PANELLERİN BURKULMA ANALİZİNDE YAPAY SİNİR AĞLARI YAKLAŞIMI

Mehmet Tolga Göğüş, Nildem Tayşi ve Abdülkadir Çevik

Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

ÖZET

Bu bildiride panellerin burkulma analizi sonlu şeritler metodu ve yapay sinir ağları yaklaşımı ile incelenmektedir. Mindlin-Reissner kabuk teorisine bağlı sonlu şeritler metoduyla geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak farklı panel boyutları için kritik burkulma yükleri hesaplanmış ve elde edilen veriler önerilen yapay sinir ağları modelini eğitmek için kullanılmıştır. Kullanılan analiz tekniğinin ve önerilen yapay sinir ağları modelinin geçerliliği çeşitli örneklerle gösterilmiştir.

ABSTRACT

This paper deals with the analysis of stiffened panels in buckling situations using finite strip and Neural Network approach. The finite strip method is used to determine the critical buckling loads based on Mindlin-Reissner shell theory which is further used for the training of the proposed Neural Network Model. The validation of the analysis and the proposed Neural Network model is also shown by means of several examples of application.

1. GİRİŞ

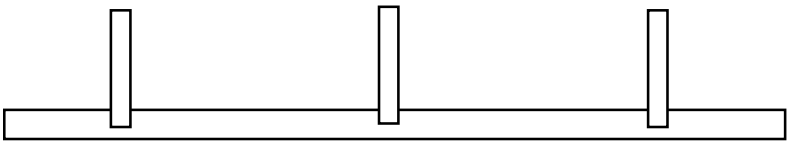
Yüksek mukavemet ve hafifliğinden dolayı kabuk yapılar inşaat, makine ve uçak mühendisliği alanlarında önemli bir yere sahiptir. Köprü, gemi ve uçak tasarımında pek çok stabilite problemiyle karşılaşılmaktadır [1]. Plak ve kabukların düzlemleri boyunca etkiyen kuvvetlerin burkulmaya neden olabilmektedir. Bu nedenle panellerin burkulma analizi tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır.

Pek çok mühendislik yapısı belirli yönlerde sabit geometrik özelliklere sahiptir. Uzunluğu boyunca kesit alanı sabit olan bu prizmatik yapılar plak ve kabuk problemleri içinde çok yaygındır. Eğer uzunluğu yöndeki malzeme özellikleri de aynı ise sonlu elemanlar metodu ve Fourier serilerinin birleşik kullanan sonlu şeritler metodu burkulma analizi basitleştirilebilir.

Bu çalışmada, panellerin burkulma analizleri için sonlu şeritler metodu ile Yapay Sinir Ağlarını (YSA) entegre eden bir model geliştirilmiştir. YSA modellerini eğitmek için MATLAB tabanlı bir program geliştirilmiştir. Gereken eğitim ve test setleri sonlu şeritler bilgisayar programı kullanılarak elde edilmiştir. Eğitim algoritması olarak Levenberg -- Marquardt algoritması kullanılmıştır. Eğitilen YSA modeline ait sonuçlar bilgisayar programı çıktılarına oldukça yakın sonuçlar vermekte sonuçlar oldukça tatminkardır.

2. TAKVİYELİ PANELLER

Takviyeli panellerden yapının mekanik özelliklerini kolay ve ekonomik bir şekilde geliştirebildikleri için endüstride oldukça yararlanılmaktadır. Plaklar veya diğer genel yapılar için kiriş güçlendirmesi mekanik özelliği geliştirmektedir ve bu yüksek güvenilirlikle, uzun süreli ve ekonomik bir çözümdür [2,3]. Şekil 1 de bu çalışmada kullanılan tipik takviyeli panel kesitini göstermektedir. Takviyeli panel Özakça ve arkadaşları [4] tarafından geliştirilen sonlu şeritler programı kullanılarak modellenmiş ve analiz edilmiştir.



