

## **HARRAN KİLİ ŞİŞME POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİNDE YAPAY SİNİR AĞLARI VE ÇOKLU REGRESYON MODELLERİNİN KULLANIMI**

Murat TÜRKÖZ<sup>1</sup>, Hasan TOSUN<sup>2</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, Şanlıurfa Harran ovasında 33 ayrı lokasyondan elde edilen zemin örneklerinin şişme potansiyeli, farklı yöntemlerle değerlendirilmiştir. Standart Proctor enerji seviyesinde her bir numune için ayrı ayrı belirlenen sıkışma eğrisi üzerinde optimum, optimumun ıslak (+%2) ve kuru yönündeki (-%2) su muhtevalarında sıkıştırılarak hazırlanan numunelerin şişme potansiyeli doğrudan deneylerle belirlenmiştir. Elde edilen veriler, çoklu regresyon ve yapay sinir ağları (YSA) esasında modeller oluşturularak birlikte değerlendirilmiştir. Sonuçta, killerin şişme potansiyelinin tahmininde hem YSA hem de regresyon modellerinin oldukça etkili olduğu, özellikle YSA modeli sonuçlarının deney sonuçlarına daha yakın değerler verdiği görülmüştür.

**ANAHTAR KELİMELER :** Şişen zemin, yapay sinir ağları, çoklu regresyon.

## **DETERMINATION OF SWELLING POTENTIAL OF HARRAN CLAY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND REGRESSION MODELS**

**ABSTRACT:** In this study, the values of swelling potential of soils obtained from 33 different locations at the Şanlıurfa and Harran plains in Turkey are estimated by means of different methods. Swelling potential of soil samples compacted on the optimum, wet side (+2%) and dry side (-2%) on the compaction curve at the standard compaction effort were determined by using direct methods. The data obtained from direct measurements were evaluated with multiple regression (MRA) and artificial neural network (ANN) analyses. The results showed that both MRA and ANN are very efficient in predicting clay swelling potential. Furthermore, It was noted that the ANN is superior to MRA.

**KEYWORDS :** Swelling soil, artificial neural network, multiple regression.

---

<sup>1,2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik, 26480 ESKİŞEHİR

## ***I.GİRİŞ***

Bazı kil zeminlerin su ile etkileşimde bulunarak kabarmaları, üzerinde var olan mühendislik yapılarında önemli yapısal hasarlar oluşturmaktadır. Şişen zeminler, inşaat mühendisliği yapılarında büyük hasarlara sebep olabilirler. Özellikle, birbirini izleyen yağışlı ve kurak periyotlara ve büyük yüzeysel kil çökellerine sahip bölgelerde görülen bu killer sıkışma etkisine maruz kaldıklarında çok daha fazla şişme potansiyeli değeri vermektedirler. Çok sayıda ülkede şişen zemin problemine bağlı olarak ortaya çıkan hasarlarla ilgili çalışmalar yapılmakta ve tasarım kriterleri önerilmektedir [1-6]. Ülkemizde inşa edilen hafif su yapılarında oluşan bu tip problemler, genellikle Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında yer alan sulama yapıları inşaatında yaşanmıştır [7].

Şişme ve büzülme, zeminin içsel özelliği olup, bu özelliğin direkt olarak belirlenmesinde standart bir ölçüm yöntemi bulunmamaktadır. Bu esasa, şişme davranışının değerlendirilmesinde belirli koşullar altında ölçülen zemin özelliğinin karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılır. Killerin şişme yüzdesi ve şişme basıncının birlikte değerlendirildiği şişme potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan en uygun ve en başarılı yöntem, direkt ölçümlerdir. Bu yöntemler; serbest şişme, genleşme indisi (EI), potansiyel hacim değişimi (PVC) ve ödometre deney yöntemlerinin laboratuvar şartlarında değerlendirilmesidir. Şişme potansiyeli laboratuvar deneyleri ve regresyon esaslı amprik eşitlikler kullanılarak tahmin edilebilir. Bilfiil arazi ölçümleri ve laboratuvar şişme deney sonuçlarını kullanarak geliştirilen bu eşitliklere literatürde çokça değinilmektedir. Şişme potansiyeli; kıvam limitleri, kuru yoğunluk, başlangıç su muhtevası, doygunluk ve boşluk oranı gibi şişmeyi etkileyen önemli zemin özellikleriyle ilişkilendirilir. Çizelge 1’de tipik korelasyonlar görülmektedir.

Yapay sinir ağları (YSA) örneklerden öğrenme ve genelleme yeteneğine sahip bağlantılı sistemlerdir, hatalı veya uygun olmayan girdi verileri içeren problemlerde bile anlamlı çözümler üretebilmektedirler, geoteknik mühendisliğini de içeren inşaat mühendisliği uygulamalarında birçok karmaşık problemin çözümünde kullanılmaktadır. Geoteknik mühendisliğindeki problemler, probleme neden olan faktörlerin ve olayların yeterince anlaşılabilmesi ve buna ilaveten mevcut bilgilerin bir bütün halinde değerlendirilmemesine bağlı olarak sınırlı sayıda olması, YSA’ların kullanımı için uygun bir alan oluşturmaktadır [8] .

**Çizelge 1.** Şişme potansiyelini tanımlamada kullanılan ampirik ilişkiler [2]

| Yazar                            | Denklem  |
|----------------------------------|--|
| Vijayvergiya and Ghazzaly (1973) | $\log SP = (1/12)(0.44LL - w_n + 5.5)$<br>$\log SP = (1/19.5)(6.242\gamma_d + 0.65LL - 100)$ |
| Komornik and David (1969)        | $\log Ps = -2.132 + 0.0208LL + 0.000665\gamma_d - 0.0269w_n$                                 |
| Schneider and Poor (1974)        | $\log SP = 0.9(PI/w_n) - 1.19$   |
| O'Neil and Ghazzaly (1977)       | $S = 2.77 + 0.131LL - 0.27w_n$   |
| Johnson and Snethen (1978)       | $\log S = 0.036LL - 0.0833w_n + 0.458$   |

LL = Likit limit, ondalıklı, PI = Plastisite indisi, PS = Olası şişme, Ps = Şişme basıncı kPa, SP = Şişme yüzdesi, S = Serbest şişme  $w_n$  = Doğal su muhtevası, ondalıklı,  $\gamma_d$  = Doğal kuru yoğunluk  $kN/m^3$ .

