0.058	0.133	0.126	0.209	0.177	0.171
0.127	0.123	0.124	0.111	0.106	0.100	0.349	0.413	0.344
0.127	0.115	0.107	0.171	0.164	0.158	0.259	0.264	0.283
0.446	0.415	0.367	0.329	0.392	0.325	0.239	0.241	0.290
0.300	0.304	0.383	0.235	0.242	0.270	0.199	0.237	0.261
0.136	0.135	0.143	0.112	0.136	0.137	0.118	0.118	0.114
0.235	0.239	0.265	0.147	0.118	0.120	0.129	0.114	0.109
0.168	0.189	0.183	0.117	0.102	0.092	0.105	0.115	0.115
0.122	0.096	0.082	0.300	0.328	0.321	0.376	0.435	0.390
0.060	0.086	0.065	0.402	0.247	0.290			

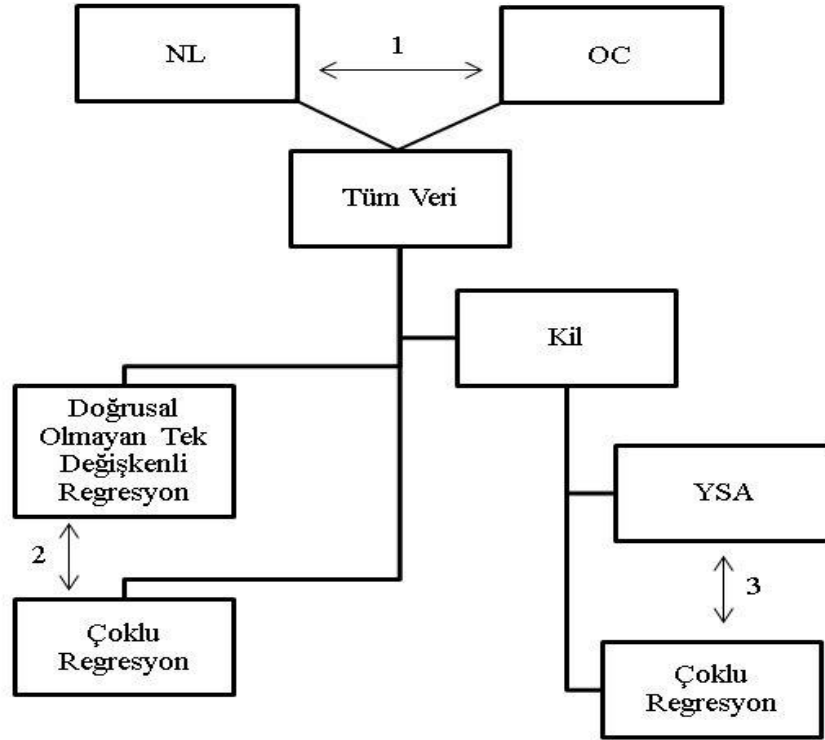
C_c^* : YSA'dan Tahmin Edilen Sıkışma İndisi

C_c^{**} : Çoklu Regresyon Analizinden Tahmin Edilen Sıkışma İndisi

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ince daneli zeminler için fiziksel özelliklerden sıkışma indisinin tahmin edilmesi araştırılmıştır. Gerçekleştirilen çoklu regresyon analizleri sonucunda su muhtevası, doğal birim hacim ağırlık ve boşluk oranı parametrelerinden sıkışma indisi tahmin edilmiş ve konsolidasyon deneylerinden elde edilen sıkışma indisi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Tüm killer için kabul görecektir şekilde gerçekleştirilen çalışma sonucunda “ $C_c = 0.113e_0 - 0.0348\rho_n + 0.00203 w_n + 0.735$ ” bağıntısı ($R = 0.911$) bulunmuştur. Azzouz 1976 yılında tüm killer için yaptığı çalışmada su muhtevası ve boşluk oranı parametreleri ile sıkışma indisi arasında “ $C_c = 0.40e_0 + 0.0004 w_n - 0.10$ ” bağıntısını ($R = 0.850$) bulmuştur.

Şekil 7.1’de sıkışma indisinin su muhtevası, boşluk oranı ve doğal birim hacim ağırlık parametrelerinden tahminlerinin karşılaştırılmasının akış şeması yer almaktadır.



Şekil 7.1 Karşılaştırma Akış Şeması

1 numaralı ilişkilerin değerlendirilmesinde normal konsolide numunelerin fiziksel özellikleri ile sıkışma indisi arasındaki tek değişkenli polinom bağıntılarının korelasyon katsayıları aşırı konsolide numunelere göre daha yüksek çıkmıştır.

Normal yüklenmiş numunelere ait verilerin fiziksel özelliklerinin sıkışma indisi ile olan bağıntılarının aşırı konsolide numunelere ait bağıntılardan yüksek çıkması, arazideki doğal ortamında yüksek gerilmeler ile karşılaşmamış olmasından kaynaklanmaktadır.

2 numaralı ilişkide, üç ana başlıkta değerlendirilmiş tüm veriler, aşırı konsolide numuneler ve normal yüklenmiş numunelere ait verilerin tek değişkenli regresyon analizleri ile çoklu regresyon analizleri karşılaştırılmıştır. Aşırı konsolide numunelerde en yüksek korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Tüm veriler için yapılan değerlendirmede ise normal yüklenmiş numunelerin analizinden yüksek korelasyon katsayısı bulunmuştur.

3 numaralı ilişkide değinilmek istenen konu zemin mekanik özelliklerinden sıkışma indisinin tek değişkenli regresyon ve çoklu regresyon analizleri (geleneksel yöntemler) yerine YSA modelleri ile tahminin daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Genelden özele geçme amacı güdülerek sadece Kil (C) numuneleri seçilerek yapılmış olan değerlendirmeler sonucunda YSA ($R=0.923$) tahminlerinin çoklu regresyon tahminlerinden ($R=0.911$) yüksek çıktığı bulunmuştur.

Yapılan değerlendirmeler neticesinde sıkışma indisinin fiziksel özelliklerinden tahmin edilmesi için tek bir parametreye (tek değişkenli doğrusal – doğrusal olmayan regresyon) bağımlı olmak yerine birkaç parametre (çoklu regresyon) ile sonuca ulaşmanın korelasyon katsayısını yükselttiği yani sıkışma indisinin tahmin sonuçlarının deneylerden elde edilen verilere benzerliğini arttırdığını göstermektedir. Ayrıca YSA ile gerçekleştirilen benzeştirme sonuçları geleneksel yöntemlere göre daha yakın değerler vermektedir.