Şekil 1. Takviyeli panelin ait tipik panel kesiti

3. SONLU ŞERİT FORMULASYONU

Prizmatik plak ve kabuklar için Mindlin-Reissner sonlu şerit formülasyonu [4] de verilmiştir. Şekil değiştirme enerjisi

$$U^e = \frac{1}{2}\sum_{p=p_1}^{p_2}\sum_{q=q_1}^{q_2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\mathbf{d}_i^p[\mathbf{K}_{ij}^e]^{pq}\mathbf{d}_j^q \tag{1}$$

düğüm noktası i ve j ve harmonikler p ve q'yu birleştiren şerit e'nin rijitlik $\mathbf{K}^e$'nin tipik bir alt matrisi şu şekilde yazılabilir [4]

$$[\mathbf{K}_{ij}^e]^{pq} = \int_0^b\int_{-1}^{+1}\left([\mathbf{B}_{mj}^p]^T\mathbf{D}_m\mathbf{B}_{mj}^q + [\mathbf{B}_{bj}^p]^T\mathbf{D}_b\mathbf{B}_{bj}^q + [\mathbf{B}_{sj}^p]^T\mathbf{D}_s\mathbf{B}_{sj}^q\right)J\,d\xi\,dy \tag{2}$$

Uygulanan düzlem içi gerilmelerin σ_ℓ^0 ve σ_y^0, potansiyel enerji V^e ile ilgili geometrik rijitlik matrisi $\mathbf{K}_\sigma^e$ hesaplanabilir.

$$V^e = \frac{1}{2}\sum_{p=p_1}^{p_2}\sum_{q=q_1}^{q_2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\mathbf{d}_i^p[\mathbf{K}_{\sigma ij}^e]^{pq}\mathbf{d}_j^q \tag{3}$$

düğüm noktası i ve j ve harmonikler p ve q'yu birleştiren şerit e'nin rijitlik $\mathbf{K}^e$'nin tipik bir alt matrisi şu şekildedir

$$[\mathbf{K}^e_{\sigma ij}]^{pq} = \int_0^b \int_{-1}^{+1} \left(t[\mathbf{S}^p_{ui}]^T \mathbf{H} \mathbf{S}^q_{uj} + t[\mathbf{S}^p_{vi}]^T \mathbf{H} \mathbf{S}^q_{vj} + t[\mathbf{S}^p_{wi}]^T \mathbf{H} \mathbf{S}^q_{wj} \right.$$
$$\left. + \left(\frac{t^3}{12} [\mathbf{Q}^p_i]^T \mathbf{H} \mathbf{Q}^q_j + \frac{t^3}{12} [\mathbf{R}^p_i]^T \mathbf{H} \mathbf{R}^q_j \right) J d\xi \, dy \right. \tag{4}$$

$$\mathbf{S}^p_{ui} = \begin{bmatrix} (dN_i/d\ell) S_p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ N_i (p\pi/b) C_p & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{S}^p_{vi} = \begin{bmatrix} 0, & (dN_i/d\ell) C_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -N_i (p\pi/b) S_p & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{S}^p_{wi} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & (dN_i/d\ell) S_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & N_i (p\pi/b) C_p & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{Q}^p_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & (dN_i/d\ell) S_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -N_i (p\pi/b) S_p \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{R}^p_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & (dN_i/d\ell) C_p \\ 0 & 0 & 0 & N_i (p\pi/b) C_p & 0 \end{bmatrix},$$

ve

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \sigma^0_\ell & 0 \\ 0 & \sigma^0_y \end{bmatrix}. \tag{5}$$

Matris $\mathbf{K}^e_\sigma$ yapı geometrisi, yerdeğiştirme alanı ve gerilme durumu ile tanımlanır. Böylece $\mathbf{K}^e_\sigma$ elastik özelliklerden bağımsızdır. Bununla beraber, gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişki tanımlanarak, $\mathbf{K}^e_\sigma$ elastik özellikler ve şekil değiştirme veya deformasyon cinsinden yazılabilir.