Yapay sinir ağları, genel anlamda kazık taşıma gücü, sıvılaşma, donatılı yapıların performansının belirlenmesi gibi pek çok zemin probleminde başarı ile kullanılmıştır [9-11]. Yapay Sinir Ağları yöntemi yoğun bağlantılı ve komplike işlem yapıları nedeniyle çalışabilecekleri özel ortamlara ihtiyaç duymaktadır. Bu yüzden, Yapay Sinir Ağları bu amaca yönelik olarak hazırlanmış özel yazılımlar ile bilgisayarlarda çalıştırılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Şanlıurfa Harran ovasında 33 ayrı lokasyondan elde edilen zemin örnekleri üzerinde, laboratuvar ortamında standart Proctor enerji seviyesinde her bir numune için ayrı ayrı belirlenen sıkıştırma eğrisi üzerinde optimum, optimumun ıslak (+%2) ve kuru yönündeki (-%2) su muhtevalarında sıkıştırılarak hazırlanan numunelerin şişme potansiyeli; çoklu regresyon (MR) ve yapay sinir ağları (YSA) esasında modeller oluşturularak birlikte değerlendirilmeye çalışılmıştır.

## II. ZEMİN VE MALZEME ÖZELİKLERİ

İnceleme alanında bulunan ve bu çalışmanın ilgili sahasında kalan koyu kırmızı renkli “Harran killeri”; bölgede bulunan tortul ve volkanik kayaların ayrışması ile oluşmuştur. Bölgede tortul kayalar olarak marn, kireçtaşı ve killi kireçtaşı, volkanik kayaç olarak Karacadağ volkanizması esnasında geniş bir alanı kaplayan bazalt yer

almaktadır [12]. Bölgede oluşan tektonik aktivite sonucunda bir çökelti havzası oluşmuş ve bu çökelti havzası ayrılmış malzeme ile taşınarak doldurulmuştur. Harran ve Şanlıurfa ovalarında yer alan ve birçok sulama tesisinin üzerinde inşa edildiği ayrışma taşınma ürünü malzemenin şişme potansiyelini belirlemek için, otuz üç ayrı noktadan yüzeyden 1.5-2.0 m aralığında numuneler alınmış ve bu numunelerin öncelikle tanımlama ve sınıflama özellikleri belirlenmiş, kompaksiyon karakteristikleri bulunmuş ve sonra şişme potansiyelinin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır.

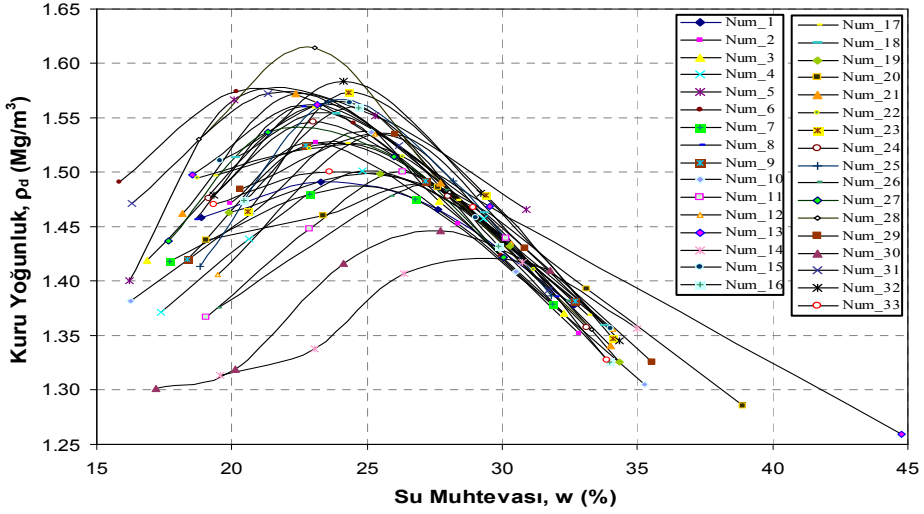
**Çizelge 2.** Tanımlama ve kompaksiyon deneyleri istatistiksel sonuçları

| Zemin Özellikleri                                  | Numune Sayısı | DEĞER    |          |          |                |
|--|---------------|----------|----------|----------|----------------|
|  |               | En küçük | En büyük | Ortalama | Standart sapma |
| <u>Tane dağılımı</u>                               |               |          |          |          |                |
| - 0.002 mm den geçen (%)                           | 33            | 30.0     | 61.0     | 45.0     | 8.0            |
| - 0.075 mm den geçen (%)                           | 33            | 71.4     | 96.2     | 89.5     | 6.0            |
| - 4.75 mm den geçen (%)                            | 33            | 84.7     | 100.0    | 97.7     | 3.7            |
| <u>Kıvam limitleri</u>                             |               |          |          |          |                |
| - Likit limit (%)                                  | 33            | 52.0     | 72.0     | 60.5     | 5.6            |
| - Plastik limit (%)                                | 33            | 25.0     | 36.0     | 29.2     | 2.4            |
| - Plastisite indisi (%)                            | 33            | 23.0     | 39.0     | 31.4     | 4.1            |
| <u>-Kompaksiyon</u>                                |               |          |          |          |                |
| -Standart proktor                                  |               |          |          |          |                |
| - $\rho_{dmaks}$ (Mg/m <sup>3</sup> ) <sup>1</sup> | 33            | 1.421    | 1.616    | 1.535    | 0.042          |
| - $w_{opt}$ (%) <sup>2</sup>                       | 33            | 21.2     | 29.4     | 24.3     | 1.79           |
| <u>Özgül gravite</u>                               | 33            | 2.72     | 2.83     | 2.78     | 0.02           |

<sup>1</sup>  $\rho_{dmaks}$  : En büyük kuru yoğunluk, <sup>2</sup>  $w_{opt}$  : Optimum su muhtevası.