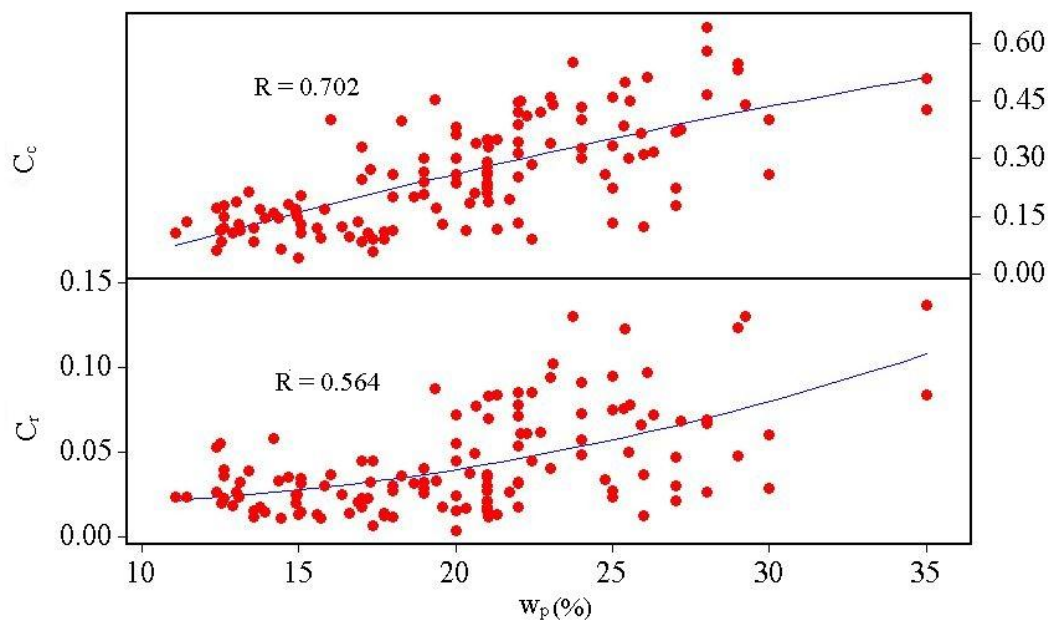
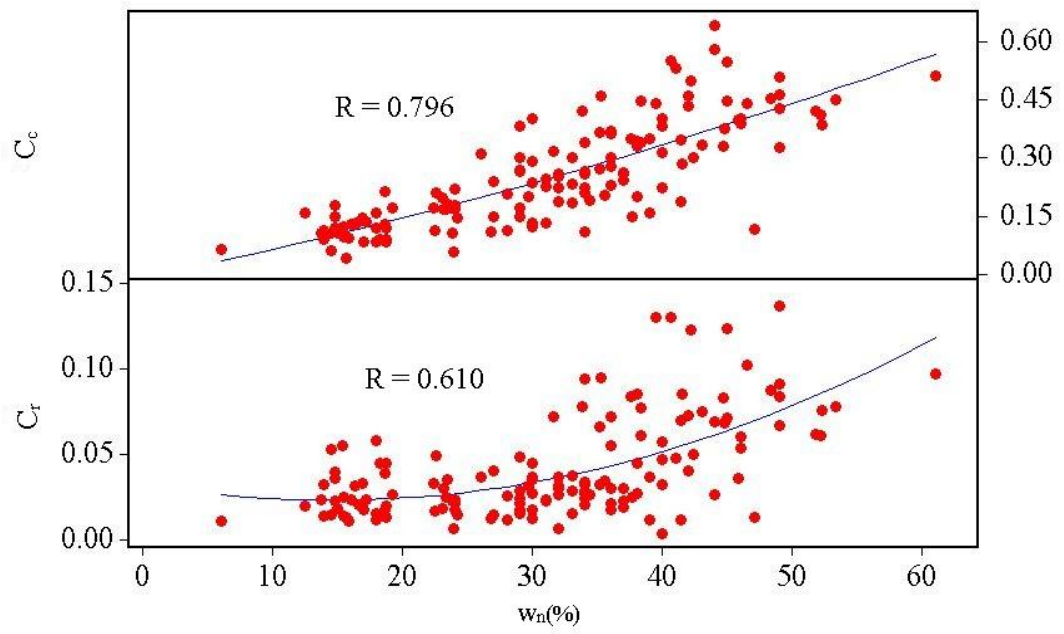
8. KAYNAKLAR

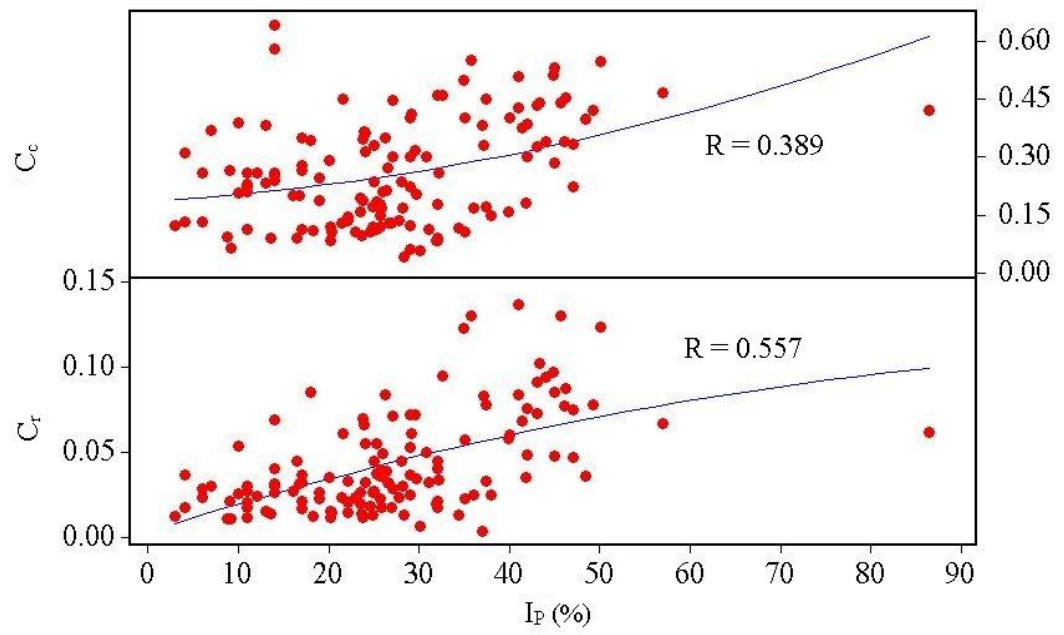
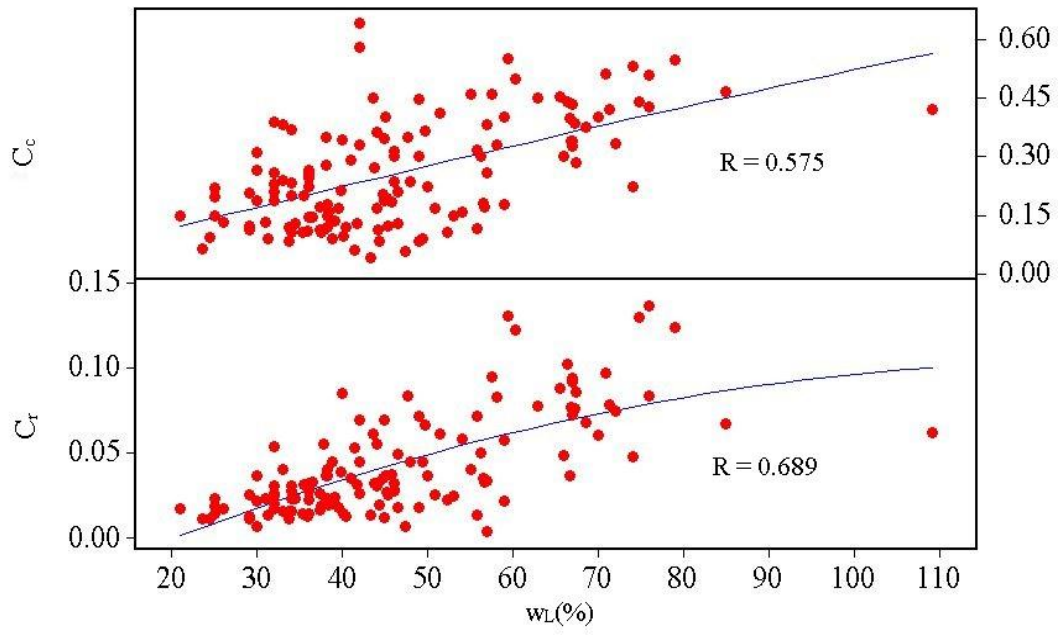
- Arel, E., Önalp, A. ve Sert, S.**, 2010 Normal Yüklenmiş Zeminlerde Sıkışma İndisinin Yapay Sinir Ağları Kullanımıyla Fiziksel Özelliklerden Tahmini, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On Üçüncü Ulusal Kongresi, 327 – 336, İstanbul Kültür Üniversitesi
- A.S. Azzouz, R. J. Krizek, and R. B. Corotis**, 1976 “Regression Analysis Of Soil Compressibility”, Soils and Foundations, 16(2), pp.19 – 29
- Bowles, J.E.**, 1989 "Physical and Geotechnical Properties of Soils" McGraw-Hill Book Company Inc., New York.
- Bulucu, U., Kavas, A.**, 2007 Kablosuz Ağ Kapsaması İçin YSA(Yapay Sinir Ağ) Modeli Kullanılarak Propagasyon Kayıplarının Hesaplanması, 3. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu, s:239 –244, ISBN:978-9944-89-367-1, Çukurova Üniversitesi, Balcalı, Adana.
- Carrier, W.D., III.** 1985 Consolidation parameters derived from in-dex tests" Geotechnique, 35(2): 211 – 213.
- Cozzolino, V.M.**, 1961 "Statistical forecasting of compression in-dex" In Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, Vol. 1, pp. 5153.
- Çetin E.**, 2012 Yapay Zeka Uygulamaları, Yapay Sinir Ağları – Bulanık Mantık–Genetik Algoritma, Ankara: Seçkin Yayınevi ISBN 978-9750-21-696-1
