

## YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK KUTU KİRİŞ KÖPRÜLERİN SERBEST TİTREŞİM ANALİZİ

Nildem Tayşi, Mustafa Özakça ve Abdülkadir Çevik

Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

### ÖZET

Bu bildiri düz platformlardaki kutu kiriş köprülerin serbest titreşim analizinin, sonlu şeritler ve yapay sinir ağları yaklaşımı ile ilgilidir. Yapay sinir ağları modelinde kullanılacak olan kutu kiriş köprülerin serbest doğal frekanslarının hesaplanması için Mindlin-Reissner kabuk teorisine bağlı sonlu şeritler metoduna dayanan bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Farklı geometriler için eğitilen yapay sinir ağları modelinin çıktıları, program çıktıları ile karşılaştırılmış ve oldukça yakın sonuçların elde edildiği görülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışmada yapay sinir ağlarının düz platformlardaki kutu kiriş köprülerin serbest titreşim analizinde etkili ve verimli bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.

### ABSTRACT

This paper deals with the free vibration analysis of box girder bridges in straight planform by using finite strip and Neural Network approach. The finite strip method is used to determine the fundamental frequencies based on Mindlin-Reissner shell theory which are further used for the training of the proposed Neural network model. The results of Neural network model was compared with finite strip method results for different geometries and a good agreement was observed. As a result of this study neural networks can be used safely and effectively to calculate the fundamental frequencies of box girder bridges.

### 1. GİRİŞ

Kutu kiriş köprüler modern otoyollarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve orta ve uzun açıklı köprülerde, iyi bilinen burulma rijitliği yapısal avantajlarından dolayı etkili bir çözüm olarak önerilmektedir. Sıradan köprüler, açıklık uzunlukları arttığında, ölü yükün toplam tasarım yüküne oranının hızlı bir şekilde artışından dolayı, uzun açıklıklarda ekonomik olmamaktadırlar. Boşluklu kiriş betonarme köprüler bu soruna çözüm olarak geliştirilmişlerdir. Ayrıca kutu kiriş köprüler karayolları için uygun olduğu gibi demiryolları

içinde uygundur. Demiryolları, karayollarından daha ağır hareketli yük taşırlar. Hareketli yüklerden kaynaklanan dinamik yükler, köprüler için kritik yüklerdir ve kutu kiriş köprüler titreşim etkilerine karşı klasik köprülerden çok daha fazla direnç gösterebilmektedirler [1,2]

Tasarım aşamasında kutu kiriş köprülerin dinamik karakteristiklerinin tahmini oldukça önemlidir. Sonlu elemanlar metodu gibi yarı analitik yarı nümerik metotların bu tip yapıların statik ve dinamik analizleri için kullanılması çok verimli olmuştur [3,4]. Fakat bu metodun oldukça uzun işlem süresi gerektirmesi sebebi ile alternatif yaklaşımlar türetilmiştir. Bu bağlamda, Fourier serileri ile Sonlu Elemanlar Metodunu birleştiren Sonlu Şeritler Metodu kullanılmıştır. Bu çalışmada ise Sonlu Elemanlar ve Sonlu Şeritler Metodu ile geliştirilen programların kolay ulaşılabilir olmamaları nedeniyle, yapay zeka tekniklerinden biri olan Yapay Sinir Ağları (YSA) yaklaşımının problemin çözümünde etkili ve verimli bir şekilde kullanılabilirliği irdelenmektedir. YSA eğitimi için gerekli veriler sonlu şeritler metodu ile türetilmiştir.

YSA özellikle 1990'lerden sonra hızla gelişmiş ve hemen her alanda çok başarıyla uygulanmıştır. Mühendisliğin değişik alanlarında da YSA'nın gerek pratik gerek teorik çalışmalarda başarıyla uygulandığı söylenebilir. Bu anlamda YSA mühendislik mekaniğinde çok geniş bir uygulama alanı bulmuş ve yaygın olarak kullanılmıştır.

