

KABA DANELİ ZEMİNLERİN SÜKUNETTEKİ TOPRAK BASINCI KATSAYISININ HESAPLANMASINDA YENİ BİR YAKLAŞIM:YAPAY SİNİR AĞLARI

Ş. Sağıroğlu

*Erciyes Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü,
Kayseri 38039, Türkiye*

H.B. Kara

*Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Kayseri 38039, Türkiye*

E. Uncuoğlu

*Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Kayseri 38039, Türkiye*

ÖZET: Sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_0 , arazideki yatay efektif gerilme değerinin düşey efektif gerilme değerine oranı olarak tanımlanır. Yapılmış olan bu çalışmada K_0 katsayısı yapay sinir ağları yöntemi ile bulunmaya çalışılmıştır. Literatürde mevcut deneysel çalışmalara ait veriler ile Çok Katlı Perseptron (ÇKP) ağlar geriyayılım öğrenme algoritması kullanılarak eğitilmiş ve yatay efektif gerilmenin (σ'_h) bulunması için bir YSA modeli oluşturulmuştur. Sonuç olarak giriş verisi olarak kullandığımız σ'_v değerlerine karşı elde edilen σ'_h değerlerinin birbirine oranı K_0 katsayısını verecektir. Elde edilen sonuçlar literatürde mevcut deneysel sonuçlarla uyumluluk içersindedir.

Anahtar Kelimeler: Sükunetteki toprak basıncı katsayısı, Yatay efektif gerilme, Geriyayılım Algoritması, Yapay Sinir Ağları, Çok Katlı Perseptronlar.

ABSTRACT: The coefficient of earth pressure at rest, K_0 , is defined as the ratio of the lateral effective stress to vertical effective stress in situ. The purpose of this paper is to find the value of K_0 with the help of artificial neural network (ANN) approach. Data sets obtained from experimental studies were used to establish a model based on ANN. Multilayered perceptrons (MLPs) architecture were used to train by backpropagation algorithm. K_0 is then finally obtained from the ratio of the lateral effective stress to the vertical effective stress. The results obtained by using this new method are in very good agreement with the experimental studies reported elsewhere.

Keywords: Coefficient of Earth Pressure At Rest, Lateral Effective Stress, Multilayered Perceptrons, Backpropagation, Artificial Neural Network.

1. Giriş

Mühendislikte malzemelerin hangi gerilme değerleri altında plastik hale geçeceğinin veya kırılacağıın bilinmesi önemlidir. Yapıların ve tabii formasyonların altındaki belli noktalarda yapılardan ve formasyonlardan kaynaklanan gerilme değerlerinin bilinmesi zeminin o noktadaki deformasyonu ve kırılma ihtimalinin hesaplanması için gereklidir. Diğer bir deyişle zeminlerdeki gerilmenin arazideki durumunun net olarak bilinmesi birçok geoteknik problemin son derece basit ve güvenilir bir şekilde çözümlenmesine yardımcı olacaktır. Düşey gerilme değerinin arazideki durumu bir zemin profili yardımıyla kolaylıkla belirlenebilir (Hatanaka, 1996). Buna karşılık arazideki yatay jeostatik gerilmenin tam anlamıyla belirlenmesi; konsolidasyon süresince boşaltma ve yeniden yükleme mekanizmaları dışında mekanik aşırı konsolidasyon, sünme, çimentolanma, fiziksel ve kimyasal değişimler gibi σ'_h üzerinde etkili olan mekanizmalardan çok az bir bölümünün anlaşılması, bir zemin grubunun jeolojik geçmişi boyunca birden çok aşırı konsolidasyon mekanizmasına maruz kalması, zemin kütlelerine etkiyen çok küçük bir yatay deformasyonun bile geçerli durumdaki σ'_h değerini ciddi ölçüde değiştirmesi gibi sebeplerden dolayı son derece zordur (Fioravante, 1998).

Sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_0 , arazideki yatay efektif gerilme değerinin düşey efektif gerilme değerine oranından bulunur. Yatay efektif gerilme değerinin bulunmasında yaşanan zorluklardan dolayı K_0 katsayısının bulunması da geoteknik mühendisliğin uzun yıllardan beri çözüme kavuşturmaya çalıştığı konulardan birisi olmuştur (Özer, 2001). Günümüzde K_0 katsayısı; Uygulanabilirliği normal konsolide zeminlerle sınırlı olan teorik ilişkiler, çoğunlukla kohezyonlu zeminlere uygulanabilen laboratuvar deneyleri, laboratuvar tanımlanmış aşırı konsolidasyon oranı ile Jacky'nin normal konsolide zeminlerde bu katsayısının tanımlanmasına yardımcı olan formülünün birleştirilmesi ile elde edilmiş olan deneysel ilişkiler, ve arazi deneyleri ile bulunmaya çalışılmaktadır (Fioravante, 1998).

Kullanılan laboratuvar tekniklerinin karmaşık deney prosedürleri olması, yüksek nitelikli örselenmemiş numuneler gerektirmesi, pahalı deney aletlerine ihtiyaç duyulması ve uzun zaman gerektirmesi gibi dezavantajları mevcuttur. Bununla birlikte arazi deneylerinin pahalı ve yorucu olmasının yanı sıra kullanılan aletlerin zeminde oluşturduğu örselenmelerin engellenememesi ve yapan kişinin bilgi ve tecrübesinin sonuçları etkilemesi de bu yöntemlerin dezavantajı olmuştur. Diğer zemin parametreleri cinsinden hala uygun bir matematiksel bir fonksiyon olarak ifade edilememesine karşın K_0 katsayısı zemin dokusu, dayanımı ve gerilme tarihçesinin kompleks bir fonksiyonu durumundadır (Edil, 1981).

Yapay sinir ağları (YSA), öğrenme ve genelleme kabiliyeti, hızlı hesaplama yapabilme, problemlere kolay adapte edilebilme, karmaşık ve çözülmesi zor problemlere kolaylıkla uygulanabilmeleri, donanım olarak gerçekleştirilebilme gibi özellikleri ile son yıllarda birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır (Haykın 1994). Yapay sinir ağları yöntemi arazi tanımlanması, zemin ve kaya sınıflandırılması, temeller, dayanma yapıları, şevler, tünel ve galeriler, sıvılaşma ve zemin iyileştirilmesi gibi birçok geoteknik konuda başarı ile uygulanmışlardır (Toll, 2000). Bu çalışmada belirlenmesi zor olan K_0 katsayısını bulmak için bir YSA model oluşturulmuştur. Oluşturulan YSA modeli ile yukarıda belirtilen dezavantajların bazıları kolaylıkla elimine edilebilecektir.

Bu çalışmada literatürde mevcut olan iki farklı deneysel veriler kullanılmıştır. Yapılmış olan ödometre deneylerinde kullanılan kaba daneli malzemelere ait olan dane birim hacim ağırlığı, relatif sıklık, D_{60} ve D_{10} dane çapları, danelerin minerolojik özellikleri, dane şekli ve küresellikleri ve malzemelere uygulanan efektif düşey gerilme değerleri ağ yapısına giriş verileri olarak uygulanmış ve sistemin eğitilmesi sonucu her bir düşey efektif gerilme değerine karşılık gelen efektif yatay gerilme değerleri bulunmaya çalışılmıştır. K_0 katsayısının zemin parametreleri ile olan bu ilişkisi yaptığımız çalışmada modellenmiştir. Zemin parametreleri yardımıyla öncelikle yatay gerilme değeri bulunmuş ve buna bağlı olarak da K_0 katsayısı hesaplanmıştır.