- Dipova, N., Cangir.**, 2010 Lagün Kökenli Kil-Silt Zeminde Sıkışabilirlik Özelliklerinin Regresyon ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleri ile Belirlenmesi İMO Teknik Dergi, 5069 – 5086, Yazı 332
- Gündüz, Z. and Önalp, A.**, 1996 “The Relationship Among The Compression Indices And Physical Properties of Clays”, in Sixth Turkish Congress on Soil Mechanics and Foundation Engineering, ed. Turkish Committee of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Izmir, Turkey: 9 Eylül Universities,
- Herrero, O.R.**, 1983 Universal compression index equation; clo-sure. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 109(5): 755761.
- Hough, B.K.** 1957 "Basic soils engineering" İst ed. The Ronald Press Company, New York
- Khafahi, A.W.N. and Andersland, O. B.**, 1992 “Equations for Compression Index Approximation”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 118 , pp. 148 – 155.
- Koppula, S.D.** 1981 Statistical estimation of compression index. Geotechnical Testing Journal, 4(2): 68 – 73.
- Lav, M.A., Ansal, A.M.**, 2001 Regression Analysis Of Soil Compressibility Turk J Engin Environ Sci, 25: 101 – 109
- Mark H.B., Martin T.H., Howard B.D.**, 2010 Neurol Network Toolbox™ 7, MATLAB, Mathworks