$[\mathbf{K}^e_{ij}]^{pq}$ ve $[\mathbf{K}^e_{\sigma ij}]^{pq} \neq 0$ ve eğer $p \neq q$ ise orthogonallık durumundan dolayı

$$\int_0^b \sin(p\pi y/b) \sin(q\pi y/b) dy = b/2 \quad \text{eğer } p = q$$

$$\int_0^b \sin(p\pi y/b) \sin(q\pi y/b) dy = 0 \quad \text{eğer } p \neq q$$

$$\int_0^b \cos(p\pi y/b) \cos(q\pi y/b) dy = b/2 \quad \text{eğer } p = q$$

$$\int_0^b \cos(p\pi y/b) \cos(q\pi y/b) dy = 0 \quad \text{eğer } p \neq q \tag{6}$$

Kilitlenmeyi önlemek için indirgenmiş integrasyon tekniği uygulanmaktadır. Örneğin 2-, 3- ve 4-düğüm noktalı şeritler için 1-, 2-, 3-noktalı Gauss-Legendre integrasyonu kullanılır. Şunu da belirtmek gerekir ki $\mathbf{D}_m, \mathbf{D}_b$ ve $\mathbf{D}_s$ [4] rijitliklerinin hepsi t'ye bağlı olduğundan ve yine t her bir şerit boyunca düğüm noktası değeri olan t_i'den integre edilir. Enine doğrultudaki şerit kalınlık değişkeni kolaylıkla bu formülasyondan sağlanır.

Ortogonallik durumu (6) göz önünde tutularak, bütün şeritlerin toplam potansiyel enerjisi $U+V$'nin düğüm noktasına göre minimize edilmesi sonucunda her bir harmonik p için şu özdeğer denklemi elde edilir.

$$[\mathbf{K}^{pp} + \lambda^p \mathbf{K}_{\sigma}^{pp}]\overline{\mathbf{d}}^p = 0 \qquad (7)$$

λ^p Uygulanan düzlemiçi gerilme (σ_ℓ^0 ve σ_y^0) değerlerine karşılık oluşan burkulma yük katsayısı ve $\overline{\mathbf{d}}^p$ ilgili burkulma modudur. Bu çalışmada özdeğerler alt-uzay iterasyon algoritması ile hesaplanmıştır.

4.YAPAY SİNİR AĞLARI

Bir yapay zeka teknolojisi olan YSA nın temel prensibi, mevcut örneklerden yararlanarak olayları öğrenme ve yeni durumlara karşı uygun yanıtlar üretmeye dayanır. İnsan beyni örnek alınarak geliştirilen bu yöntemde, öğrenme yapay sinir hücreleri (nöronlar) aracılığıyla gerçekleştirilir. Çözümü istenen probleme bağlı olarak bir sinir ağı birden fazla ara katmandan ve her katmanda değişik sayıda sinir hücresinden oluşabilir. Ağın giriş katmanında girdiler ağırlıklandırılıp uygun bir aktivasyon fonksiyonundan geçirildikten sonra ara katmandaki sinir hücrelerine iletilirler. Ara katmanda oluşan girdiler de yeniden ağırlıklandırılıp uygun aktivitasyon fonksiyonu ile varsa diğer ara katmana, yoksa çıkış katmanına iletilirler. Burada her bir katmanda farklı bir aktivasyon fonksiyonu kullanmak olasıdır. Bu konudaki daha detaylı bilgi [5] te verilmiştir.

Ağdan elde edilen yanıtların mevcut örnekleme değerleriyle karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlara bağlı olarak, ağdaki ağırlıklar bir eğitim fonksiyonu yardımıyla değiştirilirler ve ağ bu yeni ağırlıklar kullanılarak yeni yanıtlar üretir. Bu işlem, önceden belirlenen epok sayısına, ağın maksimum başarısızlık sayısına ulaşılıncaya veya performans fonksiyonunun minimize edilmesine kadar sürdürülür [6].

Temel çalışma prensibi yukarıda açıklanan YSA teknolojisiyle; öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme, optimizasyon ve yaklaşım gibi konularda başarılı uygulamalar gerçekleştirmek olasıdır [7].

YSA'nın hesaplama ve bilgi işleme gücünü, paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim yada öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de YSA'nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, YSA'nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. Günümüzde birçok mühendislik probleminin çözümüne uygulanmaktadır [8].