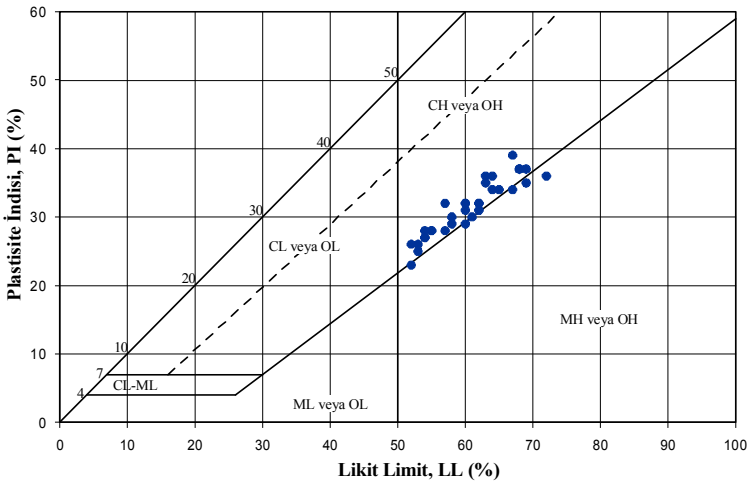
Kompaksiyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla Standart Proctor (SP) enerji seviyesinde deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda, her bir lokasyona ait numunelerin hazırlanmasında kullanılacak en büyük kuru yoğunluk ve optimum su muhtevası değerleri bulunmuştur. En büyük kuru yoğunluk ve optimum su muhtevası değerleri; sırasıyla 1.421-1.616 Mg/m<sup>3</sup> ve % 21.2-29.4 aralıklarında değişmektedir. Numunelerin tanımlama ve kompaksiyon deneyleri istatistiksel sonuçları Çizelge 2’de ve kompaksiyon eğrileri, Şekil 1’de sunulmaktadır. Çalışma alanından elde edilen veriler için tanımlama deney sonuçları istatistiksel açıdan

değerlendirildiğinde 33 numunenin likit limit değerlerinin 52 ile 72 arasında değiştiği ve ortalama değer ise 60.5 olduğu görülmektedir (Çizelge 2).



Şekil 1. Numunelerin kompaksiyon eğrileri.

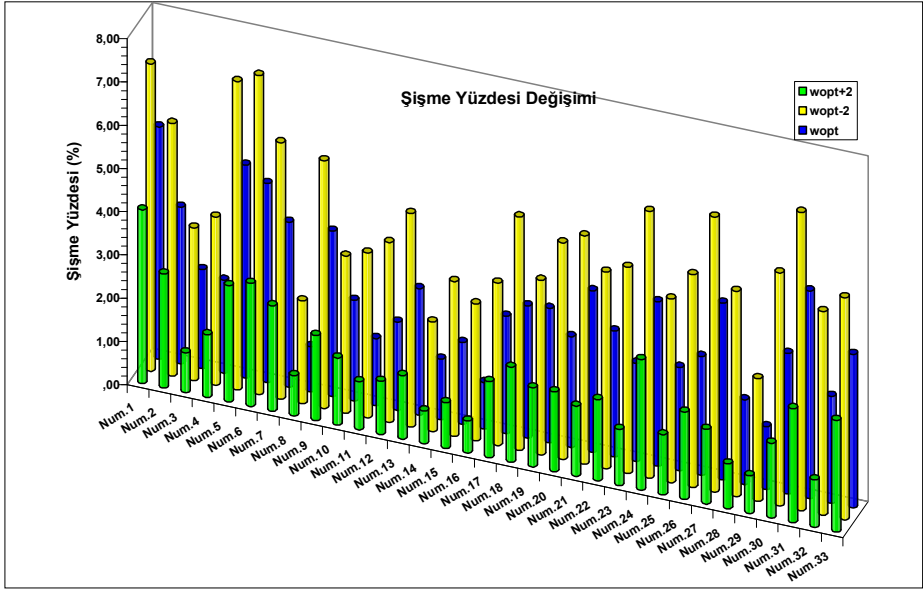
Plastisite indisi değerleri de geniş bir aralıkta değişmektedir. Temel zemini ince taneli olup, ince miktarı % 71.4 ile 96.2 aralığında yer almaktadır. Zemin numunelerinin kil yüzdesi ise, %30 ile 61 arasında bulunmaktadır. İlgili değerlerin standart sapmaları oldukça düşüktür. İlgili numuneler Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi'ne göre "yüksek plastisiteli kil (CH)" olarak tanımlanmıştır (Şekil 2).