## 2. SONLU ŞERİTLER ANALİZİ

Sonlu şeritler metodu düzenli prizmatik geometriye sahip olan ve basit mesnetli yapıların analizinde kullanılmak üzere geliştirilmiş ucuz ve yararlı bir metottur. Yapı karşılıklı iki kenarda basit mesnetlidir ve diğer iki kenar istenildiği şekilde değişik mesnetle tanımlanabilir. Bu çalışmada kesme deformasyonlarını ihmal etmeyen ince ve kalın cidarlı yapıların analizinde verimli olan ve [5] de verilen Mindlin-Reissner (MR) kabuk elemanı kullanılmıştır

Noktasal yer değiştirme ve ivmeleri vektör formunda  $\mathbf{d}$  ve  $\ddot{\mathbf{d}}$  diye listelersek, basit harmonik hareket için bütün şeritlerde şu ifade elde edilir.

$$\delta \mathbf{d} [\mathbf{Kd} + \mathbf{M}\ddot{\mathbf{d}}] = \mathbf{0} \quad (1)$$

$\mathbf{K}$  ve  $\mathbf{M}$  sırasıyla global direngenlik ve kütle matrisleridir ve bu matrisler  $i$  ve  $j$  noktaları ile  $p$  ve  $q$  harmonikleri arasındaki şeritlerin alt matrislerini içerirler. Bu alt matrisler şu formdadır

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

$$[\mathbf{M}_{ij}^e]^{pq} = \int_0^b \int_{-1}^{+1} \{ [\mathbf{N}_i^p]^T \mathbf{P} \mathbf{N}_j^q \} J d\xi dy \quad (3)$$

tipik olarak

$$\mathbf{N}_i^p = N_i \begin{bmatrix} S_p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_p \end{bmatrix} \quad (4)$$

ve  $\mathbf{B}_{mi}^p, \mathbf{B}_{bi}^p$  ve  $\mathbf{B}_{si}^p$   $p$  harmoniği,  $i$  noktası ve  $J$  Jakobien için, eksenel, eğilme ve kesme şekil değiştirme matrisleri,  $\mathbf{D}_m, \mathbf{D}_b, \mathbf{D}_s$  eksenel, eğilme ve kesme rijitlik geçiş matrisi,  $\mathbf{P}$  atalet matrisidir ve kullanılan eleman için [5] de verilmiştir. Diklik şartından dolayı  $p \neq q$  ise  $[\mathbf{K}_{ij}^e]^{pq}$  ve  $[\mathbf{M}_{ij}^e]^{pq} = \mathbf{0}$ .  $[\mathbf{M}_{ij}^e]^{pp}$  matrisi harmonik sayısı  $p$  den bağımsızdır ve bu nedenle aynı matris farklı harmonik denklemleri için de kullanılabilir ve şöyle ifade edilir.

$$[\mathbf{M}_{ij}^e]^{pp} = b/2 \int_{-1}^{+1} \{[\mathbf{N}_i]^T \mathbf{P} \mathbf{N}_j\} J d\xi \quad (5)$$

$\mathbf{N}_i = N_i \mathbf{I}_5$  dir ve  $\mathbf{I}_5$   $5 \times 5$  birim matristir. Bölgesel hataların olmaması için azaltma integrasyonu adapte edilmiştir. Denklem (1) herhangi bir virtüel yer değiştirme seti,  $\delta \mathbf{d}^p$  için doğru olmak zorunda olduğu için, her  $p$  harmoniği için açık formda

$$\mathbf{K}^{pp} \mathbf{d}^p + \mathbf{M}^{pp} \ddot{\mathbf{d}}^p = \mathbf{0} \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. (6) denkleminin genel çözümü

$$\mathbf{d}^p = \bar{\mathbf{d}}^p e^{i\omega_p t} \quad (7)$$

şöyle yazılabilir.  $e^{i\omega_p t} = \cos(\omega_p t) + i \sin(\omega_p t)$  dir,  $\omega_p$  ve  $\bar{\mathbf{d}}^p$  de  $p$  ninci doğal frekans ve vibrasyon modu (öz vektörü) dür. Bu nedenle de  $p$  harmoniği için (1) denklemi standart öz değeri (eigen) formunda şöyle tekrar yazılabilir

$$(\mathbf{K}^{pp} - \omega_p^2 \mathbf{M}^{pp}) \bar{\mathbf{d}}^p = \mathbf{0} \quad (8)$$

Bu çalışmada öz-değerler alt-uzay iterasyon algoritması kullanılarak bulunmuştur [6].