4.1 GERİYE YAYILMA ALGORİTMASI

Bu algoritmada hedef hesaplanan çıktı ile hedeflenen çıktı arasındaki farkı minimize etmek olup bunun için çok katlı pörseptronlarda geriye yayılım algoritması kullanılmaktadır. Bu genel delta kuralına dayalıdır ve Rumelhart ve arkadaşları [9] tarafından yaygınlaştırılmıştır. Dolayısı ile bir ağın çıkış ünitelerinin toplam hatası aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

Geriye Yayılma Algoritması algoritmasında temel amaç girdiye karşı gelen çıktıya aşağıda ifade edildiği gibi ulaşmaktır.

$$X_i \longrightarrow Y_i \tag{10}$$

Çıktı katmanı için hata δ_j^{son} hedef çıktı Y_i ile hesaplanan YSA çıktısı out_j^{son} arasındaki farktır:

$$\delta_j^{son} = (Y_i - out_j^{son}) out_j^{son} (1 - out_j^{son}) \tag{11}$$

Ağırlıkların düzeltilmesi ise aşağıdaki gibidir

$$\Delta w_{ji}^{l} = w_{ji}^{l(yeni)} - w_{ji}^{l(eski)} \tag{12}$$

(11) ve (12) birleştirilerek aşağıdaki genellemeye varılabilir:

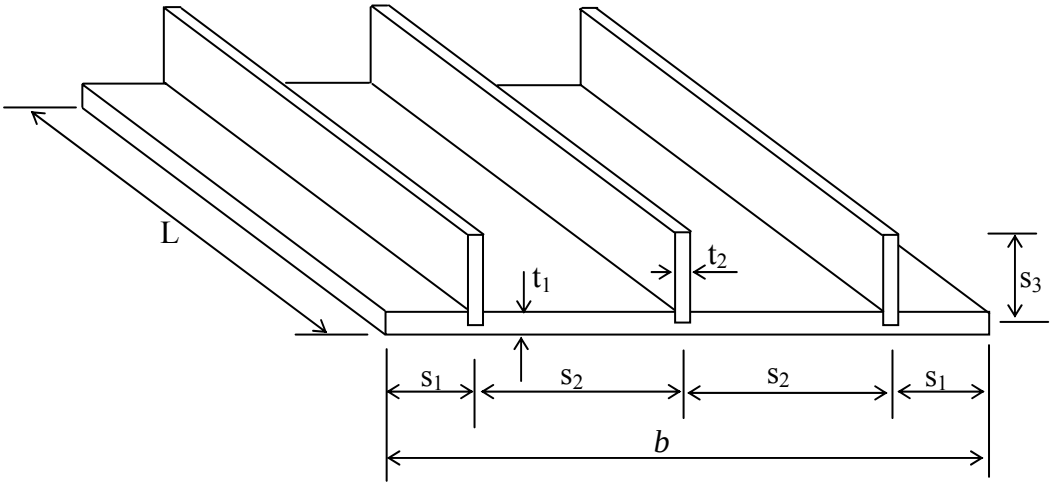
$$\Delta w_{ji}^{l} = \eta(\sum_{k=1}^{r} \delta_k^{l+1} w_{kj}^{l+1}) out_j^{l} (1 - out_j^{l}) out_i^{l-1} + \mu \Delta w_{ji}^{l(önceki)} \tag{13}$$

Burada η öğrenme katsayısı ve μ ise momentumdur.

5. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada amaç Şekil 2 de verilen takviyeli panellerin kritik burkulma yükünü farklı boyutlar için yapabilecek bir YSA modeli geliştirilmesidir. Takviyeli panel dört noktalı kabuk eleman kullanılarak analiz edilmiştir. Plak ve takviye elemanlarda çeşitli burkulma modlarını yakalayabilecek yeterli sayıda eleman yoğunluğu seçilmiştir.

Takviyeli paneldeki simetriden dolayı b genişliğindeki bir plak parçası modellenmiştir. L kutu kiriş köprünün uzunluğudur, yapı $y = 0$ ve $y = L$ de basit mesnetli olup diğer kenarlar serbesttir. Boyuttan bağımsız sonuçlar elde edebilmek için, köprü açıklığı b olarak alınıp diğer bütün ölçüler ve kalınlıklar buna orantılı olarak arttırılarak veri seti oluşturulmuştur. Yapıda kabul edilen malzeme özellikleri için çalışma yapılmayıp, elastisite modülü $E = 200.0 \times 10^6$, Poisson oranı υ=0.33 ve yoğunluk ρ=1.0 sabit değerler alınmıştır. Bütün birimler birbiri ile uyumludur.