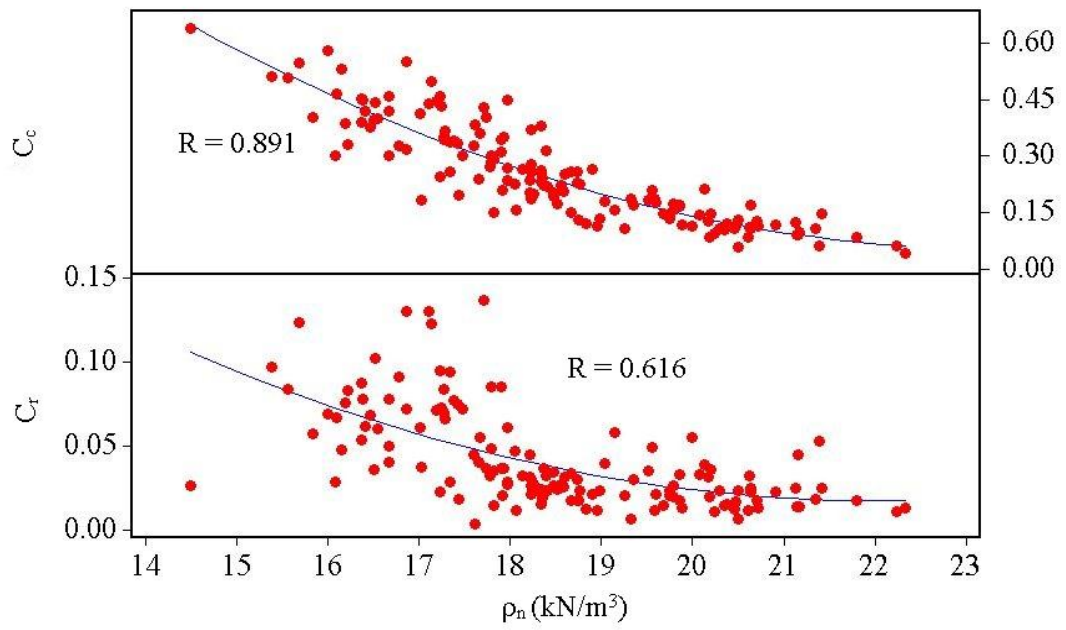
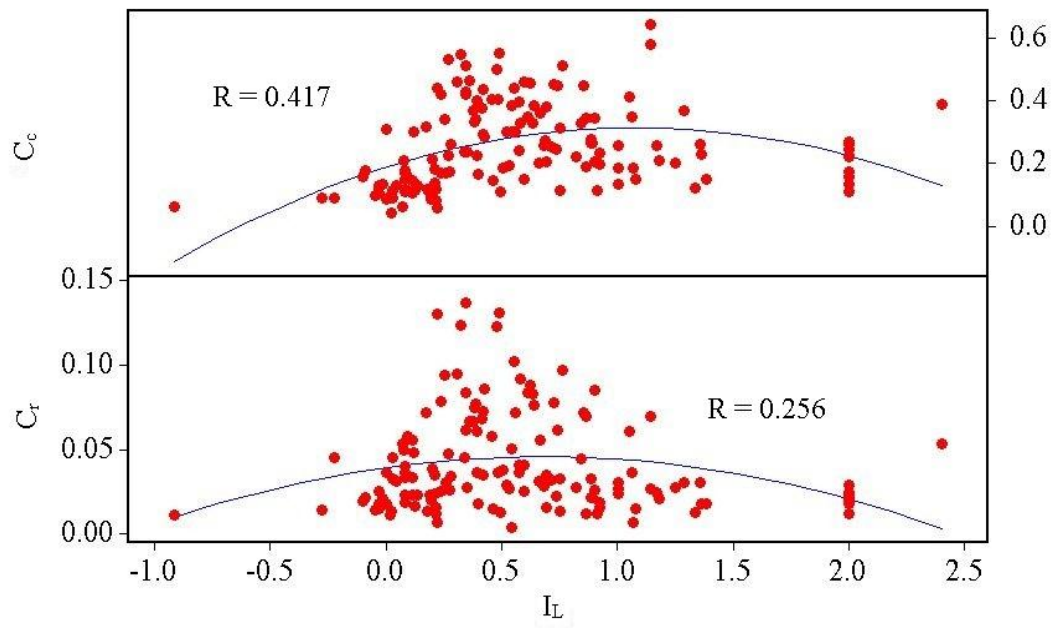
- Mitchell, J.K., Soga, K.**, 2005 Fundamentals of Soil Behavior, John Wiley & Sons, Inc.
- Nagaraj, T.S., and Srinivasa Murthy, B.R.**, 1983 "Rationalization of Skempton's compressibility equations" *Geotechnique*, 33(40): 433 – 443
- Nagaraj, T.S., and Srinivasa Murthy, B.R.**, 1983 " A critical reappraisal of compression index equations" *Geotechnique*, 36(1): 27 – 32
- Nagaraj, T.S., Pandian, N.S., Narasimha Raju, P.S.R., and Vishnu Bhushan, T.** 1995 "Stress-state – time – permeability relationships for saturated soils" In Proceedings of the International Symposium On Compression and Consolidation of Clayey Soils, 10 – 12 , IS – Hiroshima, Japan, pp. 537 – 542
- Nagaraj, T. S., Murthy, B. R.**, 1985 “Prediction of the Preconsolidation Pressure and Recompression Index of Soils”, *Geotechnical Testing Journal, ASTM*, 8(4) , pp. 199 – 202.
- Nishida, Y.**, 1956 A Brief Note on Compression Index of Soils, *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, 82, SM3, 1027 – 1 – 1027 – 14
- Önalp, A., Arel. E.**, 2011 Geoteknik Mühendisliğinde Yapay Sinir Ağı Uygulamaları ve Bir Örnek: Zemin Profilinin Tahmin Edilmesi İTÜ DERGİSİ Cilt 10, Sayı 4
- Shorten, G.G.** 1995 "Quasi – overconsolidation and creep phenomena in shallowv marine and estuarine organo – calcareous silts, Fiji" *Canadian Geotechnical Journal*, 32: 89 – 105.
- Skempton, A.W.**, 1944 Notes on the Compressibility of Clays, *Quarterly Journal of Geological Society of London*, 100, 119 – 135
- Sowers, G.B.**, 1970 "Introductory soil mechanics and foundations" 3rd ed. MacMillan Company, Collier-MacMillan Limited, London, U.K.
- Şenol, A., Sağlamer, A.** , 2002 Düşük Plastisiteli Bir Kilde Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesinde Yeni Bir Yöntem, *İMO Teknik Dergi*, 2555 – 2572, Yazı 172
- Tan, Y.C., Gue, S.S. Ng, H.B., Lee, P.T.**, 2000 "Design Parameters Of Klang Clay, Malaysia" Seminar on Geotechnical Engineering, 22 – 23 September. Penang.
- Terzaghi, K., and Peck, R. B.**, 1967 "Soil Mechanics In Engineering Practice" 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc, New York
- Tsuchida, T.** 1991. A new concept of $e - \log p$ relationship for clays. In Proceedings of the 9th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 9 – 13 December 1991, Bangkok, Thailand, Vol. 1, pp. 87 – 90.
- Wroth, C. P., Wood, D. M.**, 1978 “The Correlation Of Index Properties with Some Basic Engineering Properties of Soils”, *Canadian Geotechnical Journal*, 15(2), pp. 137 – 145.

