

Lagün Kökenli Kil-Silt Zeminde Sıkışabilirlik Özelliklerinin Regresyon ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleri ile Belirlenmesi

Nihat DİPOVA*
Bülent CANGİR**

ÖZ

Bu çalışmada, Hurma ve Sarısu (Antalya) bölgelerindeki mavi ve yumuşak killerin sıkışabilirlik özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır. Farklı çökelim ortamları, deniz seviyesi değişimleri ve kuruma sonucu inceleme alanındaki zemin profilleri oldukça karmaşık bir yapı sunar. Zemin parametrelerinin derinlikle 5-10 kat değişebildiği gözlenmektedir. Uygulamada ödometre deneyinin yeterince yapılamaması nedeni ile indeks parametreler ve yerinde deney sonuçları kullanılarak sıkışabilirlik parametresi sayısının artırılması planlanmıştır. Bu amaçla, 7 adet 10 metre derinliğinde sondaj kuyusu açılarak yaklaşık 0,5 m'de bir alınan numuneler laboratuvar ortamında incelenmiştir. Laboratuvar deney sonuçlarından zemin sıkışabilirlik parametreleri belirlenmiştir. Buna ek olarak sondaj kuyularında standard penetrasyon (SPT) ve sondaj kuyusu yakınlarında konik penetrasyon (CPT) deneyleri gerçekleştirilmiştir. SPSS ve DataFit paket programları kullanılarak zemin indeks parametreleri ile sıkışabilirlik parametreleri arasında kapsamlı "Çoklu Regresyon Analizleri" yapılmıştır. Yapay Sinir Ağları yöntemi ile elde edilen veriler kullanılarak indeks ve sıkışabilirlik parametreleri arasındaki ilişki Matlab ortamında modellenmiştir. Çalışma sonucunda, sıkışabilirlik parametrelerinin belirlenmesinde, YSA modelinin tüm analizler içinde ölçülen değerlere en yakın tahminlerde bulunan yöntem olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Antalya, CPT, Lagün, Regresyon, SPT, YSA

ABSTRACT

Determination of Compressibility Parameters of Clay-Silt Soils of Lagoon Origin by means of Regression and Artificial Neural Network Methods

In this research, compressibility properties of blue soft clays in the Hurma and Sarısu regions (Antalya) were investigated by means of in situ and laboratory tests. Various depositional environments, sea level changes and drying effects have resulted in highly

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 26.06.2008 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2010 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - ndipova@akdeniz.edu.tr

** Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - bulent.cangir@gmail.com

complex soil profiles throughout the area. Soil parameters can vary 5-10 times only in one borehole. In practice, oedometer tests are being carried out in limited number, and so, it was thought that the number of compressibility parameters can be increased by means of correlations with index parameters and in-situ tests. For this purpose, samples were taken in every 0.5 m from 7 boreholes of 10 m depth and were investigated by laboratory methods. Additionally, as in situ tests, standard penetration test (SPT) and cone penetration test (CPT) were conducted. Geotechnical properties were determined by in situ and laboratory test results. Comprehensive multi-statistical analysis was performed by SPSS and DataFit software for establishing specific correlation between soil parameters. Artificial Neural Network was developed to simulate the mapping between index and compressibility parameters by Matlab. As conclusion, to evaluate compressibility parameters, ANN models seem to estimate values more close to the measured values than empirical equations of regression analysis.

Keywords: ANN, Antalya, CPT, Lagoon, Regression, SPT

1. GİRİŞ

İncelemeye konu olan zeminler, Antalya-Kemer devlet karayolu ile Hurma kayalıkları arasında kalan Hurma ve Sarısu bölgelerinde, coğrafi olarak da Boğaçay Ovası içinde yer almaktadır. Bölgedeki egemen zemin türü lagünel evreler sonucunda çökelen ince taneli zeminlerden oluşmaktadır. Jeolojik tarih içinde ortaya çıkan farklı çökelim ortamları zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerine yansımış, zeminin yatayda ve düşeyde geniş aralıkta değişen mühendislik parametrelerine sahip olmasına neden olmuştur. Kuruma evreleri sonucu ortaya çıkan ayrışma etkisi de bir diğer heterojenite nedenidir. Zemin etüd uygulamalarında sınırlı sayıda örselenmemiş örnek alınmakta, bu örnekler içinden de sadece birkaç tanesinde sıkışabilirlik deneyi yapılabilmektedir. Örnek azlığına ek olarak, ödometre deneyinin 10 gün sürmesi ve laboratuvarlarda ödometre düzeneğinin sınırlı sayıda oluşu da sıkışabilirlik deneyinin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, çalışma alanındaki zeminler ve kıyı bölgelerindeki benzer zeminler için, indis parametreler ve yerinde deney sonuçları kullanılarak ampirik yolla sıkışabilirlik parametresi belirlenmesi uygulamaya yarar sağlayacaktır.

Zemin etüdü uygulamalarında yaygın olarak kullanılan Standard penetrasyon deneyi (SPT) hacimsel sıkışma katsayısının (mv) belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ancak SPT deneyinin ince daneli zeminler için kullanımı ve bulunan sonuçların güvenilirliği tartışma konusudur [1]. Konik Penetrasyon Deneyi (CPT) ile inceleme derinliği boyunca sürekli ölçüm yapılabilen ve ampirik yolla hacimsel sıkışma katsayısının (mv) belirlenmesi mümkün olmaktadır [2]. Ancak CPT deneyi hızlı ve drenajsız koşulda yapıldığından gerilme kademesine bağlı bir parametre olan hacimsel sıkışma katsayısının ampirik yolla tahmininde hata payı yüksek olmaktadır.

Bölge zeminlerinde önceki çalışmalarda [3,4] zemin özelliklerini ilişkilendirme amaçlı yapılan istatistiksel analizlerde bulunan korelasyon katsayılarının düşük oluşundan dolayı, bu çalışmada alternatif olarak doğrusal olmayan, çok boyutlu, hata olasılığı yüksek zemin problemlerine uygun olduğu bilinen "Yapay Sinir Ağları Modeli" (YSA) tercih edilmiştir. Yapay sinir ağları yönteminin mekanik ve geoteknik problemlerin çözümünde kullanımı birçok araştırmacı tarafından önerilmektedir. Civalek [5] yapay sinir ağları tekniğini

zamana bağlı deformasyon analizine uygulamıştır. Mohamed vd. [6] YSA ile geoteknik mühendislik problemlerin çözümü hakkında genel bir araştırma yapmışlardır. Kurup ve Dudani [7] piyezokoni test sonuçlarına göre yapılan YSA modeli ile aşırı konsolidasyon oranını belirlemişlerdir. Kurup ve Griffin [8] CPT test sonuçları ve SPT ile alınan numunelerle bulunan tane boyu dağılımları kullanarak zemin sınıfını YSA metodu ile tahmin etmişlerdir.