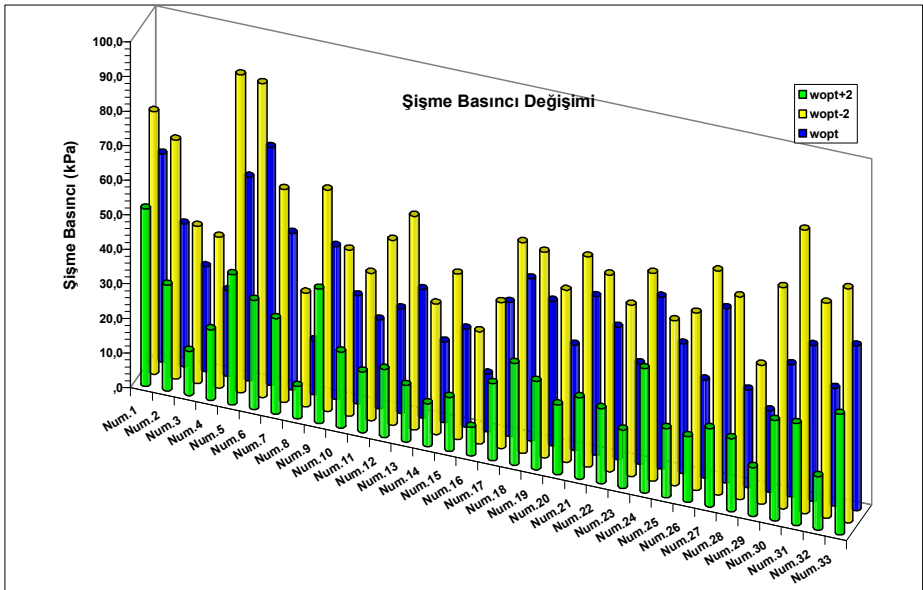
Şekil 2. Numunelerin plastisite kartındaki yeri.

### **III. ŞİŞME DENEYLERİ**

Bu çalışma kapsamında 33 ayrı lokasyona ait numune için Standart Proctor (SP) enerji seviyesinde ( $600 \text{ kJ/m}^3$ ) ve üç farklı su muhtevasında ( $w_{\text{opt}}$ ,  $w_{\text{opt}}+2$  ve  $w_{\text{opt}}-2$ ) hazırlanmış numuneler üzerinde şişme yüzdesi ve şişme basıncı deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar ortamında kompaksiyon deneyi sonucunda elde edilen optimum su muhtevası değerlerinin arazide yapılan rölatif kompaksiyon kontrolü sırasında yapılan kıyasta su muhtevası değişim aralığının  $\pm\% 2$  su muhtevası aralığında seçilmesi, şartnamelerde bu aralığın kabul edilebilir bir aralık olmasından da kaynaklanmaktadır. Şişme basıncının belirlenmesinde PVC metre ekipmanı kullanılmıştır. PVC metre deneyin esası, sıkıştırılmış zemin numunesinin ıslatılmasından sonra gelişen şişmenin engellenmesiyle oluşan şişme basıncının belirlenmesidir. Sıkıştırması yapılan ve sisteme yerleştirilen numune üzerine yük halkası kolu numune üzerine gelecek şekilde yerleştirilir. Numune suya boğulur ve belirli aralıklarla yük halkasından değer okunur. Yük halkasından okunan değer, kalibrasyon eğrisi kullanılarak veya yük halka faktörüyle çarpılarak birimi bilinen yüke çevrilir. Yükün numune alanına bölünmesiyle basınç değeri elde edilir. Şişme potansiyelinin önemli bir diğer değişkeni olan şişme yüzdesi, 7 kPa basınç altında suya boğulan numunenin 24 saat veya şişme tamamlanana kadar gelişen nihai deformasyonun, numunenin başlangıç boyuna oranı olarak tanımlanır. Bu esasa, şişme potansiyeli değişkenlerinin aynı çap ve yükseklikteki numuneler üzerinde yapılmasına olanak sağlamak ve karşılaştırmanın anlamlı olması için genleşme indisi (EI) ölçüm ekipmanı dönüştürülmüştür. 7 cm çapında ve 2 cm yüksekliğinde ince cidarlı halka içine alınan numunelerin üzerine 7 kPa'lık basınç oluşturacak ağırlık imal edilmiştir. Numunelerin suya boğulmasından hemen sonra, farklı zaman aralıklarında (0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 60, 120, 240, 360 ve 1440 dakika) şişme yüzdesi ve şişme basıncı değişimleri ölçülmüştür. Çalışma kapsamında, 33 ayrı lokasyonda ve her lokasyonda üç ayrı başlangıç su muhtevasında olmak üzere toplam 99 numune kullanılmıştır. Sıkıştırma koşullarına bağlı olarak şişme yüzdesi ve şişme basıncındaki değişimlerin dağılımları Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmektedir. Şişen zeminlerin tanımlama ve sınıflama deneylerinden elde edilen parametreler; değişik kombinasyonlar halinde yarı deneye dayalı veya tamamen istatistik esaslı ampirik ilişkileri kapsar. Diğer özelliklerine oranla kolay belirlenebilen kuru yoğunluk,



**Şekil 3.** Şişme yüzdesi değerlerinin lokasyon ve sıkıştırma koşullarına göre dağılımı.



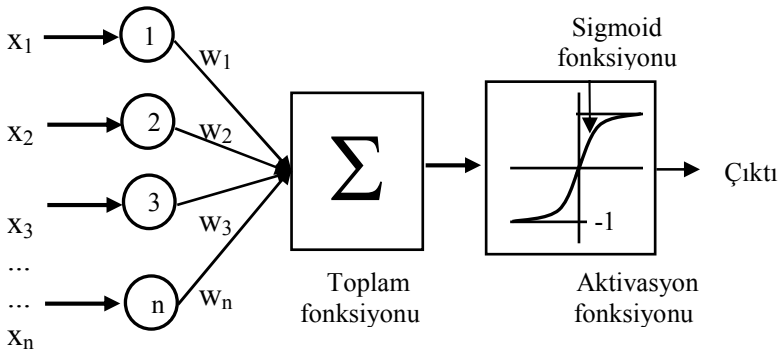
**Şekil 4.** Şişme basıncı değerlerinin lokasyon ve sıkıştırma koşullarına göre dağılımı.

başlangıç su muhtevası ve plastisite indisi değerlerinden yararlanarak sıkıştırılmış numuneler üzerinde şişme potansiyelinin tahmininde kullanılan çoklu regresyon ve yapay sinir ağları modelleri ile birlikte tanımlamaya çalışılmıştır.