2. Yapay Sinir Ağları

Literatürde mevcut bir çok YSA yapısı mevcuttur (Haykin 1994). Çok katlı perseptronlar (ÇKP) uygulamalarda en çok kullanılan yapıdır (Haykin 1994). Temel bir ÇKP, üç ana kattan oluşur: Giriş katı, çıkış katı ve gizli kattır. Giriş katındaki işlem elemanları veya nöronlar, sadece giriş sinyali x_i 'nin, gizli kattaki nöronlara dağıtılmasını sağlayan tampon görevini yaparlar. Gizli katta bulunan herbir j indisli işlem elemanı; x_i giriş sinyalini, giriş katından w_{ji} ağırlıkları ile çarptıktan sonra toplar ve toplamın bir f fonksiyonu olarak y_i çıkışını aşağıdaki gibi hesaplar.

$$y_i = f(\sum w_{ji} x_i) \quad (1)$$

Burada f , sigmoidal veya hiperbolik tanjant fonksiyonu gibi basit bir eşik fonksiyonu olabilir. Çıkış katındaki nöronların çıkışları da benzer şekilde hesaplanır. Bir ağı eğitme işlemi, değişik öğrenme algoritmalarını kullanarak ağı ağırlıklarının ayarlanması ile oluşur. Öğrenme algoritması, i ve j . nöronlar arasındaki bağlantının ağırlığındaki $\Delta w_{ji}(k)$ değişimini verir. Bu çalışmada yapay sinir ağlarını eğitmede kullanılan BP algoritması kullanılmıştır. Geriyayılım algoritması (Haykin 1994), dereceli azalan ve ÇKP'leri öğretmede çok kullanılan temel bir öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritma ile, i ve j kat nöronları arasındaki ağırlık ifadesi olan $\Delta w_{ji}(k)$ değişikliği hesaplanır. Bu ifade,

$$\Delta w_{ji}(k) = \alpha \delta_j x_i + \beta \Delta w_{ji}(k-1) \quad (2)$$

olarak verilir. Eşitlik (2)'de α öğrenme katsayısı, β momentum katsayısı ve δ_j ara veya çıkış katındaki herhangi bir j nöronuna ait bir faktördür. Çıkış katı için bu faktör aşağıdaki şekilde verilir.

$$\delta_j = \frac{\partial f}{\partial \text{net}_j} (y_j^t - y_j) \quad (3)$$

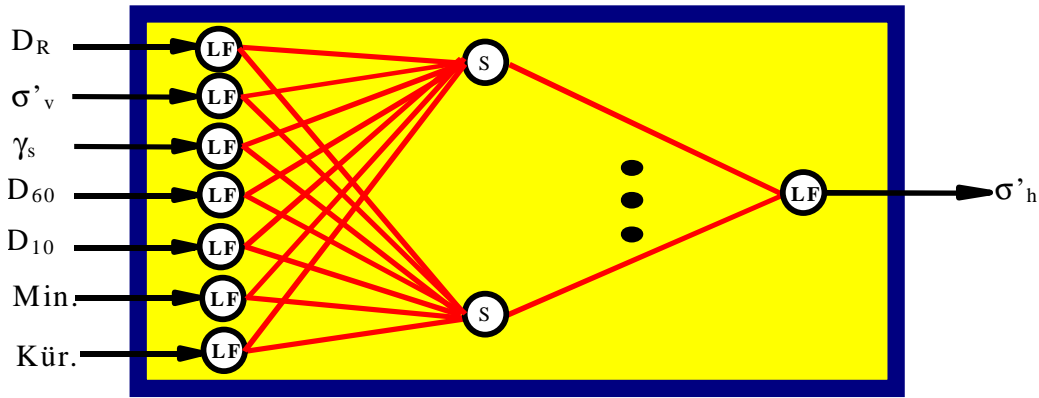
Burada, $\text{net}_j \equiv \sum x_i w_{ji}$ ve y_j^t ise j nöronunun hedef çıkışıdır. Ara katlardaki nöronlar için ise bu faktör,

$$\delta_j = \left(\frac{\partial f}{\partial \text{net}_j} \right) \sum_q w_{qj} \delta_q \quad (4)$$

olarak verilir. Ara katlardaki nöronlar için herhangi bir hedef çıkış olmadığından, (3) nolu eşitlik yerine (4) nolu eşitlik kullanılır. Bu duruma bağlı olarak çıkış katından başlayarak δ_j faktörü, bütün katlardaki nöronlar için hesaplanır. (2) nolu eşitliğe bağlı olarak bütün bağlantılar için ağırlıkların güncelleştirilmesi böylece gerçekleştirilir.