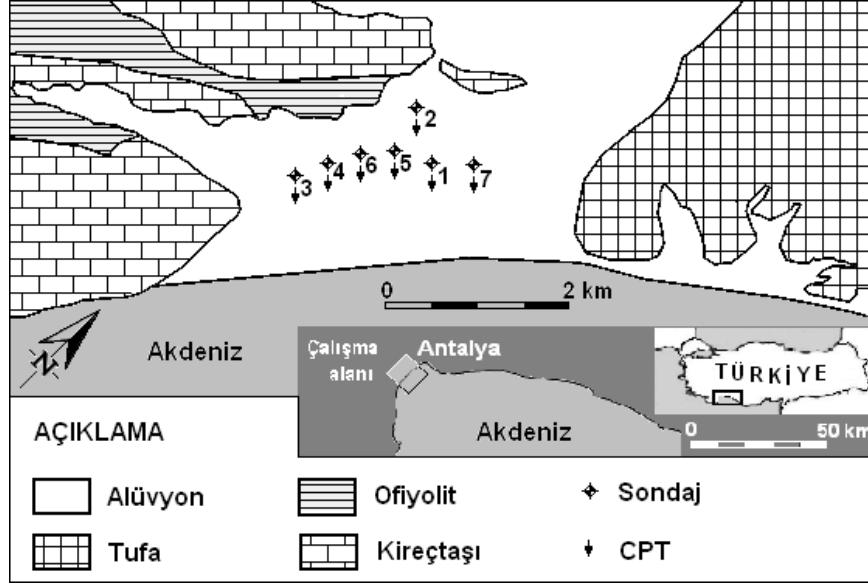
Bu çalışmada yedi farklı bölgede yapılan sondajlardan elde edilen örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuvarda elek analizi, hidrometre analizi, atterberg limitleri deneyi, üç eksenli basınç ve konsolidasyon deneyleri yapılarak mühendislik parametreleri elde edilmiştir. Çalışma alanında yerinde deney olarak SPT ve CPT uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, inceleme alanındaki zeminlerde sıkışabilirlik özelliğinin belirlenmesi için ampirik bağıntılar geliştirilmesi, yapay sinir ağları modelleri oluşturulması, böylece de indeks parametreler ve CPT deney sonuçları kullanılarak, daha güvenli sıkışabilirlik parametresi türetilmesi amaçlanmıştır

2. JEOLJİ

Çalışma alanı olan Hurma ve Sarısu bölgeleri Antalya batısında Boğaçay Ovası içinde bulunmaktadır. Boğaçay Ovası, 0-10 m arasında değişen yükseltiye sahip bir kıyı ovasıdır (Şekil 1). Oluşumunda geçirdiği lagünel çökelim evreleri nedeni ile “mavi-yeşil, yumuşak silt-kil” ağırlıklıdır [9]. Gelişimindeki lagünel ve alüvyal mekanizmalar, deniz seviyesi ve düşey yerkabuğu hareketleri sonucu zemin profili oldukça karmaşık bir yapı sunar [10].

İnce taneli zeminlerin çökelim olanağı bulduğu basen, Holosen öncesi normal faylanma ve yüzey erozyonu ile oluşmuş bir vadidir. Vadinin doğu bölümü Antalya tufasından, batı bölümü ise ofiyolitik melanjdan oluşur. Holosen döneminde buzulların erimesi sonucu oluşan östatik su seviyesi yükselmesi ile bu vadi su ile örtülmeye başlamıştır. Boğaçay tarafından taşınan sedimanlar, dalga ve deniz akıntıları ile vadinin önünde birikerek bariyer kumsal oluşturmuştur. Deniz seviyesinin yükselmesi ile birlikte bariyer kumsal da yükselmiş ve böylece kumsal gerisinde, karadan yeraltısuyu ile beslenen bir lagün ortaya çıkmıştır. Deniz seviyesi yükselmesinin duraksadığı dönemlerde güney kesimlerde gel-git düzlüğü, kuzey kesimlerde ise delta karakterli çökeller birikmiştir. Ova genelinde 10-12 m derinliklerde gözlenen iri taneli zeminler bu duraksamada çökelen zeminlerdir. Deniz seviyesi tekrar yükseldiğinde ise lagün çökellerinin çökeli mi sürmüştür. Zemin yüzeyindeki kuruma, süzülme ve kimyasal ayrışma ile kabuk oluşumu gerçekleşmiştir.

Holosen boyunca deniz seviyesi yaklaşık 100 m yükselmiş ve bu günkü seviyeye ulaşmıştır. Çalışma alanı 20. yy başında sulak alan niteliğinde olup, 1934 yılı topografya haritasında birçok bölgesi bataklık veya çeltik tarlası olarak işaretlenmiştir. Günümüzde Boğaçay kıyı alanında yeraltı suyu tablası 1,5-2,0 m'dedir. Taban topoğrafyasına bağlı olmak üzere ova zemininde bulunan zeminin kalınlığı 20-80 metre arasında değişmektedir. Kalınlığın en fazla olduğu bölüm ovanın orta bölümlerinde Hurma-Liman kavşağı civarındadır.



Şekil 1. Jeoloji haritası ve lokasyon haritası

3. ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Çalışma alanında açılan 7 adet sondaj kuyusundan alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler ile zemin profili oluşturulmuş ve zeminlerin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışmada, gel-git düzlüğü (kum-çakıl) üzerinde ilk 10 metre derinlikteki kil-silt zeminlerin özellikleri inceleneceğinden, sondaj derinliği 10 m ile sınırlı tutulmuştur. Kohezyonlu zeminlerden örselenmemiş numune alınması amaçlandığından, içi boş bir gövde çevresinde helisel bir burgudan oluşan delgi takımı (auger) kullanılmıştır. Manevralar 50 cm ile sınırlı tutulmuş, her manevrada sırayla bir örselenmemiş örnek alımı ve SPT deneyi gerçekleştirilmiştir. Böylece sondaj derinliği boyunca boşluk bırakılmaksızın zeminlerin incelenmesi mümkün olmuştur. Örselenmemiş numuneler ince cidarlı paslanmaz tüpler (UD tüpü) kullanılarak alınmıştır. Alınan örselenmiş numuneler çift katlı plastik PVC torba içerisinde, örselenmemiş numuneler ise benzer biçimde özel tüplerin ağzı parafinlenerek doğal nemini kaybetmeden laboratuvara ulaştırılmıştır.

Laboratuvar deneyleri kapsamında; tane boyu dağılım analizleri, nem içeriği, kıvam limitleri, sıkışabilirlik ve üç eksenli (UU tipi) basınç deneyi yapılarak bölge zemininin mühendislik parametreleri üretilmiştir. Yapılan deneyler TS1900/2005 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Arazi deneyleri kapsamında ise standart penetrasyon deneyi (SPT) ve konik penetrasyon deneyi (CPT) yapılmıştır.