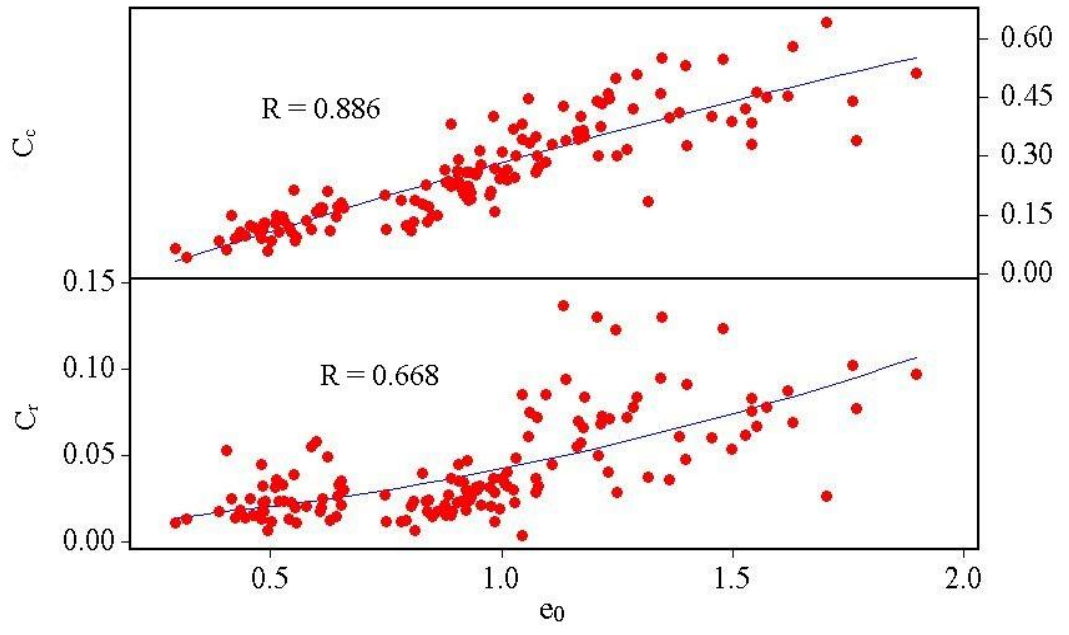
EK 1

TÜM VERİLERE AİT FİZİKSEL ÖZELLİKLER İLE SIKIŞMA İNDİSİ VE YENİDEN YÜKLEME İNDİSİ ARASINDAKİ BAĞINTILAR



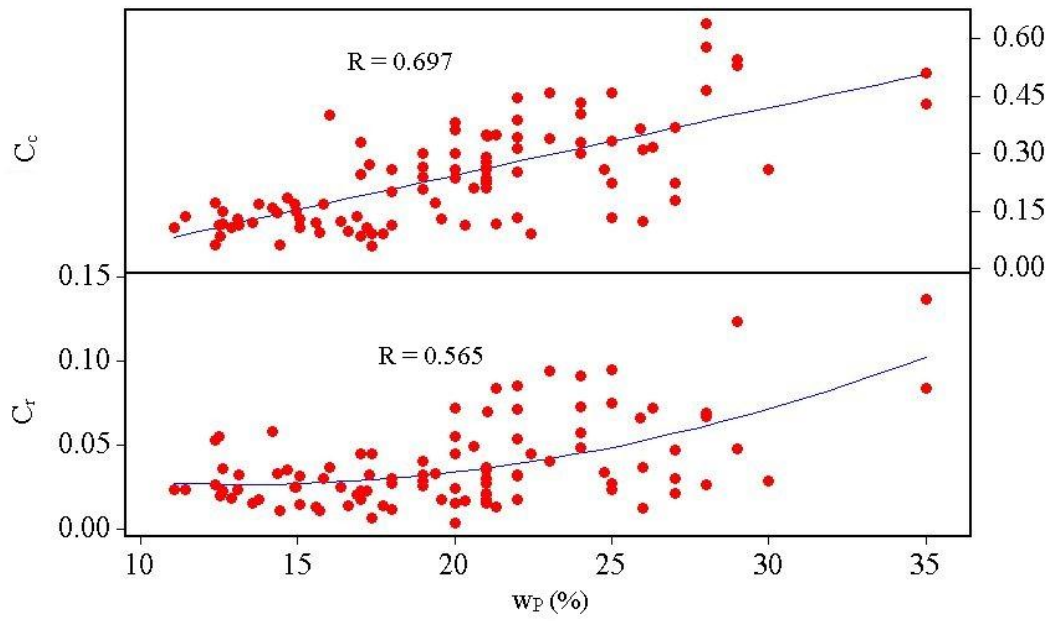
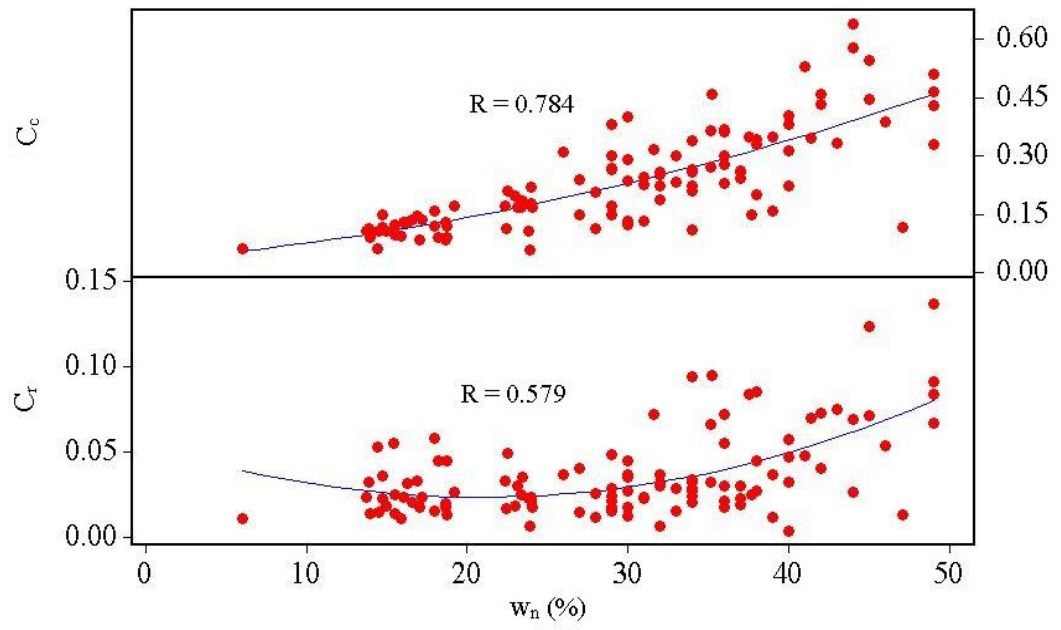


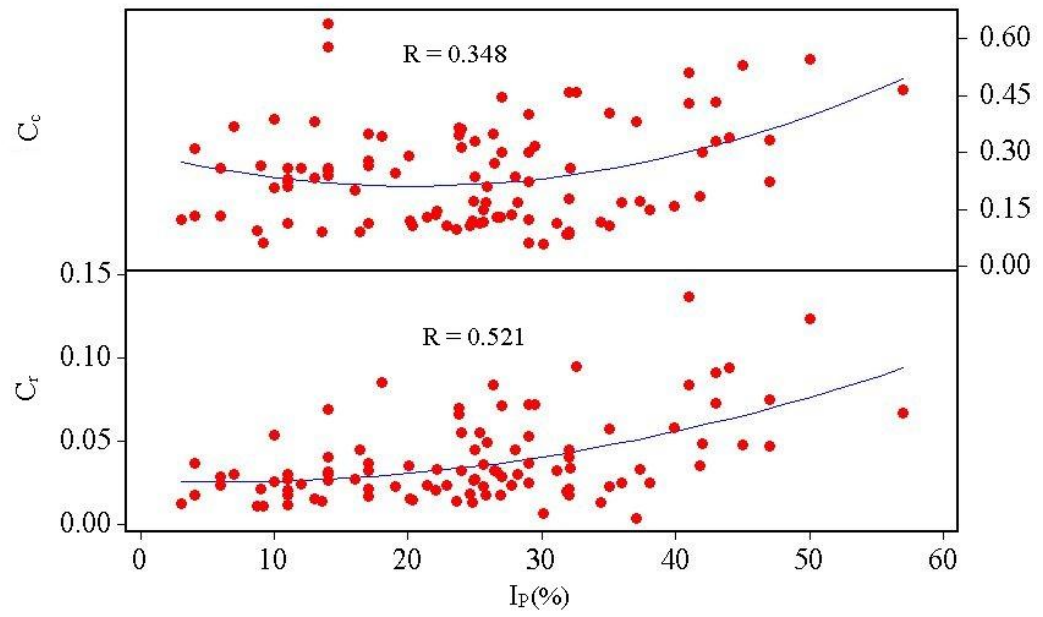
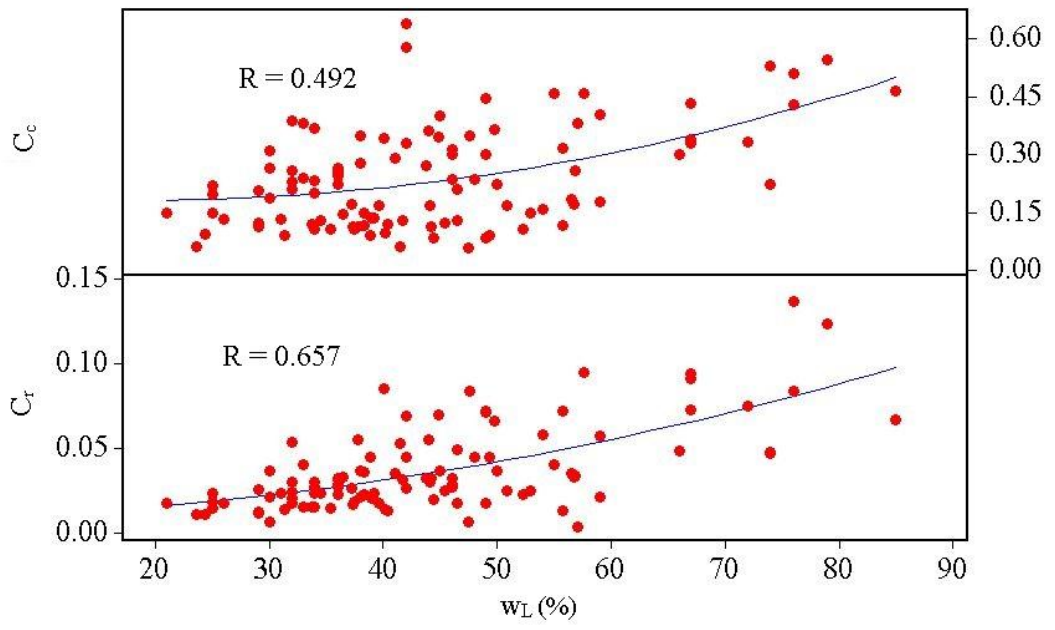