3. YSA ile K_0 hesabı

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen K_0 katsayısının hesaplanmasında kullanılan YSA modeli Şekil 1'de verilmiştir. Şekilde LF ile gösterilen daireler lineer aktivasyona sahip nöronlar S ile gösterilen daireler ise sigmoid aktivasyon fonksiyonuna sahip nöronlardır. 7 giriş bir çıkıştan oluşan bu model geri yayılım öğrenme algoritmasıyla eğitilmiştir. Bu algoritmayı seçmemizin sebebi, iyi bilinen ve başlangıç için iyi bir algoritma olmasıdır. Bu uygulama ile ilgili diğer detaylar alt birimlerde açıklanmıştır.



Şekil 1. YSA ile modelleme

3.1. Deneysel çalışmalar ve YSA için veri elde etme

Yapmış olduğumuz çalışmada kullanmış olduğumuz deneysel veriler daha önce bu konu ile ilgili olarak yapılmış olan deney sonuçlarından elde edilmiştir (Sağlamer (1973), Özer (2001)). Sağlamer (1973), sükunetteki toprak basıncı katsayısına dane çapı, dane şekli, relatif sıkılık ve gerilme tarihçesinin etkisini incelemiş ve bu amaçla havada kurutulmuş, dane çapları, dane şekilleri ve minerolojik bileşimleri farklı olan dört cins kum örneği üzerinde yanal genişlemesiz ödometre deneyleri yapmıştır. Böylelikle normal yükleme, kabarma ve tekrar yükleme çevrimlerinde sükunetteki toprak basıncı katsayısının zeminin mekanik parametrelerine olan bağımlılığını araştırmıştır. İki tanesi ödometre ringinin yan yüzlerine ve birisi de ring tabanının merkezine olmak üzere yerleştirdiği üç kuvars basınç kristali yardımıyla yatay gerilmeleri doğrudan ölçmüş ve uygulanan düşey gerilme ile buna karşılık elde edilen yatay gerilme arasındaki ilişkiyi kurmuştur. Sükunetteki toprak basıncı katsayısının laboratuarda tayin edilmesinde güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için gerekli olan ve Shmidt tarafından tanımlanan deney şartlarına bu çalışmalarda uyulmuştur. Sükunetteki toprak basıncı durumunun aktif toprak basıncı durumuna dönüşmesi için 10^{-3} mertebesinde bir yatay deformasyon yeterli olmaktadır. Bu sayede zemin numunesi kırılma durumunda olmayacaktır.

Özer (2001) çalışmasında kaba daneli zeminlerdeki yanal basınçların bulunarak sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_0 'ın ince cidarlı ödometre ile tespit edilmesi

ve mukavemet parametrelerinin adi ödometrelerle elde edilebilme olanaklarını araştırmıştır. Bu amaçla da kaba, orta, ince daneli kum örnekleri üzerinde ince cidarlı ödometre deneyleri yapmış ve sıklıkla yanal basınçların ve K_0 katsayısının değişimleri incelemiştir. Özer'in çalışmasında, ring cidarındaki strainingaugeler yardımıyla uygulanan düşey basınç değerleri altında oluşan yatay şekil değiştirme miktarlarını indikatör yardımıyla belirleyip kalibrasyon katsayısı yardımıyla o düşey basınç değerindeki yatay basınç değerlerini bulmuştur. Yapılmış olan bu iki deneysel çalışmalarda, ödometre tekniği kullanılmıştır. İlk çalışmada sadece normal yükleme deney sonuçlarına ait olan veriler bu çalışmalarda kullanılmıştır.

3.2. Kullanılan malzemelerin ve özellikleri

Her iki çalışmada havada kurutulmuş, üniform ve kaba daneli kumlar kullanılmıştır. Kullanılan kum numuneler, Sağlamer (1973)'in çalışmasında BS-8 numaralı, Özer (2001)'in çalışmasında ise ASTM No.10 (2mm) eleklerinden elenmiş ve daha sonra yıkanarak numune içerisindeki yabancı maddelerin uzaklaştırılması sonucunda elde edilmiştir. Bu çalışmada, Ayvalık, Kilyos, Yalıköy ve Şile kumlarına ait sonuçlar kullanılmıştır.