#### IV. YAPAY SİNİR AĞLARI VE REGRESYON ANALİZİ

Yapay sinir ağları (YSA), insan sinir hücrelerinin çalışmasına benzeyen algoritmalarlardır. Oldukça basit ve küçük boyuttaki YSA, insan beyniyle karşılaştırıldığı zaman bile, insan beynine benzerliğinden dolayı bilgi ve bilgi işlemede birtakım güçlü özelliklere sahiptir. Bu yüzden, YSA mühendislik uygulamalarında güçlü bir araç olabilmektedir. YSA üzerindeki ilk çalışmaların 1943 yılında başladığı kabul edilir. Yapay sinir ağı tanımı ilk olarak Şekil 5'deki gibi yapılarak bir hücre modeli geliştirilmiştir [13]

Bir yapay sinir hücresi; girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere beş ana kısımdan oluşmaktadır. Girdiler, diğer hücrelerden ya da dış ortamlardan hücreye giren bilgilerdir. Ağırlıklar, girdi seti veya kendinden önceki tabakadaki başka bir işlem elemanının bu işlem elemanı üzerindeki etkisini ifade eden değerlerdir. Toplama fonksiyonu, girdiler ve ağırlıkların tamamının bu işlem elemanına etkisini hesaplayan bir fonksiyondur. Bu fonksiyon, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplar [13]. Girdi bileşenlerindeki ağırlıkların tümü ( $net_j$ ); Denklem 1 kullanılarak toplanır [14].



Şekil 5. Basit bir nöron modeli.



$$(net)_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i + b \quad (1)$$

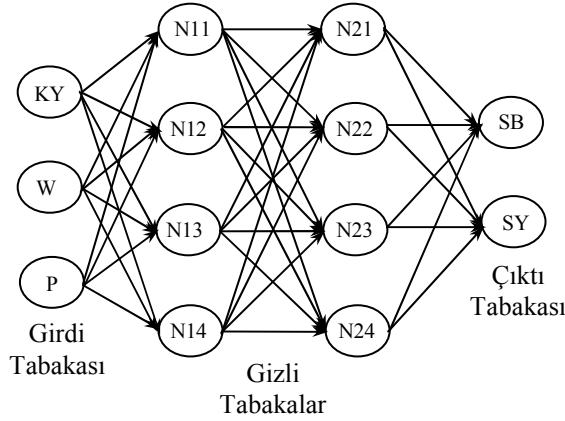
Genel olarak çok tabakalı algılayıcı modellerde aktivasyon fonksiyonu ( $f(.)$ ) olarak sigmoid fonksiyonu kullanılır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılarak hesaplanan sinir hücresinin çıktısı Denklem 2'deki gibi gösterilmektedir [15].

$$(out)_j = f(net)_j = \frac{1}{1 + e^{-\alpha(net)_j}} \quad (2)$$

Sigmoid işlemcisi, sürekli bir fonksiyonu gösterdiğinden dolayı özellikle doğrusal olmayan tasvirlerde kullanılır. Bunun nedeni,  $(net)_j$  değişkeni bünyesinde bulunan parametrelere göre türevinin kolayca alınabilmesidir [15]. Yapay sinir ağları özel denklem biçimi gerektirmeyip, bunun yerine yeterli girdi-çıkı verisine ihtiyaç duyar.

#### ***IV.1. Yapay Sinir Ağı Modeli***

Bu çalışma kapsamında kullanılan sıkıştırılmış numunelere ait 99 adet deney sonucu, YSA modelindeki işlemlerde dikkate alınmıştır. 74 deney verisi eğitim için 25 deney verisi de model testinde kullanılmıştır. Kuru yoğunluk (KY), su muhtevası ( $w$ ) ve plastisite indisi (PI) olmak üzere toplam 3 özellik modelin giriş katmanında, şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerleri modelin çıkış katmanında dikkate alınmıştır. YSA modelinde Şekil 6'da görüldüğü gibi iki adet gizli katman seçilmiştir. Birinci katmanda 4 ve ikinci katmanda yine 4 hücre belirlenmiştir. Gizli tabaka ve çıkış tabakasındaki hücre çıkışlarında doğrusal olmayan sigmoid fonksiyonu, ileri beslenmeli iki gizli tabakalı geri yayılma eğitim algoritması kullanılmıştır. Momentum oranı ve öğrenme oranı değerleri bulunarak iterasyonlarla model eğitilmiştir.



**Şekil 6.** YSA modelinde kullanılan sistem.

Eğitilen model, sadece girdi değerleriyle test edilmiş ve deney sonuçlarına yakın değerler bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan parametre değerleri aşağıdaki gibidir:

- Girdi tabakası birim sayısı = 3
- Gizli tabaka sayısı = 2
- Birinci gizli tabaka birim sayısı = 4
- İkinci gizli tabaka birim sayısı = 4
- Çıktı tabakası birim sayısı = 2
- Momentum oranı = 0.85
- Öğrenme oranı = 0.70

#### **IV.2. Çoklu Regresyon Analizi**

İstatistiksel eşitlikler açısından değerlendirildiğinde, deneysel çalışma sonunda elde edilen parametrelerin şişme potansiyeli üzerindeki etkisini değerlendirmek, tek tek parametreler değerlendirildiğinde oldukça karmaşık bir hal alır. Bu anlamda, korelasyon ve regresyonun en önemli avantajı, bağımsız değişkenlerin toplu etkisini göstermesi yanında, diğer değişkenler kontrol altında tutularak, her değişkenin etkisinin de tek tek görülebilir olmasıdır [16].