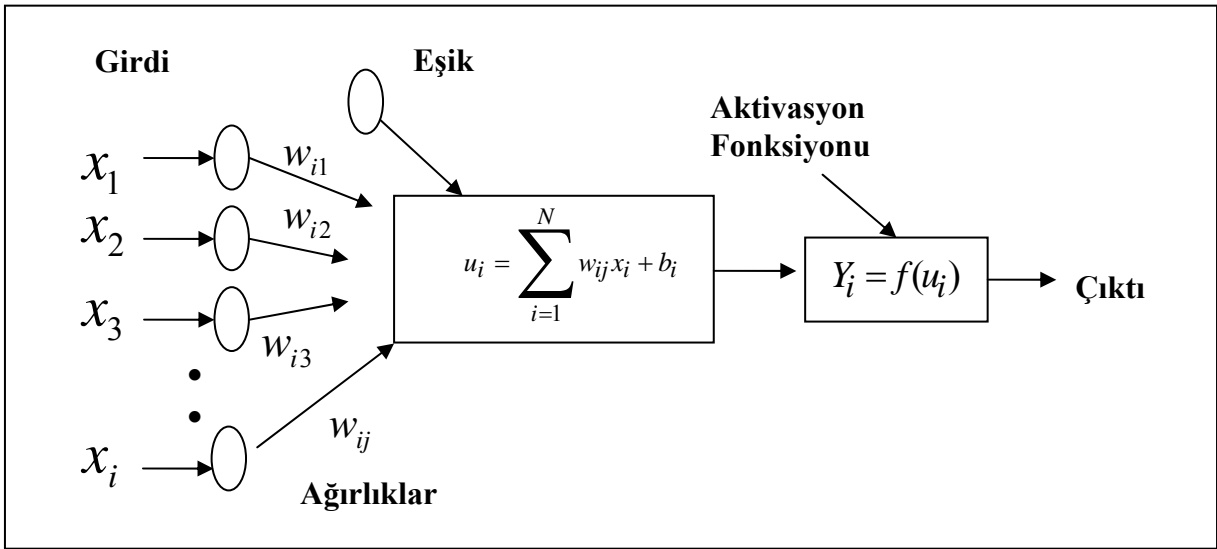
### 3. YAPAY SİNİR AĞLARI

YSA modelinin ilham kaynağı, insan beynini oluşturan biyolojik sinir hücrelerinin (nöron) basitleştirilmiş matematiksel modelidir. Bir nöronun biyolojik modeli hücre gövdesi, dendrit ve aksonlar olmak üzere üç kısımdan oluşur. Bu yapıda dendritler, diğer hücrelerden aldığı bilgileri iletirken, aksonlar ise bu bilgiyi hücreden dışarı taşır ve bitimlerinde diğer hücreler için dendritleri oluşturur. Bu konudaki detaylı bilgi [7] da verilmiştir.

YSA modelindeki yapay nöron da aynen biyolojik nöron gibi çalışır. Çalışma prensibi Şekil 1'deki gibi verilebilir. Burada  $w_{ij}$  ağırlıklar,  $b(i)$  eşik değeri  $f(u)$  ise aktivasyon fonksiyonu olmakta ve çıktı değeri her girdi karşılık gelen ağırlığı ile çarpılıp toplanması, buna eşik değerinin eklenmesi ve bu toplamın aktivasyon fonksiyonundan işlenmesi ile hesaplanır.