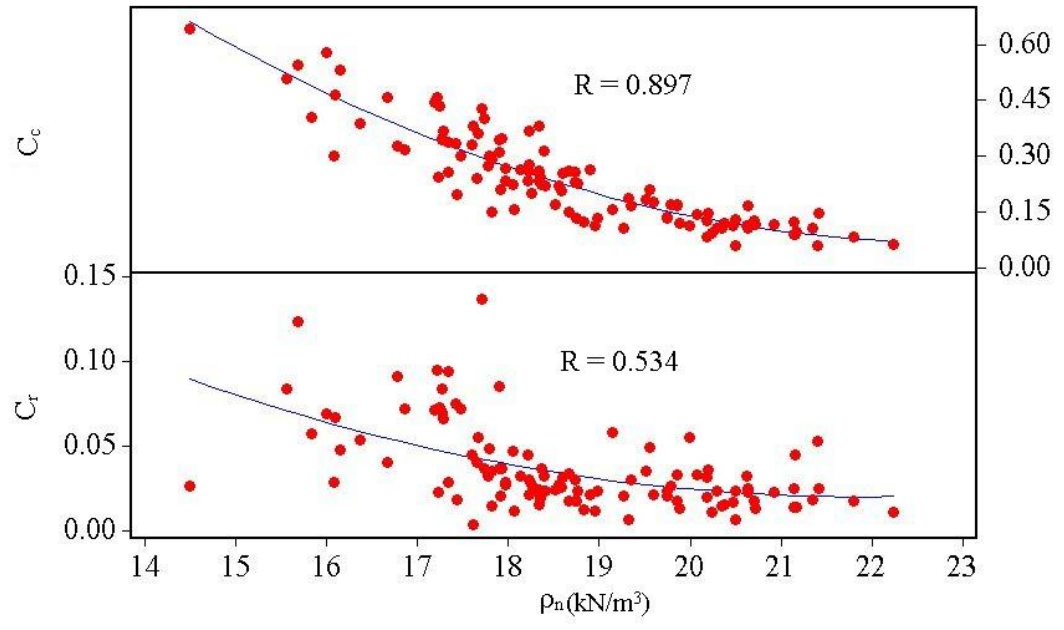
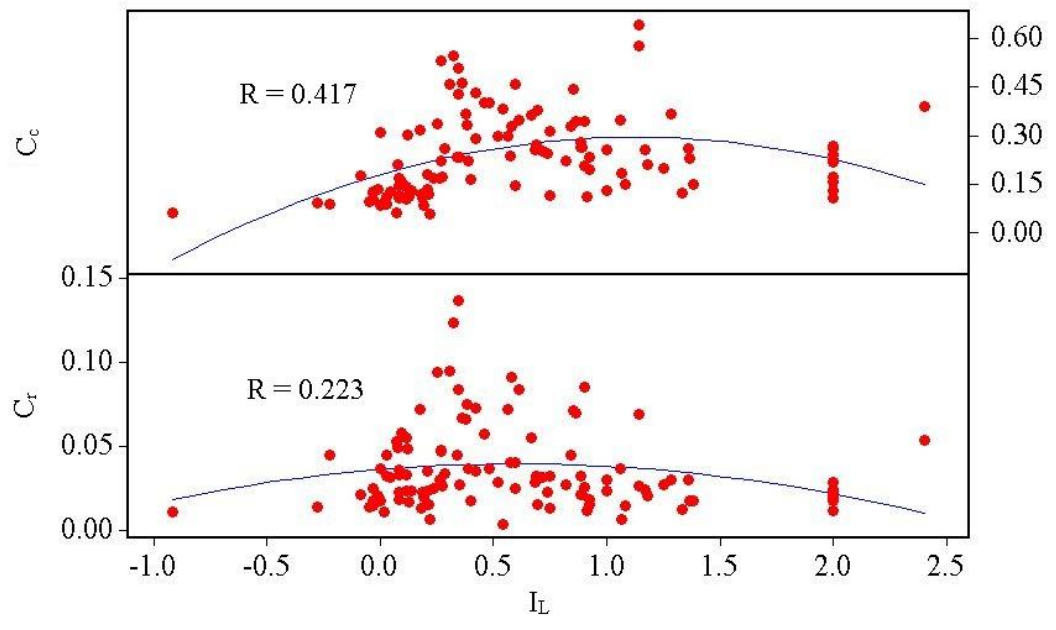


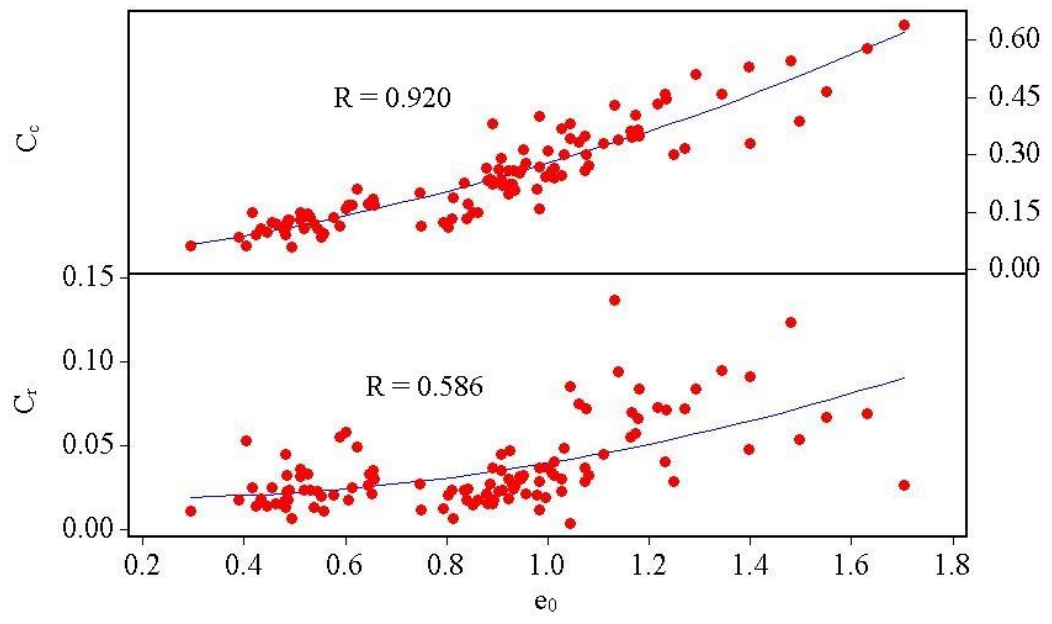
EK 2

AŞIRI KONSOLİDE NUMUNE VERİLERİNE AİT FİZİKSEL ÖZELLİKLER İLE SIKIŞMA İNDİSİ VE YENİDEN YÜKLEME İNDİSİ ARASINDAKİ BAĞINTILAR