Kumların yüzde mineralojik bileşimlerine ve fiziksel özelliklerine ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada tüm kumlarda ortak mineral olmasından dolayı sadece Kuvars minerali giriş verisi olarak kullanılmıştır.

Tablo 1. Kumların özellikleri
(a) Mineralojik

Kum Adı	Kuvars (%)	Manyetit (%)	Kalsit (%)	Kalsit Aragonit (%)	Feldspat (%)	Kayaç Parçası (%)
Kilyos	45	5	-	50	-	-
Ayvalık	80	1	-	19	-	-
Yalıköy	99.9	0.1	-	-	-	-
Şile	62.12	-	10.35	-	18.8	3.73

(b) Fiziksel özellikleri

Kum Adı	Cinsi	g/cm^3	$U(D_{60}/D_{10})$	e_{max}	e_{min}	Küresellik	Sıklık(%Dr)
Kilyos	İnce	2.72	1.25	0.81	0.45	0.75	36,39,43,47,89, 90
Ayvalık	Orta	2.64	1.30	0.91	0.59	0.60	33,64,86
Yalıköy	Kaba	2.66	1	0.67	0.44	0.90	33,83
Şile	Kaba	2.65	1.16	-	-	0.65	33,61
	Orta	2.63	1.07	-	-	0.65	33,61,89
	İnce	2.68	1	-	-	0.65	0.386, 0.754

Kullanılan her bir kuma ait olan granülometri eğrisinden yararlanılarak kumlara ait D_{60} ve D_{10} dane çapı değerleri ayrı ayrı belirlenmiş olup her biri ayrı bir veri grubu olarak kullanılmıştır. Sağlamer (1973) yaptığı çalışmada kumların küreselliklerini bir fikir vermesi amacıyla dane şekillerine bağlı olarak Rittenhouse sınıflamasını kullanılarak yapılmıştır.

Özer (2001)'in yapmış olduğu çalışmada böyle bir sınıflama yapılmamış olmasına karşın verilerin uyumluluğu açısından bu sınıflandırma tarafımızdan yapılmıştır.

Kaba daneli zeminlerde sükunetteki toprak basıncı katsayısına etki eden en önemli faktör deney başı relatif sıkılığı olduğundan, deneyler üç farklı sıklıktaki numuneler üzerinde yapılmıştır. Bunlar sıkı ($D_r = \%65-90$), orta sıkı ($D_r = \%35-65$), ve gevşek ($D_r = \%0-35$)'dir. Bu çalışmada kullanılan, kumların relatif sıklılıklarına ilişkin bilgileri Tablo 1(b)'de verilmiştir.

3.3. Uygulama ve sonuçlar

Bu çalışmada iki farklı çalışmadan alınmış toplam 435 deneysel veri kullanılmıştır. Bu verilerin 335'i YSA'ları eğitmede, geriye kalan 110 veri ise oluşturulan nöral ağ yapısını test etmek için kullanılmıştır. YSA ile gerçekleştirilen modelde 7 giriş (relatif sıklılık, efektif düşey gerilme, dane birim hacim ağırlığı, D_{60} ve D_{10} dane çapları, dane şekli ve küresellik değerleri ile zemin minerolojik özellikleri) ve 1 çıkış (efektif yatay gerilme) mevcuttur. Bulunan efektif yatay gerilme değerlerinin efektif düşey gerilme değerine oranından ise sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_0 bulunmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan YSA modelinde tek ara katman kullanılmıştır. Ara katmanda 5, 10, 20, 30 ve 40 farklı nöron sayıları kullanılarak YSA modellerinin performansları incelenmiştir. Aynı zamanda en iyi öğrenme ve momentum katsayılarını tayin etmek için ise bir çok kez denemeler yapılmıştır. Kullanılan ağ yapısının eğitilmesi ve test işlemlerinde geriyayılım algoritması kullanılmıştır. Bu modelleme sonucunda elde edilen sonuçlar ve YSA parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. YSA sonuçları ve parametreleri