4. BOĞAÇAYI LAGÜN KİLLERİNİN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Akdeniz Üniversitesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılan laboratuvar deneyleri ile bölge zemininin fiziksel ve mekanik özellikleri, sondaj kuyularından her 0,5 m de bir alınan

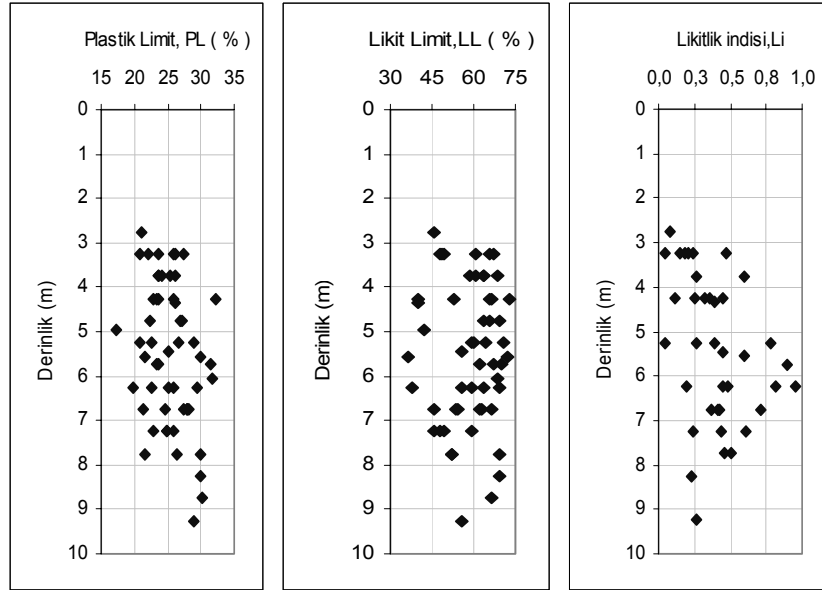
toplam 67 adet örselenmiş ve örselenmemiş numuneler kullanılarak belirlenmiş, en düşük ve en yüksek değerleri çizelge 1 de sunulmuştur.

Çizelge 1. Laboratuvarda belirlenen indis, sıkışabilirlik ve dayanım parametreleri özet tablosu.

	γ_n (kN/m ³)	γ_k (kN/m ³)	Wn (%)	Kum (%)	Kil (%)	Silt (%)	LL	PI	Cu (kPa)	Cc
Min	15,7	9,4	23	1	61	15	36	14	8	0,22
Maks	20	16,5	67	81	3,5	74	73	47	166	0,56

γ_n : Doğal birim hacim ağırlık, γ_k : Kuru birim hacim ağırlık, Wn : Doğal su içeriği, LL : Likit limit, PI : Plastise indisi, Cu : Drenajsız kayma dayanımı, Cc : Sıkışma indisi

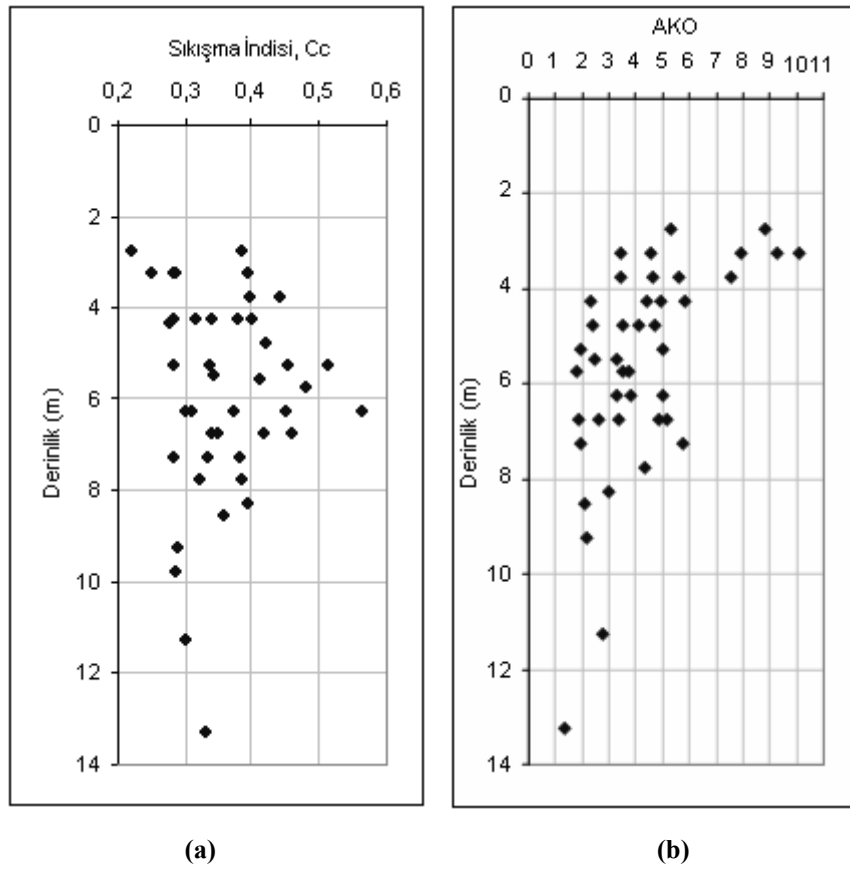
Bölge zemininin index özellikleri incelendiğinde, egemen zemin tipinin yüksek plastisiteli kil (CH) olduğu, doğal su içeriğinin %23-%67, likitlik indeksi değeri 0-1, plastik limitin %14 - %47 ve likit limit değerinin %36 - %73 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Tipik zemin kıvam limitleri-derinlik grafiği Şekil 2’de gösterilmiştir. Kıvam limitleri ve kil yüzdeleri değerlendirilerek aktivite değerleri belirlenmiştir. Aktivite değeri incelendiğinde ise bölgede hakim kil minerali olarak orta ve düşük aktiviteye sahip illit olduğu bulunmuştur. Birim hacim ağırlık değeri derinlikle birlikte değişime uğrayarak 16 kN/m³ ile 20 kN/m³ arasında değişiklik gösterdiği görülmüştür.



Şekil 2. Bölge zemininde plastik limit, likit limit ve likitlik indisi değerlerinin derinlikle değişimi

Lagün Kökenli Kil-Silt Zeminde Sıkışabilirlik Özelliklerinin ...

Sıkışma özelliklerinin belirlenmesi için zemin örnekleri çapı 50 mm, kalınlığı 20 mm olan ödometre halkasına yerleştirilip bir dizi düşey yüke tabi tutulmuştur. Uygulanan gerilme kademelerinde zamana bağlı sıkışma değerleri elde edilip, boşluk oranı-gerilme grafikleri oluşturularak; hacimsel sıkışma katsayısı (m_v), sıkışma indisi (C_c) ve ön konsolidasyon basıncıları (σ_c) belirlenmiştir. Sıkışma indisinin derinlik ile değişimi Şekil 3-a da gösterilmiştir. Ödometre deney sonuçları kullanılarak çizilen boşluk oranı – logaritmik basınç eğrisinden bulunan ön konsolidasyon basıncı, zemin tabakasının günümüze kadar olan süre içerisinde maruz kaldığı en büyük gerilme olarak tanımlanmaktadır. Aşırı konsolidasyon oranı (AKO), önkonsolidasyon basıncının mevcut efektif düşey örtü basıncına oranıdır. İnceleme alanındaki zeminlerde AKO'nun derinlikle değişimi Şekil 3-b' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Sıkışma indisi (C_c) ve aşırı konsolidasyon oranının (AKO) değerlerinin derinlikle değişimi