$$u_i = \sum_{j=1}^H w_{ij} x_j + b_i \quad (9)$$

$$Y_i = f(u_i) \quad (10)$$

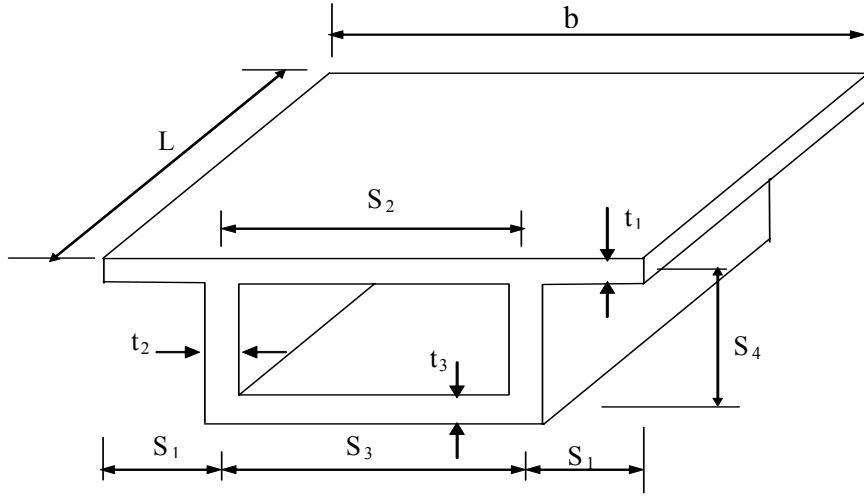


Şekil 1. Yapay nöron modeli

#### 4. SAYISAL UYGULAMALAR

Şekil 2'de değişkenleri gösterilmiş olan düz platformdaki tek hücreli kutu kiriş köprünün serbest titreşim analizi, çeşitli veri aralıklarında tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar YSA yöntemi ile modellenmiştir.

Boyutsuz bir çalışma yapmak amacı ile köprü açıklığı  $b$  olarak alınıp diğer bütün ölçüler ve kalınlıklar buna orantılı olarak arttırılarak veri seti oluşturulmuştur. Veri setinin değerleri Tablo 1 de verilmiştir. Yapıda kabul edilen malzeme özellikleri için çalışma yapılmayıp, elastisite modülü  $E = 200.0 \times 10^6$ , Poisson oranı  $\nu = 0.2$  ve yoğunluk  $\rho = 7.8$  sabit değerler alınmıştır. Bütün birimler birbiri ile uyumludur.  $L$  kutu kiriş köprünün uzunluğudur, yapı  $y = 0$  ve  $y = L$  de basit mesnetli olup diğer kenarlar serbesttir. Sonlu Şeritler Analizi (SSA) kuadratik şeritler kullanılarak yapılmıştır.



**Şekil 2.** Düz platformdaki tek hücreli kutu kiriş köprü kesiti

**Tablo 1.** Veritabanında kullanılan değişkenlerin aralıkları

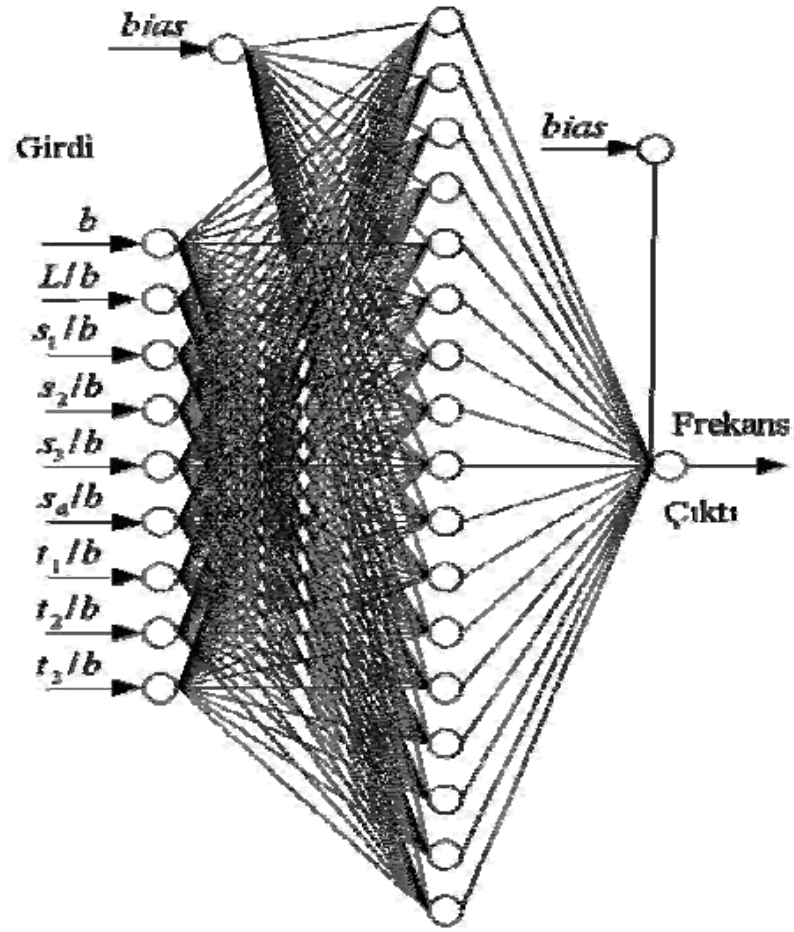
	L/b	s <sub>1</sub> /b	s <sub>2</sub> /b	s <sub>3</sub> /b	s <sub>4</sub> /b	t <sub>1</sub> /b	t <sub>2</sub> /b	t <sub>3</sub> /b
ilk	1.0	0.05	0.5	0.25	0.05	0.015	0.005	0.005
son	9.0	0.25	0.9	0.75	0.2	0.025	0.025	0.02