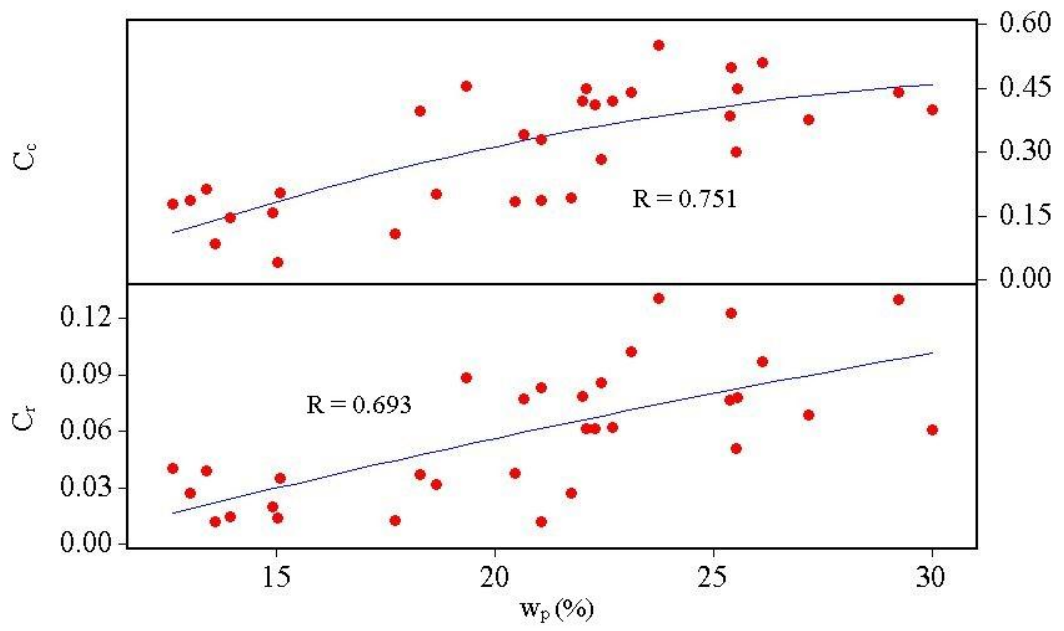
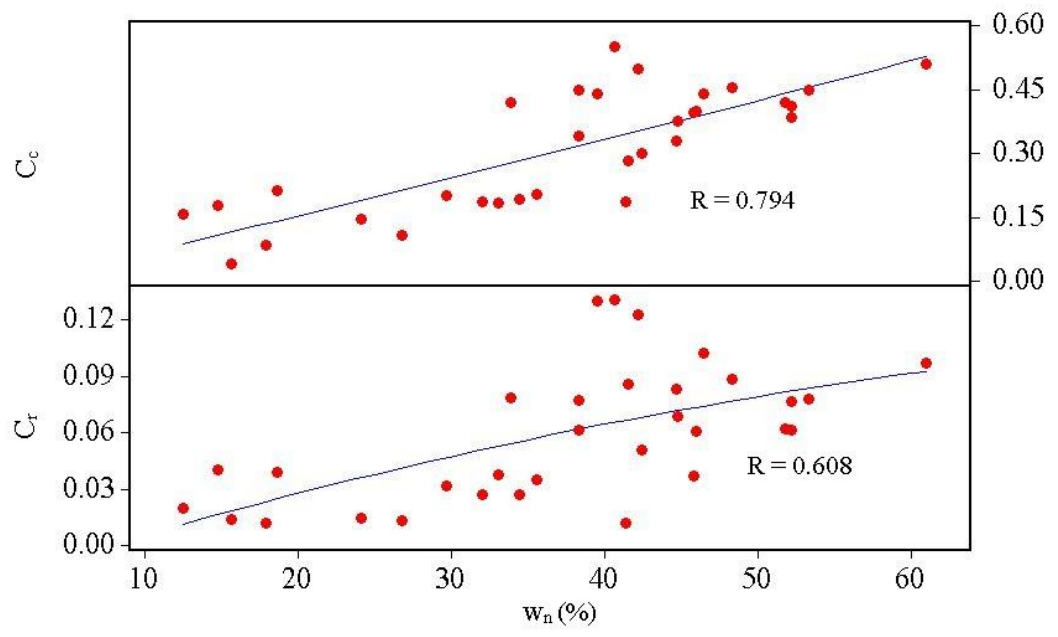


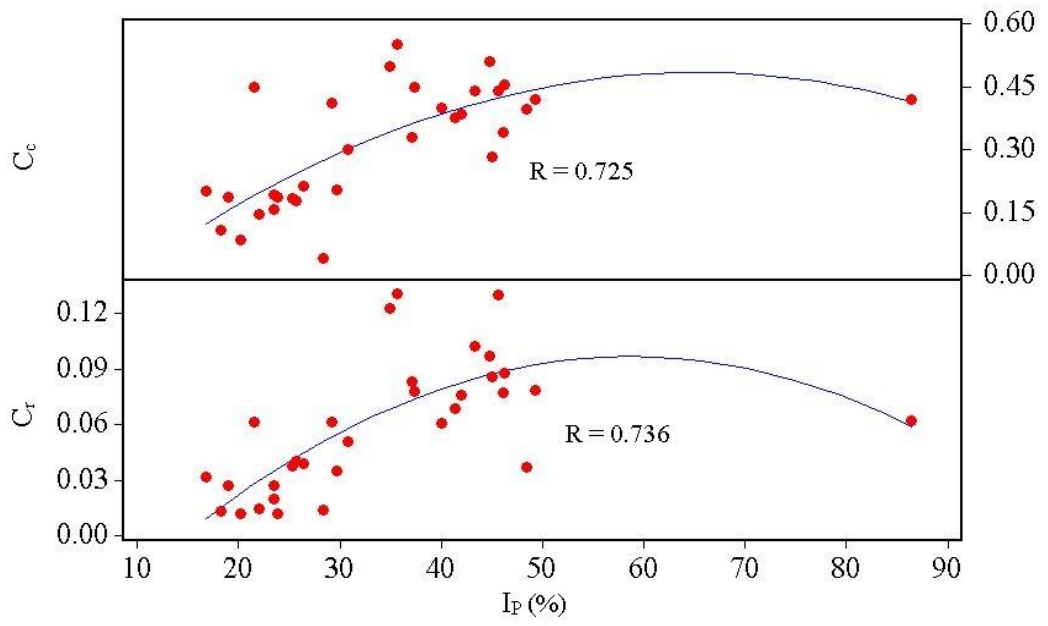
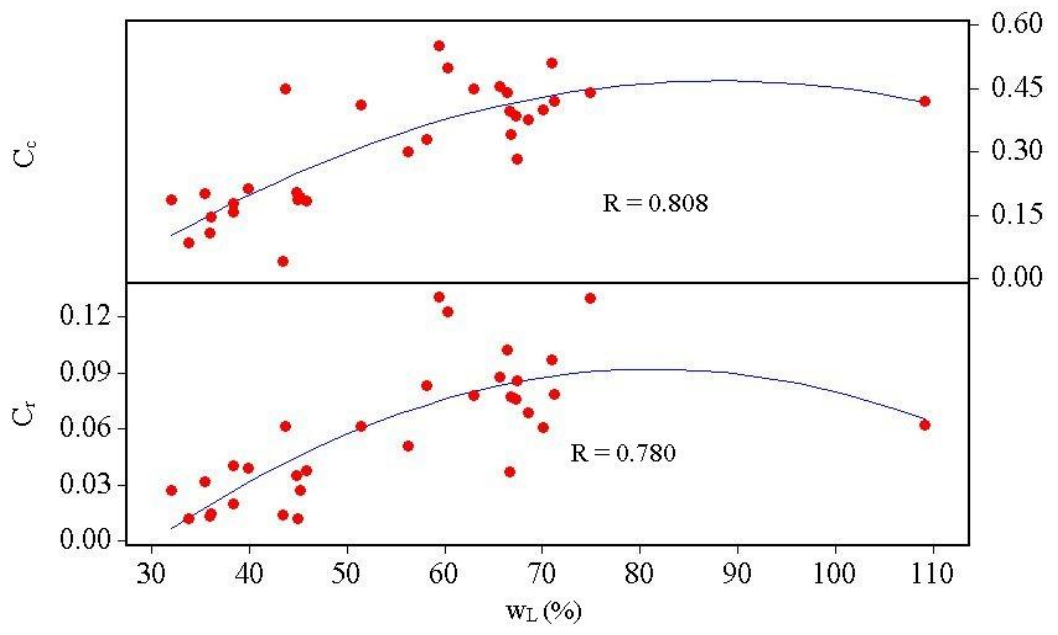