5. ÇOKLU REGRESYON VE KORELASYON

Çoklu regresyonda birden fazla bağımsız değişken (x_1, x_2, \dots, x_n) ile bir bağımlı değişken (y) arasındaki ilişki incelenmektedir. Burada kullanılacak regresyon fonksiyonu her bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle doğrusal bir ilişkisi olduğu kabul edilerek;

$$y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n \quad (1)$$

şeklinde dir. Bu fonksiyondan yararlanarak değişkenler arasında bulunduğu varsayılan gerçek çoklu ilişkinin bir tahmini aşağıdaki fonksiyon yardımıyla yapılmaktadır.

$$y = \alpha + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_n * x_n \quad (2)$$

Bu fonksiyondaki katsayıların hesabı için en küçük kareler yönteminden yararlanarak gerçek y değerleri ile teorik y değerleri arasındaki farklar minimize edilecektir.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - (\alpha + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i}))^2 \quad (3)$$

Üç değişkenli bir modelde her noktanın üç koordinata sahip olduğu ve bir yüzey hesaplanacağı için denklem bir doğru denklemi olmayıp yukarıdaki denklemde gösterildiği gibi en küçük kareler yüzeyidir. Burada da gerçek y değerleri (y_i) ile teorik y değerleri arasındaki uzaklıkların farklarının kareleri toplamı minimum yapılacaktır. En küçük kareler yöntemi ile üç katsayı şu şekilde hesaplanacaktır:

$$\sum_{i=1}^n x_{1i} \rightarrow \sum_{i=1}^n x_{1i}, \quad \sum_{i=1}^n x_{1i} * x_{2i} \rightarrow \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i}, \quad \sum_{i=1}^n x_{1i} * y_i \rightarrow \sum_{i=1}^n x_{1i} * y_i \quad (4)$$

şeklinde alınarak;

$$\sum y = n*a + b_1*\sum x_1 + b_2*\sum x_2 \quad (5)$$

$$\sum x_1*y = a*\sum x_1 + b_1*\sum x_{12} + b_2*\sum x_1*x_2 \quad (6)$$

$$\sum x_2*y = a*\sum x_2 + b_1*\sum x_1*x_2 + b_2*\sum x_{22} \quad (7)$$

Doğrusal çoklu regresyon analizinde “SPSS” [11] paket programında var olan ve yaygın olarak kullanılan standart yöntem kullanılarak ilişkiler incelenmiştir. Bu yöntem ile bağımlı değişkenlerdeki açıklanan varyansa anlamlı bir katkısı olup olmadığına bakılmaksızın tüm değişkenler alınarak bağımlı değişken üzerindeki ortak etkileri incelenir.

Doğrusal-olmayan regresyon yolu ile parametrelerin tahmininde “DataFit” [12] programı kullanılmıştır. Doğrusal-olmayan regresyon modeli genel olarak;

$$y_i = f(t_i, \beta) + \epsilon_i, \quad i=1, \dots, n \quad (8)$$

Lagün Kökenli Kil-Silt Zeminde Sıkışabilirlik Özelliklerinin ...

şeklinde tanımlanır; burada y , cevap değişkeni; t , bağımsız değişken; β , β_j ($j=1,\dots,p$) parametrelerine ait vektör; ϵ_i , şansa bağlı hata terimi; n , gözlem sayısı; ve p , parametre sayısıdır. β_j 'ların tahmincileri, kalıntı kareler toplamı fonksiyonunun,

$$KT_{Rez} = \sum_{i=1}^n [y_i - f(t_i, \beta)]^2 \quad (9)$$

ϵ_i 'lerin ortalaması sıfır ve varyansı σ^2 olan normal dağılışa sahip bağımsız değişkenler olduğu varsayımına dayanarak minimize edilmesi suretiyle bulunur. y_i ve t_i sabit gözlemler olduğundan, hata kareler toplamı β 'nin bir fonksiyonudur. β 'nin en küçük kareler tahminleri, 2 numaralı denklemi sıfıra eşitleyerek her bir parametreye göre türevini almak suretiyle bulunur; ve bu değerler KT_{Rez} 'ni minimum yapar. Bu işlem p sayıda normal denklemin β için çözülmesini gerektirir. Bu normal denklemler

$$\sum_{i=1}^n \{y_i - f(t_i, \beta)\} \left[\frac{\partial f(t_i, \beta)}{\partial \beta_j} \right] = 0 \quad j=1,\dots,p \quad (10)$$

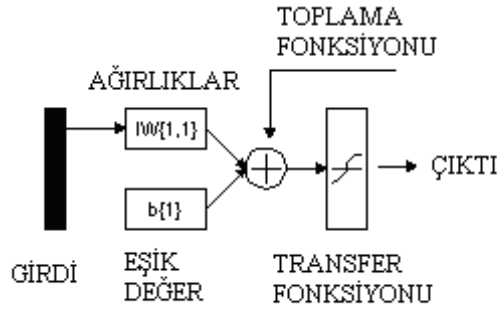
şeklinde yazılabilir. Model, parametrelerinde doğrusal olmadığı zaman normal denklemler de doğrusal değildir. Bu durumda, KT_{Rez} 'ni minimize etmek için bir iterasyon yönteminden yararlanılır [13,14].

6. YAPAY SİNİR AĞLARI

İnsanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanan yapay zekâ, aslında programlanmış bilgisayarlar düşünme yeteneği sağlama girişimidir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde çoklu değişkenler arasındaki mükemmel performansından dolayı YSA ya olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Yapay Sinir Ağları yönteminin temel mimarisini Rumelhart ve McClelland [15], Lippmann [16], Flood and Kartam [17], Öztemel [18], Şen [19] tarafından detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

En popüler olan ve bu çalışmada kullanılan çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA) modeli giriş katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır. Ara katman sayısının kaç olması gerektiğinin gösteren bir yöntem yoktur. Girdi katmanına giren bilgiler ağırlık ve eşik değerleri kullanılarak çıktıya dönüştürülürler. Ağırlıklandırmadan sonra, bu değiştirilmiş girdiler toplama fonksiyonuna gönderilirler. Toplama fonksiyonunda, adından da anlaşılacağı gibi, genelde toplama işlemi yapılmaktadır fakat birçok farklı işlem çeşidi toplama fonksiyonu için kullanılabilir. Toplama fonksiyonu, bu basit çarpımlar toplamına ek olarak, minimum, maksimum, mod, çarpım veya çeşitli normalizasyon işlemlerinden birisi olabilir. Girdileri birleştirecek olan algoritma genellikle seçilen ağ mimarisine de bağlıdır. Bu fonksiyonlar farklı şekilde değerler üretebilir ve sonra bu değerler ileri doğru gönderilir. Ek olarak, uygulamacı kendi fonksiyonunu oluşturup toplama fonksiyonu olarak kullanabilir. Bazı toplama fonksiyonları, transfer fonksiyonuna ilemeden önce, sonuçları üzerinde ilave işlemler yaparlar. Bu işlem aktivasyon fonksiyonu

olarak adlandırılan işlemdir. Bir aktivasyon fonksiyonu kullanmanın amacı toplama fonksiyonu çıktısının zamana bağlı olarak değişmesini sağlamaktır [20]. Son aşamada toplama fonksiyonu çıktısı transfer fonksiyonuna gönderilir. Bu fonksiyon, aldığı değeri bir algoritma ile gerçek bir çıktıya dönüştürür. Transfer fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Doğrusal fonksiyonlar genelde tercih edilmez çünkü doğrusal fonksiyonlarda çıktı, girdi ile orantılıdır (Şekil 4).