Şekil 2. Takviyeli panel geometrisi ve değişkenlerin pozisyonları.

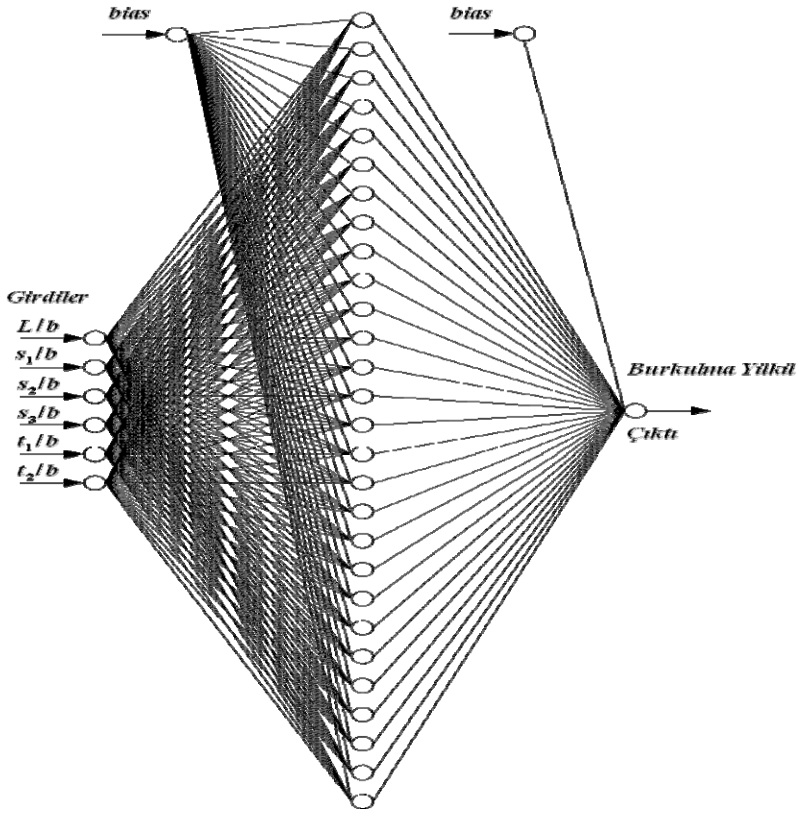
Uzunluğun plak genişliğine oranı L/b 1.0 ile 2.0 arasınsa 0.1 arttırılarak seçilmiştir. Veri setinin diğer değerleri Tablo 1 de verilmiştir. Tablo 1 göstermektedir ki toplam olarak 2811 veri için analiz işlemleri tekrarlanmıştır. Veri seti eğitim ve test seti olarak ikiye ayrılmıştır. Eğitim ve test seti 80 % ve 20 % oranlarında rastgele seçilmiştir.

Tablo 1. Veritabanında kullanılan değişkenlerin değerleri

Değişkenler	Değerleri			
s_1	0.1	0.15	0.2	0.25
s_2	0.4	0.35	0.3	0.25
s_3	0.02	0.04	0.06	0.08
t_1	0.004	0.006	0.008	0.01
t_2	0.004	0.006	0.008	0.01

YSA modelini eğitmek için gereken eğitim (2249 analiz) ve test (562 analiz) setleri Özakça ve arkadaşları tarafından geliştirilen ve teorisi 2. bölümde anlatılan Sonlu Şeritler Analiz (SŞA) programı kullanılarak elde edilmiştir.

YSA modellerini eğitmek için MATLAB tabanlı bir program geliştirilmiştir. Elde edilen YSA modeli 6 girdili, 28 saklı katmanlı ve 1 çıktılı bir YSA modelidir ve Şekil 3 te gösterilmiştir.