(a) Arakatmanda sigmoid, çıkış katında lineer aktivasyon fonksiyonu seçilmiş yapı

Arakat nöron no	Epok	Eğitim MSE	Test MSE	Ortalama MSE	α	β
5	4000	0.0531	0.0635	0.1910	0.3	0.3
10	4000	0.0157	0.0179	0.1037	0.1	0.3
20	3000	0.0102	0.0141	0.0917	0.1	0.7
30	4000	0.0095	0.0128	0.0834	0.1	0.6
40	3000	0.0088	0.0122	0.0797	0.1	0.6

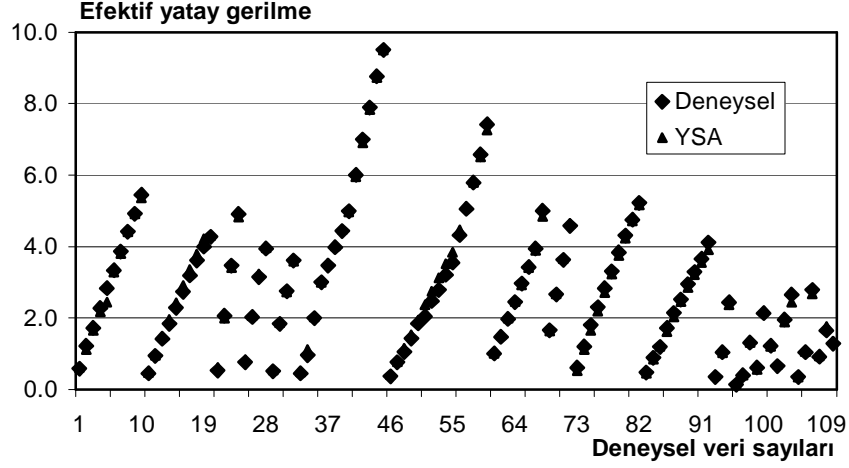
(b) Arakatmanda tanjant hiperbolik, çıkış katında lineer aktivasyon fonksiyonu seçilmiş yapı

Arakat nöron no	Epok	Eğitim MSE	Test MSE	Ortalama MSE	α	β
5	5000	0.0918	0.0911	0.2285	0.1	0.5
10	3000	0.0549	0.0660	0.2070	0.1	0.1
20	5000	0.0111	0.0155	0.0981	0.1	0.6
30	4000	0.0100	0.0124	0.0848	0.05	0.4
40	5000	0.0084	0.0125	0.0817	0.05	0.4

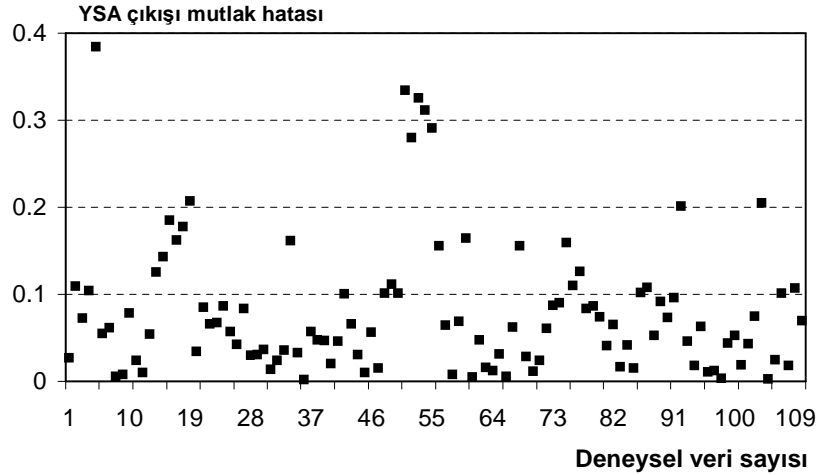
Yukarıdaki tabloda çalışmalar sırasında en iyi sonucun elde edildiği ağ yapısının test çıkış verilerinin gerçek test çıkış verileri ile kıyaslaması yapılmıştır. Buradaki test değerleri YSA'nın eğitiminden sonra uygulanmıştır. Ağ tarafından bilinmemektedir.