Şekil 4. YSA'nın detaylı yapısı

Bu çalışmada oluşturulan ağ yapısını eğitmek için Levenberg Marquart (LM) [21] algoritması kullanılmıştır. Gauss Newton ve Steepest Descent algoritmasının değişik bir uyarlaması olan LM algoritması, son yıllarda kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Levenberg-Marquardt algoritması için ağırlıklar aşağıdaki eşitlik kullanılarak güncelleştirilir.

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \Delta W_{ij}(t) \quad (11)$$

$$\Delta W_{ij} = [J^T(w)J(w) + \mu I]^{-1} J^T(w)E(w) \quad (12)$$

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 yapmakta ve sonucunda çok fazla hafıza kullanmayı gerektirmektedir [22,23].

7. LAGUN KİLLERİNİN SIKIŞABİLİRLİĞİNİN ANALİZİ

Killi zeminlerin sıkışabilirlik parametreleri ödometre deneyi ile belirlenmektedir. Ödometre deneyi diğer laboratuvar deneyleri ile karşılaştırıldığında kompleks, zaman alıcı ve pahalı

Lagün Kökenli Kil-Silt Zeminde Sıkışabilirlik Özelliklerinin ...

bir deneydir. Zemin indis parametrelerinin bulunması için yapılan deneyler ise daha ucuz ve kolay deneylerdir. Bu nedenlerle birçok çalışmada [24-31] indis parametreleri kullanılarak, konsolidasyon özelliklerinin belirlenmesi için ampirik korelasyonlar geliştirilmiştir.

Bölge zemininde ilk olarak incelenen 52 numune üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre sıkışma indisi (C_c), doğal su içeriği (W_n) ve likit limit (W_L) arasındaki ilişkiler yapılan ikili ve çoklu regresyonlarla incelenmiştir (Şekil 5). C_c - W_n arasında regresyon katsayısı (R^2) %78 ve aralarındaki bağıntı ise;

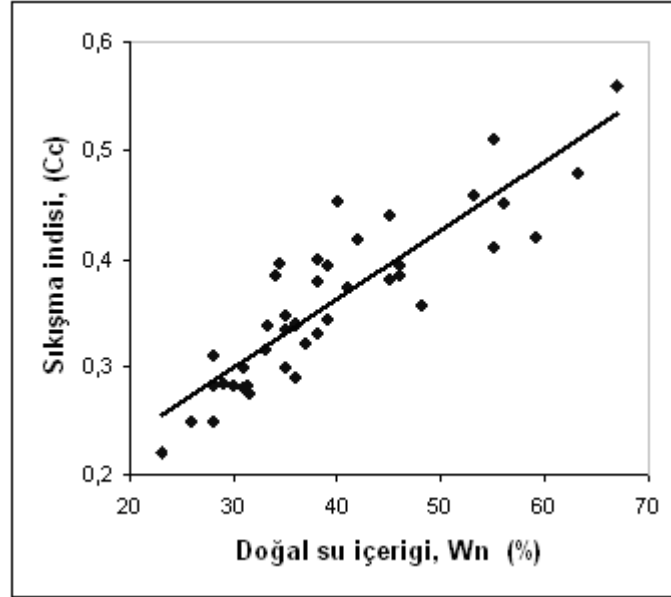
$$C_c = 0,00063W_n + 0,1086 \quad (13)$$

olarak bulunmuştur. SPSS ve Datafit programları kullanılarak C_c - W_n - W_L arasındaki yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan çoklu regresyon analizi sonucu regresyon katsayısı sırasıyla % 85 ve % 87,7 aralarındaki bağıntı ise;

$$C_c = 0,03 + 0,0001*W_L + 0,01W_n \quad (14)$$

$$C_c = -0,471 + 0,195*\ln(W_n) + 0,0019W_L \quad (15)$$

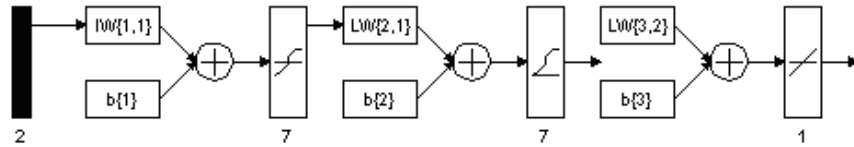
olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. Bölge zemininde C_c - W_n arası ilişkilendirme

YSA modelinde ise doğal su içeriği ve likit limit değerleri giriş parametreleri olarak seçilerek sıkışma indisi tahmin edilmiştir. Mevcut çalışmalar ile elde edilen verilerin

yaklaşık olarak % 75'i eğitim % 25'i test işlemi sırasında kullanılmıştır. Eğitim sırasında seçilen örnekler problem uzayını temsil edecek şekilde problem uzayının her bölgesinden seçilmiştir. Performans ölçütü olarak OKH (ortalama karesel hata) ve korelasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. En uygun YSA yapısını bulmak için yapılan denemelerde, OKH değerinin minimum olduğu eğitim seti modeli kullanılarak, test setinin model çıktıları ile deney sonucu bulunan sonuçlar arasındaki korelasyon katsayısının en yüksek olduğu yapı elde edilinceye kadar ara katmanlardaki nöron sayıları ve uygulanan etkinlik fonksiyonu değiştirilmiştir. Eğitim sırasında yüksek optimizasyon yeteneğinden dolayı Lavenberg-Marquardt öğrenme algoritması tercih edilerek, ara katman sayısı artırılarak ağın performansındaki değişimler Matlab 7.1 "Neural Network Toolbox" [32] ortamında incelenmiştir. Kurulan YSA modelinde W_n ve W_L değerleri giriş parametreleri olarak seçilerek Cc tahmin edilmiştir. Tek bir YSA modelinde, girdi, iki ara katman ve çıktı oluşturularak, transfer fonksiyonu olarak sırasıyla hiperbolik-tanjant, log sigmoid ve lineer fonksiyon kullanılmıştır (Şekil 6). Sigmoid fonksiyonunun özelliğinden dolayı, ağın çıkışı 0-1 arasında olmalıdır. Verilerin girişi sırasında tüm değerlerin 0 ile 1 arasında olması için normalize edilmiştir. Normalizasyon işlemi sırasında, giriş ve çıkış nöronları tek tek, o nörondaki en büyük değere bölünerek işlem sonunda, giriş ve çıkış vektörleri 0-1 arasında değerler alması sağlanmıştır. Sıkışma indisi tahmini kurulan Y.S.A modelinde 1. ara katmanda 7 ikinci ara katmanda 7 nöron kullanılması durumunda ağın en iyi performansı verdiği görülmüştür.



Şekil 6. Sıkışma indisi tahmini için kurulan YSA modeli

Yapay sinir ağları ile tespit edilen sonuçlar ile odometre deney sonucu bulunan sonuçlar arasında yapılan korelasyon sonucu regresyon katsayısı % 91 olarak bulunmuştur (Şekil 7).