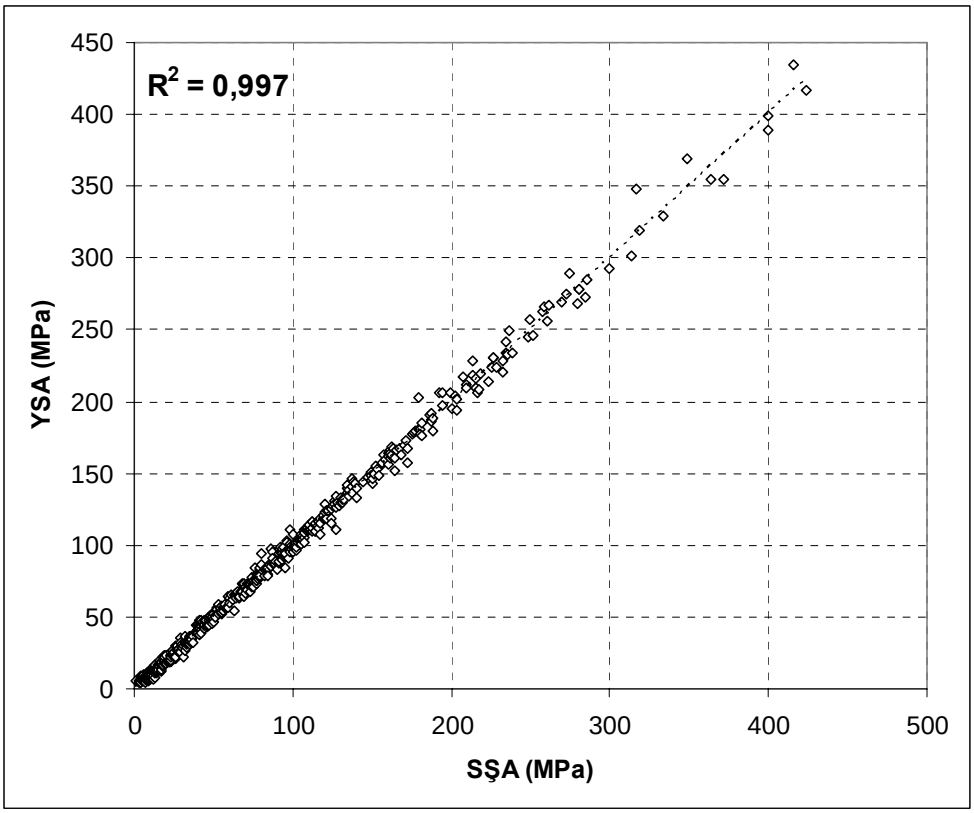


Şekil 3. YSA modeli

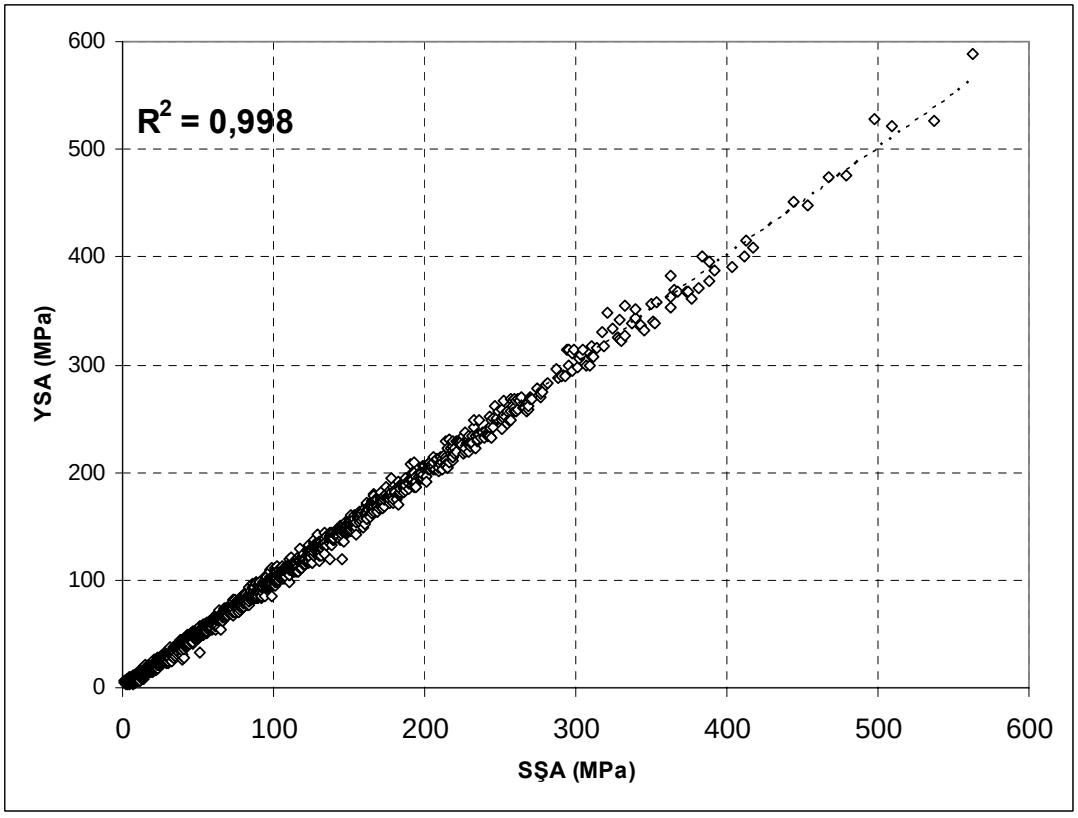
Eğitim algoritması olarak Levenberg–Marquardt algoritması kullanılmıştır. Eğitilen YSA'na ait istatistiki veriler Tablo 2 de verilmiştir. Verilen YSA modeli ile SŞA sonuçlarının performans değerlendirmesi Şekil 4 ve 5 de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi sonuçlar oldukça tatminkardır.

Tablo 2. YSA Modeli istatistik sonuçları

	Test seti	Eğitim seti
Ortalama (SŞA/YSA)	1.003	1.002
Standart Sapma (SŞA/YSA)	0.109	0.114
Ortalama Karesel Hatanın Karekök değerleri (RMSE)	4.416	1.416



Şekil 4. Test seti için tahmin edilen ve analiz edilen değerler



Şekil 5. Eğitim seti için tahmin edilen ve analiz edilen değerler

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada izotropik panallerin burkulma analizini farklı geometriler için yapabilecek bir YSA modeli geliştirilmiştir. SŞAdan farklı boyutlar için elde edilen burkulam yükleri YSA kullanılarak modellenmiş ve YSA modeli çıktılarının SŞA çıktılarına oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

7. KAYNAKLAR

[1] Scordelis, A.C., "Folded plates for bridges", Bull. Int. Assoc. Shell Spat Struct., Vol.16(1), No.57, pp:29-38,1974.