Regresyon modelinin açıklayıcı gücünün göstergesi olması ve doğrusal modelin uyum iyiliğinin en yaygın ölçüm biçimi olan tanımlayıcılık katsayısı  $R^2$  değerleri, ayrı ayrı eşitlikler bazında Çizelge 3’de verilmektedir. Bir başka ifade ile, şişme yüzdesi ve şişme basıncı değişkeni ile diğer değişkenler arasında kuvvetli bir doğrusal ilişki mevcuttur. Çoklu regresyonun uygunluğunun bir diğer kontrolü de bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmasıdır. Bu amaçla

bağımlı ve bağımsız değişkenlerin serpm grafikleri oluşturularak ilişkinin bir eğri olup olmadığı incelenmiş ve doğrusallık varsayımının sağlandığı görülmüştür. Güven aralıkları, oluşturulan modeller açısından ayrı ayrı değerlendirildiğinde regresyon katsayılarının %95 güven aralığında ve 0.05'lik önem seviyesinde kaldığı belirlenmiştir.

**Çizelge 3.** Sıkıştırılmış numuneler için geliştirilen eşitlikler

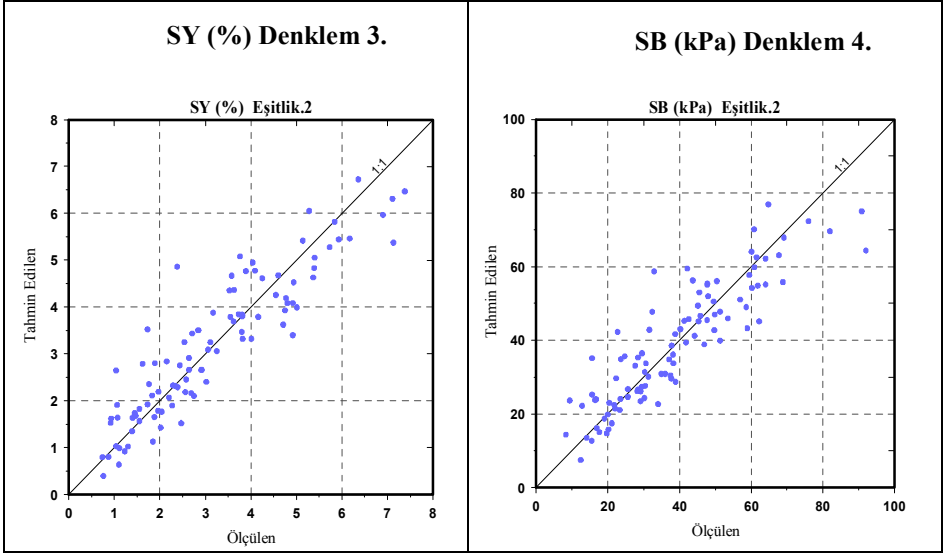
| Denklemler no | Eşitlik   | Korelasyon Katsayısı ( $r^2$ ) |
|---------------|---|--------------------------------|
| 3             | $SY = -17.6 + 0.089PI + 54.744 \frac{1}{\rho_d} - 0.741w_n$     | 0.83                           |
| 4             | $SB = -156.904 + 0.845PI + 555.480 \frac{1}{\rho_d} - 8.047w_n$ | 0.79                           |

SY: şişme yüzdesi (%), SB: şişme basıncı (kPa),  $w_n$ : başlangıç su muhtevası (%),  $\rho_d$ : kuru yoğunluk ( $Mg/m^3$ ), PI: plastisite indisi(%).

Birçok araştırmacı şişme potansiyelinin değerlendirilmesinde en az üç parametrenin gerekli olduğunu düşünmüştür. Bir araştırmada 200 numune kullanarak yapılan istatistiksel esaslı çalışma sonucunda şişme basıncının tahmininde kullanılmak üzere doğal su muhtevası, kuru yoğunluk ve likit limit parametrelerine dayalı bir model türetilmiştir (Çizelge 1) [17]. Bu çalışmada, kuru yoğunluk, doğal su muhtevası ve plastik limit için üretilen ilişkinin (Çizelge 3) nispi olarak yüksek korelasyon katsayısı verdiği belirtilmelidir.

## V. TARTIŞMA

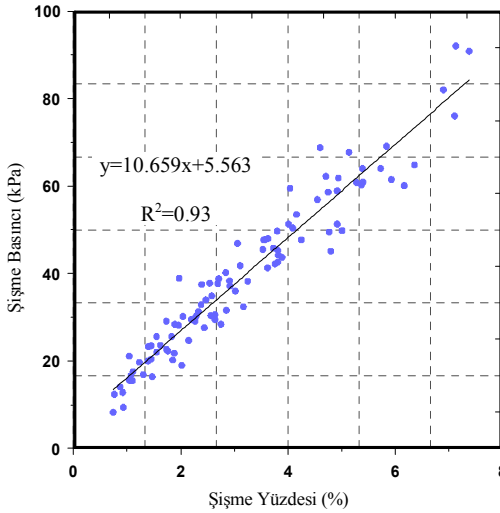
Plastisite indisi, kuru yoğunluk ve başlangıç su muhtevasının şişme potansiyeli üzerindeki etkileri, yapılan literatür çalışmalarında öncelikli olarak dikkate alındığından, bu çalışma için hem regresyon, hem de YSA modellerinde karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Sıkıştırılmış numuneler için çoklu regresyona dayalı eşitlikler Çizelge 3'de, bu eşitliklerden bulunan grafiksel sonuçlar ise Şekil 7'de sunulmaktadır. Şekil 7'de sıkıştırılmış numunelerde ölçülen ve tahmin edilen tüm değerlerin geniş bir aralıkta birbirini doğruladığı görülmektedir.



(SY: Sıkıştırılmış numunelerin şişme yüzdesi), (SB: Sıkıştırılmış numunelerin şişme basıncı)

**Şekil 7.** Şişme yüzdesi ve şişme basıncı için geliştirilen modeller üzerinde gözlenen ve tahmin edilen değerler.

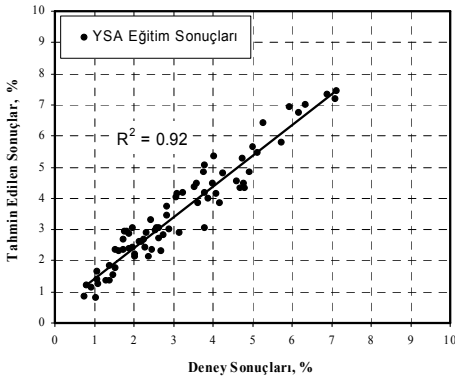
Şişme yüzdesi-şişme basıncı ilişkilerinde kontrollü olarak hazırlanan sıkıştırılmış numunelerdeki uyum, yüksek ve anlamlı seviyede gözlenmektedir. Şişme yüzdesi ve şişme basıncı arasındaki ilişki; sıkıştırılmış numuneler için Şekil 8'de sunulmaktadır.