Hacimsel Sıkışma Katsayısı (mv) kil zemin elemanında birim gerilme artışına karşılık gelen hacimsel deformasyonu temsil eder ve bu katsayı yumuşak ve hassas killerdeki numune örselenmesinden önemli derecede etkilenir. İncelenen lagün killerde hacimsel sıkışma katsayısının belirlenmesi için (0,05-0,1 cm^2/N) yapılan istatistiksel çalışmalarda ilk olarak hacimsel sıkışma katsayısı (mv) ve doğal su içeriği (W_n) arasındaki ilişki incelenmiştir. mv- W_n arasında regresyon katsayısı % 69, aralarındaki bağıntı ise

$$mv = 0,0019 W_n - 0,0243 \quad (16)$$

olarak bulunmuştur.

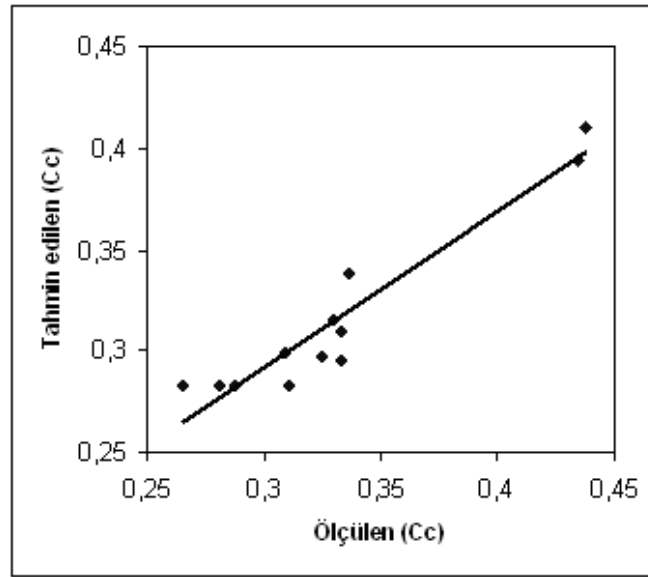
Lagün Kökenli Kil-Silt Zeminde Sıkışabilirlik Özelliklerinin ...

İkinci olarak, Hacimsel sıkışma katsayısı (mv), Doğal su içeri (Wn) ve likitlik indeksi (Li) arasında yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan çoklu regresyonlar ile regresyon katsayısı sırası ile; $R^2 = \%73$ ve $R^2 = \%76$, aralarındaki bağıntı ise;

$$mv = -0,01 + 0,001Li + 0,001Wn \quad (17)$$

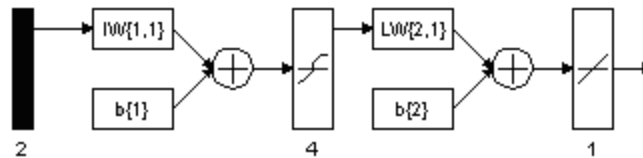
$$mv = 0,17 - 9,66/Wn + 137,67/(Wn^2) + 0,0084 \cdot \ln(Li) \quad (18)$$

olarak elde edilmiştir.



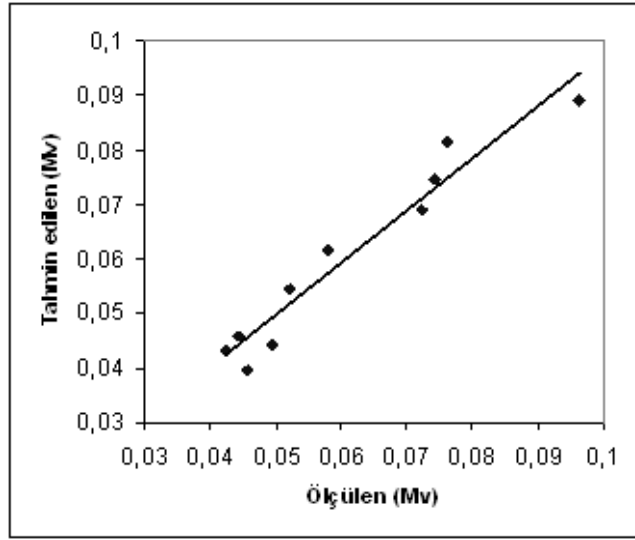
Şekil 7. Cc, ölçülen ve Y.S.A. modeli ile tahmin edilen değerlerinin karşılaştırılması

Hacimsel sıkışma katsayısının (mv) belirlenmesi için uygulanan YSA modeli Şekil 8 de gösterilmiştir. Eğitim için 1000 epok seçilmiştir ve ağırlık değerleri her eğitimden sonra yenilenecek performansın en iyi olduğu nokta bulunmaya çalışılmıştır. Verilerin girişi sırasında tüm değerlerin 0 ile 1 arasında olması için normalize edilmiştir. Eğitim seti olarak 52 adet kıvam limiti ve ödometre deney sonuçları kullanılmıştır.



Şekil 8. Hacimsel sıkışma katsayısı (mv) tahmini için kurulan YSA modeli

Li ve Wn giriş parametresi ve hacimsel sıkışma katsayısı çıkış parametresi olarak seçilerek kurulan YSA modelinin yaklaşık % 80'i eğitim % 20'si test aşamasında kullanılmıştır. Ara katman ve çıktı oluşturularak, transfer fonksiyonu olarak sırasıyla, hiperbolik-tanjant ve doğrusal fonksiyon kullanılmıştır. YSA modelinde ara katman sayısı artırılarak ağın performansındaki değişimler incelenmiştir. Bu çalışmada da en uygun YSA yapısını bulmak için yapılan denemelerde, en iyi çözüm 1000 öğrenme sayısı için test seti performans değerlerine bakılarak ara katmandaki nöron sayısının 4 olmasına karar verilmiştir. Yapay sinir ağları test sonucu bulunan sonuçlar ile deney sonucu bulunan sonuçlar arasında yapılan korelasyon sonucu regresyon katsayısı % 91 olarak bulunmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Ölçülen ve YSA modeli ile tahmin edilen mv değerlerinin (0,05-0,1 cm²/N gerilme aralığı için) karşılaştırılması

Sıkışabilirlik parametrelerinin belirlenmesinde bir diğer sorun; sık örselenmemiş örnek alamama sonucu sıkışabilirlik parametrelerinin derinlikle değişiminin belirlenmesinde yaşanmaktadır. Mevcut sınırlı sayıda deney sonuçlarının kalın zemin tabakasını temsil edeceği kabul edilmektedir. Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) zemin profilindeki değişimleri oldukça hassas bir biçimde vermektedir. Sanglerat [2] CPT verilerinin killi zeminlerde hacimsel sıkışma katsayısının belirlenmesinde kullanılabileceğini belirtmiştir. Killerde hacimsel sıkışma katsayısı aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir [2].