Veri seti eğitim ve test seti olarak ikiye ayrılmıştır. Eğitim ve test seti %80 ve %20 oranlarında olup rasgele seçilmiştir. YSA modelini eğitmek için gereken eğitim (1614 analiz) ve test (403 analiz) setleri Özakça ve arkadaşları tarafından geliştirilen ve teorisi Bölüm 2’de anlatılan sonlu şeritler bilgisayar programı kullanılarak elde edilmiştir. YSA modellerini eğitmek için MATLAB tabanlı bir program geliştirilmiştir. Elde edilen YSA modeli 9 girdili, 17 saklı katmanlı ve 1 çıktılı bir YSA modelidir ve Şekil 3 de gösterilmiştir.

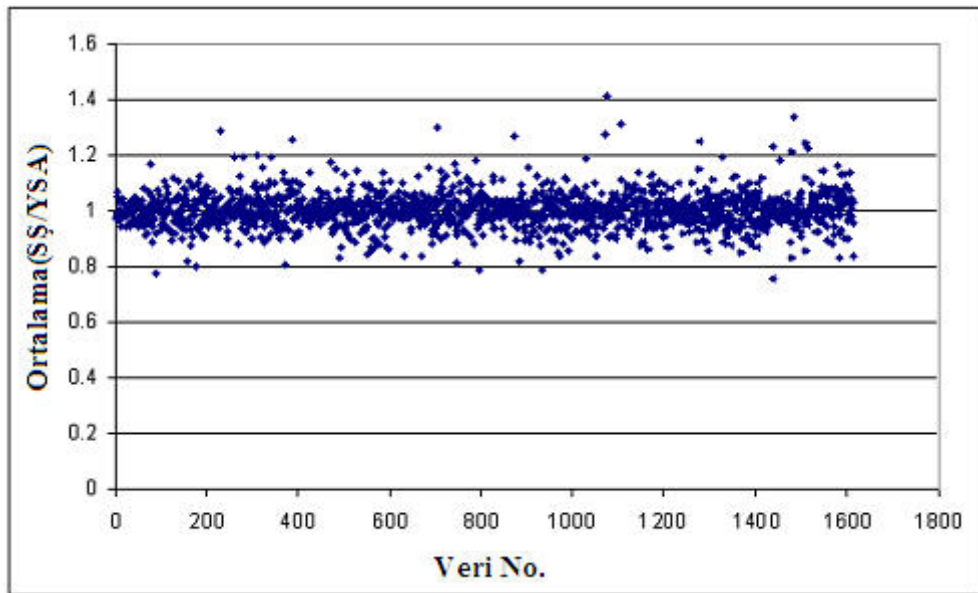
Eğitim algoritması olarak Levenberg–Marquardt algoritması kullanılmıştır. Eğitilen YSA’na ait istatistik veriler Tablo 2’de verilmiştir. Verilen YSA modeli ile SŞA sonuçlarının performans değerlendirilmesi Şekil 4 ve 5’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi sonuçlar oldukça tatminkardır.