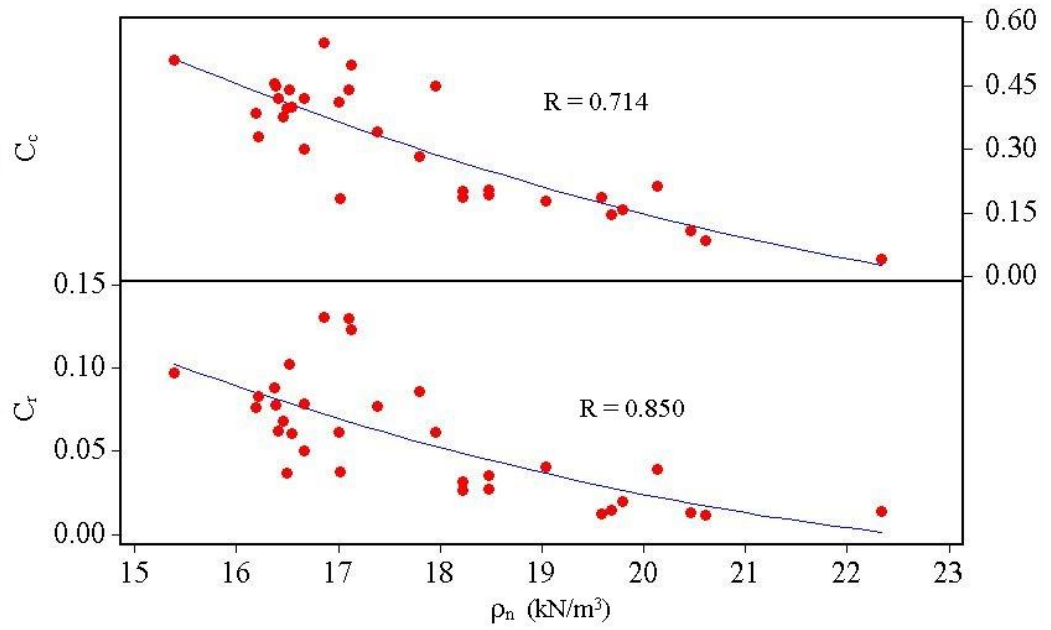
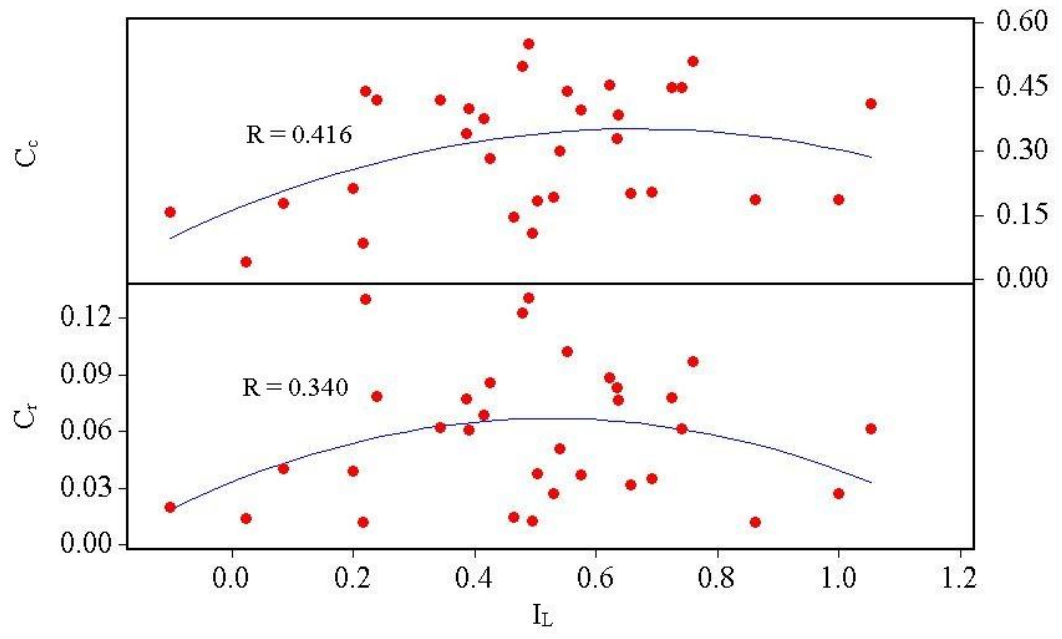


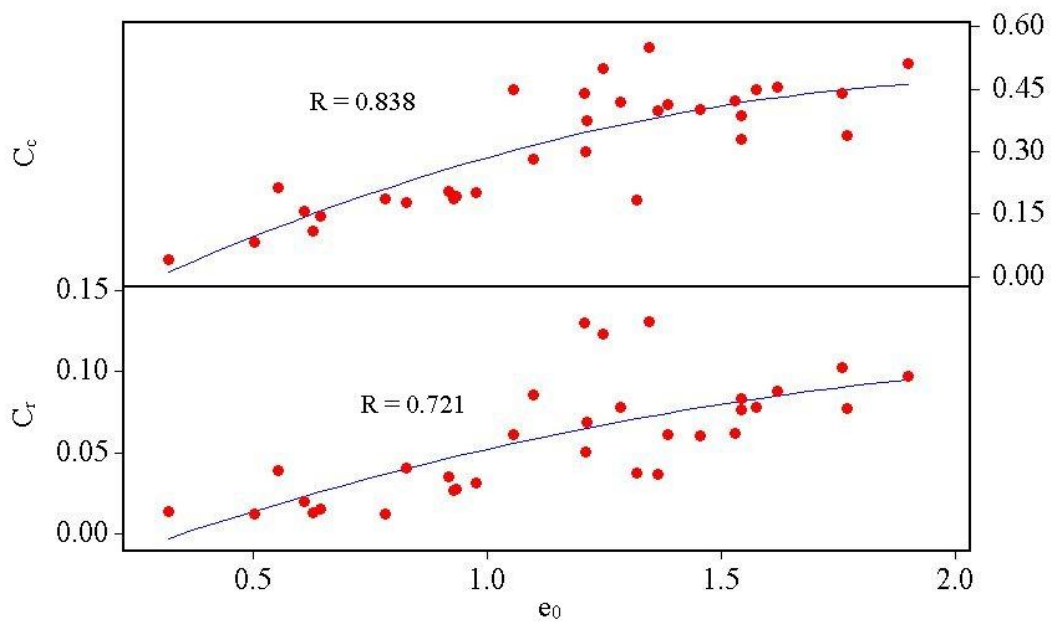
EK 3

**NORMAL YÜKLENMİŞ NUMUNE VERİLERİNE AİT
FİZİKSEL ÖZELLİKLER İLE SIKIŞMA İNDİSİ VE
YENİDEN YÜKLEME İNDİSİ ARASINDAKİ
BAĞINTILAR**









EK 4

KİL NUMUNE VERİLERİNE AİT FİZİKSEL ÖZELLİKLER İLE SIKIŞMA İNDİSİ VE YENİDEN YÜKLEME İNDİSİ ARASINDAKİ BAĞINTILAR