$$1/mv = q_c \cdot \alpha_m \quad (19)$$

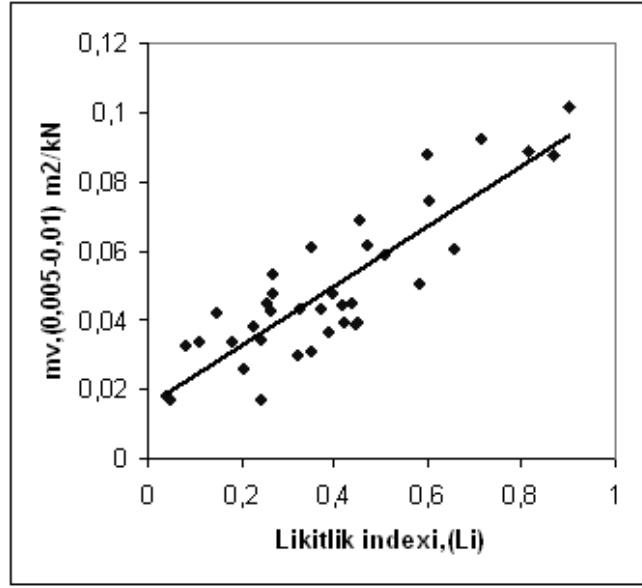
Burada; α_m dönüşüm katsayısı olup çok geniş aralıkta değişim göstermektedir. Bu nedenle eşitlik 19 çok genel bir yaklaşımdır. Bu çalışmada yapılan CPT verileri kullanılarak, inceleme alanındaki killi zeminler için α_m değerinin 1-6 arası değişim gösterdiği görülmüştür. Bu sebepten dolayı hacimsel sıkışma katsayısının belirlenmesi için CPT

Lagün Kökenli Kil-Silt Zeminde Sıkışabilirlik Özelliklerinin ...

sonucu bulunan Koni uç direnci (q_c) ve laboratuvar ortamında elde edilen, likitlik indeksi (Li) kullanılarak yapılan ikili ve çoklu regresyonlar ve son olarak yapılan YSA modeli kullanılarak hacimsel sıkışma katsayısı belirlenmesi için ampirik bağıntılar araştırılmıştır. Hacimsel sıkışma katsayısının 0,005-0,01 m^2/kN gerilme aralığı için mv - Li arasında yapılan ikili regresyon analizi sonucu regresyon katsayısı % 74 ve aralarındaki bağıntı ise

$$mv = 0,0742 * Li + 0,0174 \quad (20)$$

olarak bulunmuştur (Şekil 10).



Şekil 10. Bölge zemininde mv - Li arası ilişkilendirme

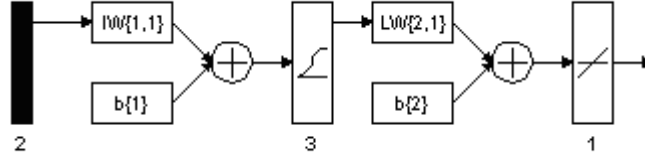
Hacimsel sıkışma katsayısı (mv), koni uç direnci (q_c) ve likitlik indeksi (Li) arasında yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan çoklu regresyon analizinde korelasyon sonucu sırası ile $R^2 = \% 85$ ve $R^2 = \% 86$, aralarındaki bağıntı ise

$$mv = 0,01 + 0,11 (1/q_c) + 0,05 * Li \quad (21)$$

$$mv = 0,4 + 0,00045 (Li) + 0,161 * \ln(1/q_c) + 0,0172 * (1/q_c)^2 \quad (22)$$

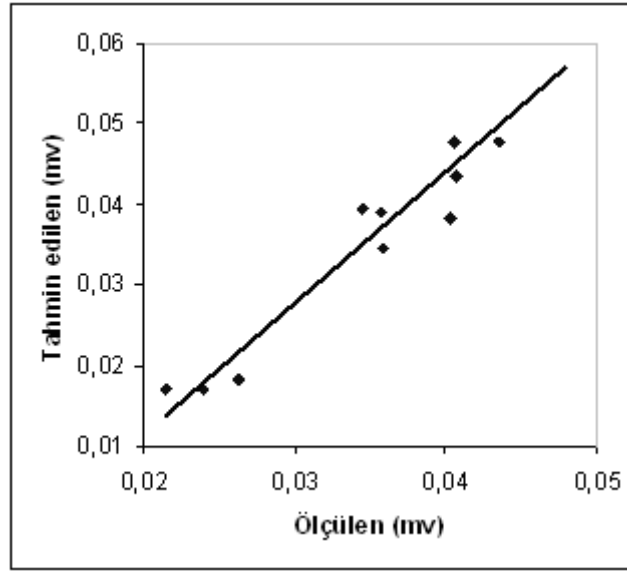
olarak bulunmuştur. Uygulanan YSA modeli Şekil 11'de gösterilmiştir. Li ve $(1/q_c)$ giriş parametresi ve hacimsel sıkışma katsayısı çıkış parametresi olarak seçilerek kurulan YSA modelinde 52 adet veri kullanılmıştır. Bu verilerin yaklaşık % 80'i eğitim, % 20'si test aşamasında kullanılmıştır. Ara katman ve çıktı oluşturularak, transfer fonksiyonu olarak sırasıyla, log sigmoid ve lineer fonksiyon kullanılmıştır. YSA modelinde ara katman sayısı

arttırılarak ağın performansındaki değişimler incelenmiştir. Sonuç olarak ara katmandaki neron sayısının 3 olmasına karar verilmiştir.



Şekil 11. Hacimsel sıkışma katsayısı (mv) tahmini için kurulan YSA modeli

Yapay sinir ağları ile tespit edilen değerler ile odemetre deney sonucu bulunan sonuçlar arasında yapılan korelasyon sonucu regresyon katsayısı % 93 olarak bulunmuştur (Şekil 12).



Şekil 12. Ölçülen ve Y.S.A. modeli ile tahmin edilen mv değerlerinin karşılaştırılması

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada Antalya Konyaaltı Belediyesi Hurma ve Sarısu mahallelerindeki ince taneli zeminlerin sıkışabilirlik özellikleri yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. Bu amaçla bölge zemininde 7 adet 10 m derinliğinde sondaj kuyusu açılarak her 0,5 m'de bir alınan numuneler laboratuvar ortamında incelenmiştir. Buna ek olarak sondaj kuyusu içinde SPT ve her sondaj kuyusu yanında CPT deneyleri yapılmıştır.

Lagün Kökenli Kil-Silt Zeminde Sıkışabilirlik Özelliklerinin ...

İnceleme alanındaki zeminler oluşumunda geçirdiği lagünel çökelim evreleri nedeni ile “mavi-yeşil, yumuşak silt-kil” ağırlıklıdır. Farklı çökelim ortamları, deniz seviyesi ve düşey yerkabuğu hareketleri ve kuruma sonucu zemin profili oldukça karmaşık bir yapı sunar. Yeraltı suyu tablası 1,5-2,0 m’dedir. Ovada alüvyon zeminin kalınlığı 20-80 metre arasında değişmektedir. Kalınlığın en fazla olduğu bölüm ovanın orta bölümlerinde Hurma-Liman kavşağı civarındadır.

Farklı çökelim ortamları ve değişken tane boyu dağılımına ek olarak, jeolojik tarih içinde kuruma-ıslanma ve kimyasal değişime bağlı değişimler, zeminlerin mukavemet ve sıkışabilirlik parametrelerine yansımaktadır. Zemin parametrelerinin derinlikle 5-10 kat değişebildiği gözlenmektedir. Zemin etüdlerinde alınan örnek sayısı sınırlı kalmakta ve laboratuvarında belirlenen sınırlı sayıda mukavemet ve sıkışabilirlik parametresi zeminin tamamını temsil etmeyebilmektedir. Bu nedenle indeks parametreler ve yerinde deney sonuçları kullanılarak amprik bağıntılar yolu ile parametre sayısının artırılması gerekmektedir.