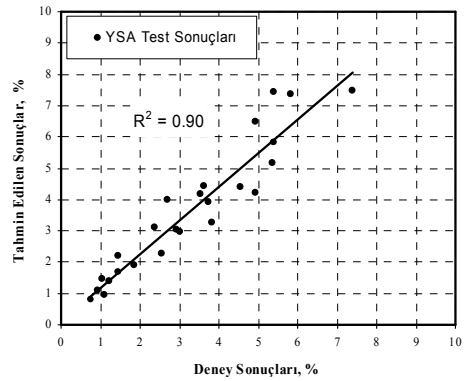
**Şekil 8.** Sıkıştırılmış numuneler esasında şişme yüzdesi - şişme basıncı ilişkisi.

Çizelge 4. YSA modelinin test sonuçlarının karşılaştırması

| Şişme Yüzdesi (%) |           |              |           | Şişme Basıncı (kPa) |           |              |           |
|-------------------|-----------|--------------|-----------|---------------------|-----------|--------------|-----------|
| Deney Sonucu      | YSA Model | Deney Sonucu | YSA Model | Deney Sonucu        | YSA Model | Deney Sonucu | YSA Model |
| 5.37              | 5.15      | 5.40         | 5.84      | 60.2                | 59.9      | 60.9         | 65.5      |
| 5.84              | 7.38      | 1.85         | 1.89      | 69.1                | 87.6      | 20.2         | 26.5      |
| 1.45              | 1.68      | 3.73         | 3.93      | 20.4                | 24.0      | 45.8         | 50.0      |
| 4.92              | 4.21      | 4.55         | 4.40      | 58.9                | 53.4      | 56.9         | 55.1      |
| 7.38              | 7.49      | 3.02         | 2.96      | 90.8                | 95.0      | 36           | 38.3      |
| 0.93              | 1.08      | 2.39         | 3.10      | 9.4                 | 16.8      | 37.5         | 40.0      |
| 3.82              | 3.27      | 4.92         | 6.49      | 44.2                | 41.6      | 51.3         | 70.8      |
| 3.63              | 4.45      | 1.04         | 1.46      | 48                  | 55.3      | 21.1         | 21.4      |
| 1.23              | 1.40      | 1.45         | 2.19      | 19.7                | 20.8      | 23.5         | 29.8      |
| 2.92              | 3.05      | 5.39         | 7.44      | 37.1                | 38.9      | 64           | 90.8      |
| 2.54              | 2.28      | 1.10         | 0.95      | 37.8                | 30.6      | 15.5         | 15.3      |
| 0.74              | 0.79      | 3.55         | 4.19      | 8.3                 | 13.2      | 47.7         | 52.5      |
| 2.71              | 3.99      |              |           | 38.8                | 50.2      |              |           |

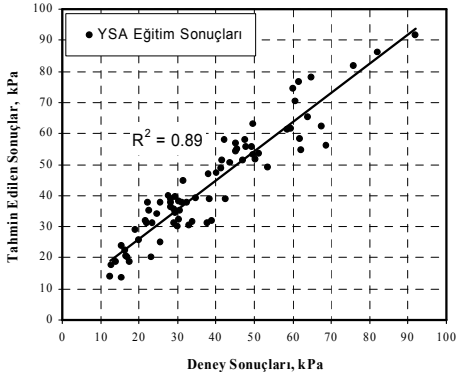


(a)

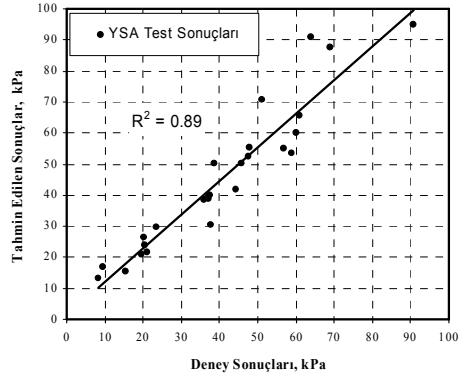


(b)

Şekil 9. Şişme yüzdesi deney sonuçlarının YSA (a) eğitim ve (b) test sonuçlarıyla karşılaştırması



(c)



(d)

**Şekil 10.** Şişme basıncı deney sonuçlarının YSA (c) eğitim ve (d) test sonuçlarıyla karşılaştırması

Çizelge 4’ de şişme yüzdesi, şişme basıncı için YSA modelinin test aşamasında kullanılan deney verileri ve modellerden elde edilen tahmini değerlerin karşılaştırılması verilmektedir. Zemin numunesinin üç fazlı bir malzeme olması ve tüm değişkenlerin aynı anda kontrolünün mümkün olmaması ve dolayısıyla mevcut olan belirsizlikler, hata değerlerinin geniş bir aralıkta bulunmasıyla kendini göstermektedir. Sıkıştırılmış numuneler açısından bakıldığında, çoklu regresyona kıyasla YSA modeli, hem eğitim hem de test aşamalarında nispeten daha yüksek korelasyon değerleri vermiştir (Şekil 9 ve 10). Kuru yoğunluğa, su muhtevasına ve plastisite indisi değişkenlerine bağlı olarak yapılan, şişme yüzdesi tahmini için geliştirilen modellerde çoklu regresyonda  $R^2=0.83$ , YSA modelinde sırasıyla; eğitimde  $R^2=0.92$  testte  $R^2=0.90$  ve şişme basıncı tahmini için geliştirilen modellerde ise; çoklu regresyonda  $R^2=0.79$ , YSA modeli için sırasıyla; eğitimde  $R^2=0.89$  testte  $R^2=0.89$  olarak belirlenmiştir. Bu veriler, şişme potansiyelinin tahmininde anlamlı seviyede korelasyon sonuçlarına ulaşıldığını göstermektedir.