[2] Stroud, W. J., Greene, W. H. ve Anderson, M. S.. " Buckling loads of stiffened panels subject to longitudinal compression and shear: results obtained with PASCO, EAL, and STAGS computer programs", NASA, TP 2215, 1984.

[3] Dawe, D. J. ve Peshkam, V.,. "Buckling and vibration of finite-length composite prismatic plate structures with diaphragm ends, Part II: Computer programs and buckling applications", Computer Methods for Applied Mechanic and Engineering, 77, 227-252, 1989.

[4] Hinton, E., Petrinic, N. ve Özakça, M.. "Buckling analysis and shape optimization of variable thickness prismatic folded plates. Part I: Finite strip formulation", Engineering Computations, 10, 483-498, 1993.

[5] Çevik, A., A New Approach for Elastoplastic Analysis of Structures: Neural Networks, PhD Thesis, University of Gaziantep, Turkey, 2006.

[6] Öztemel, E., "Yapay Sinir Ağları" Papatya Yayıncılık-2003.

[7] Rumelhart, D. And McClelland, J., "Paralel Data Processing" MIT Pres Vol1.-1986

[8] Kaynak, O. ve Efe, Ö., "Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları" Boğaziçi Üniversitesi Yayınları-2000.

[9] Rumelhart D.E., Hinton G.E., and Williams R.J., "Learning internal representation by error propagation Parallel Distributed Processing: Exploration in the Microstructure of Cognition," Vol. 1. MIT Press, Cambridge, MA, Chapter 8, 1986.