Yapılan çalışmada; istatistiksel (basit ve çoklu regresyon analizleri) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılarak bölge zeminin sıkışabilirlik parametreleri tahmin edilmiştir. Doğrusal olmayan çoklu regresyon analizlerinde diğer regresyon analizlerine göre ölçülen değerlere daha yakın tahminlerde bulunulmuştur. YSA modeli ise tüm analizler içinde ölçülen değerlere en yakın tahminlerde bulunan yöntem olmuştur (Çizelge 2).

Çizelge 2. İstatistiksel ve Y.S.A yöntemi sonuçları

Zemin parametreleri	Yöntem	R ²
Cc – Wn	Basit regresyon	% 78
Cc – Wn – WL	Çoklu regresyon (doğrusal)	% 85
Cc – Wn – WL	Çoklu regresyon (doğrusal olmayan)	%87,7
Cc – Wn – WL	Y.S.A.	% 91
mv – Wn	Basit regresyon	% 70
mv – Wn – Li	Çoklu regresyon (doğrusal)	% 73
mv – Wn – Li	Çoklu regresyon (doğrusal olmayan)	%76
mv – Wn – Li	Y.S.A.	% 93
mv – Li	Basit regresyon	% 74
mv – Li – 1/q _c	Çoklu regresyon (doğrusal)	% 85
mv – Li – 1/q _c	Çoklu regresyon (doğrusal olmayan)	%86
mv – Li – q _c	Y.S.A.	% 93

YSA yöntemi diğer yöntemlere göre daha yakın tahminlerde bulunmasına rağmen, YSA bir probleme çözüm ürettiği zaman, bunun neden ve nasıl olduğuna ilişkin bir ipucu vermez (Kara kutu) ve optimum neticeler veren bir mekanizmaya sahip değildir. YSA modeli örneklere bakarak öğrendiğinden, örnekler problem uzayını temsil edecek sayıda ve nitelikte olmalıdır. Bu nedenlerden dolayı, lagün kökenli yumuşak killerin sıkışabilirlik özelliklerinin belirlenmesinde YSA yöntemini tek ve mutlak çözüm değil, iyi çözümlerden biri olarak kabul edip, diğer tahmin yöntemleri ile birlikte kullanılmasının daha sağlıklı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Décourt, L., The Standard Penetration Test: State-of-the-Art-Report. Norwegian Geotechnical Institute Publication No. 179, Part II, pp. 1–12. Oslo, Norway, 1990.
- [2] Sanglerat, G., The penetrometer and soil exploration, Elsevier, 1972.
- [3] Kılıcı, R.E., Antalya Liman Mahallesi'ndeki Killi Zeminin Geoteknik Özelliklerinin Belirlenmesi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 102 pp, 2005.
- [4] Uzer, A.U., Konyaaltı (Antalya) Lagün Killilerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi , Doktora Tezi, 2006.
- [5] Civalek, Ö., The Analysis of Time Dependent Deformation in RC Members by Artificial Neural Network, Journal of Engineering Science., Vol. 3 –2, pp. 331-335, 1997.
- [6] Mohamed, A.S., Mark, B.J., Holger, R.M., “Artificial neural network applications in geotechnical engineering”, Australian Geomechanics, vol 36, pp. 49-62, 2001.
- [7] Kurup, P.U., Dudani, N.K., Neural Networks for Profiling Stress History of Clays from PCPT Data, J. Geotech. and Geoenviron. Engrg, Vol 128, pp. 569-579, 2002.
- [8] Kurup, P.U., Griffin, E.P., Prediction of Soil Composition from CPT Data Using General Regression Neural Network, J. Comp. in Civ. Engrg, Vol 20, pp. 281-289, 2006.
- [9] Dipova, N., Assessment of Soil Behaviour in the Konyaaltı Region (Antalya), M.S.Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 89 ss, 1997.
- [10] Dipova, N., Geotechnical characterization and facies change detection of the Bogacay coastal plain (Antalya, Turkey) soils, Environmental Earth Sciences, DOI 10.1007/s12665-010-0575-6, 2010.
- [11] SPSS. SPSS for Windows, version 15.0. SPSS, Chicago, IL. 2006.
- [12] DATAFIT 8.2. Curve Fitting (nonlinear regression) and Data Plotting Software. <http://www.oakdaleenr.com/>

- [13] Draper, N. R., Smith, H., Applied regression analysis. 2. Ed. John Wiley & Sons Inc. NY, 1981
- [14] Ratkowsky, D. A., Nonlinear regression modelling. Marcel Dekker, 1983.
- [15] Rumelhard, S., McClelland, J.L., Parallel distributed processing. Explorations in the microstructure of cognition, vols. 1-2 . Mit Pres. Cambridge. Mass, 1986.
- [16] Lippmann , R.P., An introduction to computing with neural nets, IEEE acoustic Speech and signal processing 4 (2), 4-22, 1987.
- [17] Flood, I., Kartam, N., Neural network in civil engineering I: principles and understandings. J Comput Civil Eng, ASCE ;8(2): 131-48, 1994.
- [18] Öztemel, E., Yapay Sinir Ağları. Papatya yayıncılık, İstanbul, 232 ss, 2003.
- [19] Şen, Z., Yapay sinir ağı ve ilkeleri. Su vakfı, istanbul, 183 ss, 2004.
- [20] Yurtoğlu, H., “Yapay Sinir Ağları Metodolojisi İle Öngörü Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye Örneği” , Uzmanlık Tezi, 2005
- [21] Marquardt D.W., An algorithm for least-squares estimation of non-linear parameters. Jour. Soc.Indur. Appl. Math., 11, 4731-441, 1963.
- [22] Haykin, S., Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Macmillan College Publishing Company, New York, 1994.
- [23] Maren, A., Harston, C., Rap, R., Handbook of Neural Computing Applications, ISBN 0-12-471260-6, Academic Press, London, UK, 1990.
- [24] Nishida, Y., A brief note on the compression index of soil. Journal Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 82, p. 1-14, 1956.
- [25] Terzaghi, K. and Peck, R. B., Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley and Sons, New York, 729 p, 1967.
- [26] Azzouz, A.S., Krizek, R.J., and Corotis, R.B., Regression analysis of soil compressibility. Soils and Foundations, Vol. 16(2), p. 19-29, 1976.
- [27] Koppula, S.D., Statistical estimation of compression index. Geotechnical Testing Journal, Vol. 4-2, p. 68-73, 1981.
- [28] Herrero, O.R., Universal compression index equation; closure. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109-5, p. 755-761, 1983.
- [29] Nakase., A., Kamei, T., and Kusakabe, O., Constitutive parameters estimated by plasticity index. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 114, p. 844-858, 1988.
- [30] Yin, J.H., Properties and behaviour of Hong Kong marine deposits with different clay contents. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 36, p. 1085-1095, 1999.
- [31] Ansal, M.A., Lav, A.M., Regression Analysis of Soil Compressibility. Turk J. Engin Environ Sci. 25, 101 – 109. TUBITAK, 2001.
- [32] Demuth, H., Beale, M., Neural Network Toolbox, For Use With MATLAB. The MathWorks, Natick, 840 ss, 1992.