**Tablo 2.** YSA Modeli istatistik sonuçları

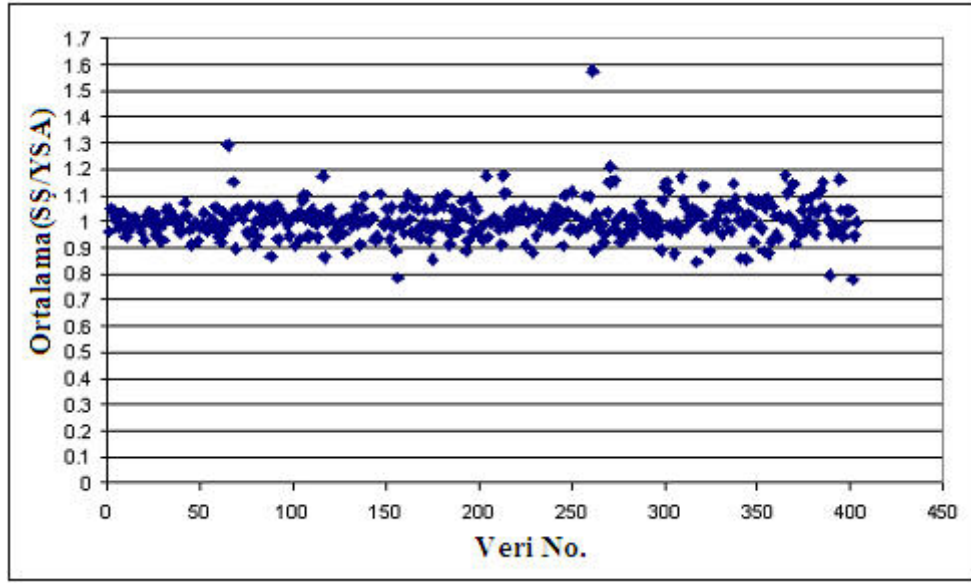
	Test seti	Eğitim seti
Ortalama (SŞA/YSA)	1.01	1.00
Standart Sapma (SŞA/YSA)	0.07	0.06
Korelasyon Katsayısı (R)	0.98	0.99



Şekil 3. YSA modeli



Şekil 4. Önerile YSA modelinin eğitim seti için SŞA sonuçlarının YSA sonuçlarına oranı



Şekil 5. Önerilen YSA modelinin test seti için SŞA sonuçlarının YSA sonuçlarına oranı

## 5.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada düz platformdaki tek hücreli kutu kiriş köprülerin serbest titreşim analizini farklı geometriler için yapabilecek bir YSA modeli geliştirilmiştir. SŞA den farklı boyutlar için elde edilen serbest titreşim frekansları YSA kullanılarak modellenmiş ve YSA modeli çıktılarının Sonlu Şeritler Analizi çıktılarına oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Degenkolb, Oris H., "Concrete Box Girder Bridges", American Concrete Institute, Michigan, 1986.
- [2] Rowe, R.E., "Concrete Bridge Design", Applied Science publisher Ltd., London, Fourth Edition, 1976.
- [3] Cheung, Y.K. and Cheung, M.S., "Free vibration of curved and straight beam-slab or box girder bridges", IABSE Publication, Vol.32(2), pp.41-52, 1972.
- [4] Razaqpur, A.G. and Li, H.G., "Thin walled multi-cell box girder finite element", J. Structural Engineering, Vol.117, No.10, pp:2953-2971, 1991.
- [5] Tayşi, N. And Özakça, M., "Free vibration analysis and shape optimization of box girder bridges in straight and curved planform", Engineering Structures, Vol. 24, pp.625-637, 2002. Bathe, K.J., Finite Element Procedures, Prentice-Hall, 2000.
- [6] Çevik, A., "A New Approach for Elastoplastic Analysis of Structures: Neural Networks", PhD Thesis, University of Gaziantep, Turkey, 2006.