Şekil 2’de bu deneysel çıkışlar ile YSA çıkışları arasındaki karşılaştırma verilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi K_0 katsayısı YSA yöntemi ile oldukça başarılı bir şekilde elde edilebilmektedir.

Bununla birlikte ağın test işlemi sonuçları gerçek çıkış değerleri ile karşılaştırılarak mutlak hata değerleri Şekil 3’de verilmiştir. Bu şekilde de görülebileceği gibi çoğunlukla meydana gelen hata dağılımı 0.1’in altındadır.



Şekil 2. Örnek test verileri mutlak hataları



Şekil 3. Örnek test verileri mutlak hataları

4. Sonuç ve Yorum

Sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_0 'ın yapay sinir ağlarına dayanan bir yöntemle hesaplanması başarıyla sunulmuştur. Yapay sinir ağlarının eğitilmesinde geriyayılım öğrenme algoritması kullanılmıştır. Nöral model kullanılarak hesaplanan yatay efektif gerilmesi (σ'_h)'den elde edilen K_0 katsayısı, literatürdeki mevcut sonuçlarla çok iyi bir uyumluluk içinde olduğu görülmüştür. Burada kullanılan nöral modelin üstünlükleri, kolaylıkla farklı problemlere uygulanabilmesi, donanım olarak

gerçekleştirilebilmesinden dolayı hızlı işlem yapılabilmesi ve elde edilen sonuçların doğruluğudur.

Nöron sayısındaki artış ağ yapısının kompleksliğini arttırdığı için işlem hızının yavaşladığı da gözlenmiştir. Nöron sayısındaki değişimlerin α ve β katsayıları üzerinde bir etkisi olmadığı ancak küçük α değeri buna karşın büyük β değerlerinin daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Öğrenme katsayısı ve momentum katsayısının bazı değerleri için ağ en iyi çözümü verebilirken bazı değerlerinde ise öğrenme belli bir epok sayısında yakınsamamaktadır. α ve β 'lerin deneme yanılma yoluyla bulduğumuz değerlerini kıyasladığımızda bu katsayılar için geçerli optimum bir aralık sağlanamamasına rağmen küçük α ve büyük β değerlerinin daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Referanslar

Edil B. T., Dhowian W. A., 1981, At – Rest Lateral Pressure Of Peat Soils, Journal Of Geotechnical Engineering Division., February.

Fioravante V., Jamiolkowski M., Presti D. C. F. L., Manfredini G., Pedroni S., 1998, Assesment of the earth pressure at rest from shear wave velocity measurements, Geotechnique 48, No.5, 657–666.

Hatanaka M., Uchida A., 1996, A Simple Method For The Determination Of K_0 Value In Sandy Soils, Soils And Foundations, Vol.36, No.2, 93-99.

Haykin, S., 1994, Neural Networks: A Comprehensive Foundation, New York:Macmillan College Publishing Company, ISBN 0-02-352761-7.

Maren, A., Harston, C., Pap, R., 1990, Handbook of Neural Computing Applications, London, Academic Press, ISBN 0-12-471260-6.

Özer A. T., 2001, Kohezyonsuz Zeminlerdeki Yanal Basınçların Ve K_0 Katsayısının İnce Cidarlı Ödometre Tekniği İle Bulunması Ve Bulunan Sonuçların Teorik Değerlerle Karşılaştırılması, Adana, Yüksek Lisans Tez Çalışması.

Rumelhart D. E., McClelland, J. L., 1986, Parallel Distributed Processing, Vol.1, The MIT Press, Cambridge.

Sağlamer A., 1973, Kohezyonsuz Zeminlerde Sükunetteki Toprak Basıncı Katsayısının Zemin Parametreleri Cinsinden İfadesi, İ.T.Ü - Doktora Tez Çalışması

Toll, D., 2000, Artificial Intelligence Applications in Geotechnical Engineering, Geotechnical Systems Group, School Of Engineering, University Of Durham.

Ural N. D., Saka, H., Liquefaction Assesment By Artificial Neural Networks.2001, Geotech.civen.okstate.edu/ejge/ppr9803/index.htm.