## VI. SONUÇ

Bu çalışmada, yüksek plastisiteli kil zeminlerin şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerleri değişik yöntemlerle belirlenmiş, bu veriler üzerinde bazı fiziksel parametrelerin etkisi incelenmiş, ilgili parametrelere bağlı ilişkiler oluşturulmaya çalışılmış ve çoklu regresyon ve yapay sinir ağları ile değerlendirmeler yapılarak mukayeseli bir analiz gerçekleştirilmiştir;

- i. Şişme yüzdesi ve şişme basıncı için YSA modeli ile yapılan analizde, ölçülen değerler ile tahmin edilen değerler arasında mutlak hataların olduğu görülmektedir. Zeminin üç fazlı bir malzeme oluşu ve tüm değişkenlerinin aynı anda kontrolünün olmayışı ve dolayısıyla mevcut olan belirsizlikler hata dağılımının geniş bir aralıkta kalmasına neden olmuştur. Ancak sıkıştırılmış numuneler için YSA modelleri, çoklu regresyona göre nispeten daha yüksek korelasyon değeri vermektedir.
- ii. Zeminin şişme potansiyeli için başlangıç su muhtevasının önemli bir parametre olduğu ortaya çıkmaktadır.
- iii. Bu çalışma kapsamında sıkıştırılmış örnekler üzerinde yapılan deney sonuçlarına bağlı olarak şişme yüzdesi ile şişme basıncı arasında doğrusal bir ilişkinin varlığı, ilaveten bu ilişkinin küçük değerlerde nispi olarak daha yüksek korelasyona sahip olduğu belirtilmelidir.

## ***VII. KATKI BELİRTME***

Bu çalışma 1. yazarın Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde tamamlamış olduğu doktora tez çalışmasının bir bölümünü kapsamaktadır. Çalışma, DPT tarafından 2004K120770 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

## ***KAYNAKLAR***

- [1] J.C., Parker, D.F., Amos and D.L., Kaster, "An evaluation of several methods of estimating soil volume change", *Soil Science Society of America Journal*, Vol.41, pp.1059-1064, 1977
- [2] F.H., Chen, "*Foundation on Expansive Soils*", Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 1988.
- [3] A.A.,Basma, A.S., Al-Hamoud, and A., Husein, "Laboratory assessment of swelling pressure of expansive soils", *Applied Clay Science* 9, pp.355-365, 1995.
- [4] W.S., Abdullah, K.A., Alshibli, and M.S., Al-Zou'bi, "Influence of pore water chemistry on the swelling behavior of compacted clays", *Applied Clay Science*, 15, pp.447-462, 1999.
- [5] A.A., Al-Rawas, R., Taha, J.D., Nelson, T.B., Al-Shap, and H., Al-Siyabi, "A comparative evaluation of various additives used in the stabilization of expansive soils", *Geotechnical Testing Journal*, GTJODJ, Vol. 25, No.2, pp. 199-209, 2002.

- [6] Y., Du, S., Li, and S., Hayashi, "Swell–shrinkage properties and soil improvement of compacted expansive soil, Ning-Liang Highway, China", *Engineering Geology*, 53 , pp.351-358, 1999.
- [7] H., Tosun, M., Türköz, İ., Zorluer, ve A., Arslan, "Sıkışma kontrolü ile şişme potansiyelinin önlenmesi ve Harran killlerinde (V.kısım) yapılan uygulamalar", 3.GAP Mühendislik Kongresi, Bildiriler Kitabı, s.425-432, 24-26 Mayıs 2000, Şanlıurfa.
- [8] Y. E.-A., Mohamedzein, R., Ibrahim, and A., Alsanosi, "Prediction of swelling pressure of expansive soils using Neural Networks", *Expansive Soils: Recent advances in characterization and treatment*, Ed. Al-Rawas, A.A.,and Goosen,F.A., Chapter 17, pp.245-256, 2007.
- [9] A. T. C., Goh, "Empirical design in geotechnics using neural networks." *Geotechnique*, 45(4), pp.709-714, 1995b.
- [10] A. T. C., Goh, K. S., Wong, and B. B., Broms, "Estimation of lateral wall movements in braced excavation using neural networks." *Canadian Geotech. J.*, 32, pp.1059-1064, 1995.
- [11] Y. M., Najjar, and H. E., Ali, "CPT-based liquefaction potential assessment: A neuronet approach." *Geotechnical Special Publication*, ASCE, 1, pp.542-553, 1998.
- [12] H. TOSUN, "Hafif su yapıları açısından sızan killerin önemi ve bir uygulama" *Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Dergisi*, sayı:14, s:94-109, 1992.
- [13] J.A, Anderson, "Cognitive and psychological computation with neural models", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, V.SMC-13, pp:799-814, 1983.
- [14] S.W., Liu, J.H., Huang, J.C., Sung, and C.C., Lee, "Detection of cracks using neural networks and computational mechanics", *Computer Methods in Applied Mechanics Engineering* ;191, pp.2831-2845, 2002.
- [15] J.J., Hopfield, "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 79, pp.2554-2558, 1982.
- [16] P.J., Thomas, J.C., Baker, L.W., Zelazny, and D.R.,Hatch, "Relationship of map unit variability to shrink-swell indicators", *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Vol.64, pp. 262-268, 2000.
- [17] A., Komornik, and D., David, " Prediction of swelling pressure of clays", *Journal of SMFE Div.*, ASCE, Vol. 95, No. SM1, pp. 209-225, 1969.