



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy  
2011, Volume: 6, Number: 1, Article Number: 1A0126

**ENGINEERING SCIENCES**

Received: October 2010

Accepted: January 2011

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

**Mahmut Bilgehan<sup>1</sup>, M. Arif Gürel<sup>2</sup>  
R. Kadir Pekgökgöz<sup>3</sup>, Murat Kısa<sup>4</sup>**

Zirve University<sup>1</sup>

Harran University<sup>2-3-4</sup>

mahmut.bilgehan@zirve.edu.tr

agurel@harran.edu.tr

recepkdir@harran.edu.tr

mkisa@harran.edu.tr

Gaziantep-Turkey

**ÇATLAKLI BASINÇ ÇUBUKLARINDAKİ BURKULMA PROBLEMİNİN TRANSFER MATRİSİ  
YÖNTEMİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE İNCELENMESİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada, ilerlemeyen tek bir kenar çatlaklı olan sabit dikdörtgen kesitli narin basınç çubuklarının burkulma problemi Transfer Matrisi Yöntemi (TMY) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) ile incelenmeye çalışılmıştır. Elde edilmiş olan sonuçlar, daha önce burkulma ve titreşim gibi teknik problemlere uygulanarak etkinliği görülmüş olan TMY yanında, YSA yönteminin de çatlaklı basınç çubuklarının ve kolonların burkulma yüklerinin belirlenmesinde etkili ve güvenilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Narin Prizmatik Çubuklar, Burkulma, Açık Kenar Çatlaklı, Yapay Sinir Ağları, Transfer Matrisi Yöntemi

**ANALYSIS OF BUCKLING PROBLEM OF THE CRACKED COMPRESSION RODS USING TRANSFER  
MATRIX METHOD AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

**ABSTRACT**

In this work, the buckling problem of constant rectangular cross-sectional slender prismatic compression members having a nonpropagating open edge crack is investigated by Transfer Matrix and Neural Network methods. Obtained results show that, besides the Transfer Matrix Method whose efficiency on technical problems such as buckling and vibration has been seen previously, the Neural Network Method also an efficient and reliable method for determination of buckling load of cracked compression members and columns.

**Keywords:** Slender Prismatic Columns, Buckling, Open Edge Crack, Artificial Neural Networks, Transfer Matrix Method

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kolonlar ve basınca çalışan çubuklar değişik mühendislik yapılarında aksel (merkezi) ve dışmerkez yükleri taşımak ve diğer elemanlara iletmek için inşa edilen önemli yapı elemanlarıdır. Narin kolonlarda ve çubuklarda taşıma kapasitesi genellikle burkulma olayı tarafından kontrol edilmektedir. Bir kolon ya da basınç çubuğunun burkulması; kritik bir yük altında, küçük bir yanıl yük gibi bozucu bir etki ile aniden doğrusal konumundan ayrılıp, bu ilk konumuna yakın eğrisel bir şekil alması olayıdır. Farklı sınır koşullarına sahip kusursuz kolon ve basınç çubuklarının değişik yükleme durumları altındaki elastik burkulma hesabı literatürde ayrıntılı olarak incelenmiştir [1 ve 2].

Kolonlar ve diğer yapı elemanları çatlaklar gibi zayıflıklar içerebilirler. Çatlaklar, eleman malzemesinde mevcut olan kusurlardan, uzun süreli kullanımdan, çarpma etkisinden ya da etki ediyorsa tekrarlı yüklemeler gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Çatlakların mevcudiyeti yapı elemanlarının ve dolayısıyla tüm yapının statik ve dinamik davranışını etkileyerek, eleman veya yapının tasarım kritik yük değerlerinden daha düşük yüklerde göçmesine yol açabilir. Dolayısıyla, çatlakların yapısal elemanların statik ve dinamik davranışları üzerinde, özellikle yapı, makina ve deprem mühendisliği açısından büyük önemi vardır.

Çatlaklı kolonların kararlılık problemi konusunda birçok çalışma vardır. Bunlardan bazıları şöyle özetlenebilir: Liebowitz ve diğerleri [3]'nin yaptığı çalışma bu konudaki ilk çalışmadır. Anifantis ve Dimarogonas [4] izleyen ya da düşey durumdaki yük altında bulunan, tek bir kenar çatlağı olan kolonların kararlılık problemini incelemek için genel bir esneklik matrisi geliştirmişlerdir. Nikpour [5] çatlaklı kompozit kolonların burkulmasını ele almıştır. Takahashi [6] TMY ile değişken kesitli Timoshenko kirişlerinin kararlılık ve titreşimini incelemiştir. Kishen ve Kumar [7] sonlu elemanlar metodu ile çatlaklı olan ve dışmerkez yüklü durumdaki kolonların davranışını incelemiştir. Gürel [8] daire kesite sahip çok çatlaklı narin prizmatik kolonların burkulma problemini ele almıştır.

Diğer yandan YSA, çatlaklı kolon ve basınç çubuklarının kritik burkulma yüklerinin belirlenmesinde alternatif bir yöntem olarak düşünülebilir. Bilindiği gibi YSA; insan beyninin ve sinir sistemlerinin yapısını ve çalışma özelliklerini örnek alan bir hesaplama yöntemidir. Bu teknik, mühendislik, tıp ve ticaret gibi birçok disiplinde kullanılmaktadır. Özel olarak inşaat mühendisliğinde YSA; malzeme davranışının modellenmesi, yapısal çözümleme ve tasarım, hasar belirleme, yapı dinamiği ve yapısal kontrol gibi birçok alanda başarıyla uygulanmıştır.

Bu makalenin ikinci bölümünde çalışmanın önemi vurgulanmıştır. Üçüncü bölümde tek çatlaklı kolonlar için TMY'nin formülasyonu verilmiştir. YSA yöntemi ve bu çalışmada kullanılan YSA modelinin yapısı dördüncü bölümde sunulmuştur. Transfer matrisi ve YSA yöntemlerinin örnek çatlaklı bir kolona uygulaması ve bu yöntemlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılması beşinci bölümde yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar ise son bölümde özetlenmiştir.

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, ilerlemeyen tek bir kenar çatlağına sahip dikdörtgen kesitli prizmatik narin kolonların burkulma yüklerinin belirlenmesinde YSA'nın uygulanabilirliğinin ve potansiyelinin belirlenmesi amacıyla iki girdili ve bir çıktılı YSA ağ mimarisi oluşturulmuştur. Ağın girdi elemanlarına çeşitli değerler verilerek eğitim seti oluşturulmuştur. Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra daha önceden eğitim sırasında kullanılmayan veri grupları ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yeter yaklaşıklıkla bulunmuştur.

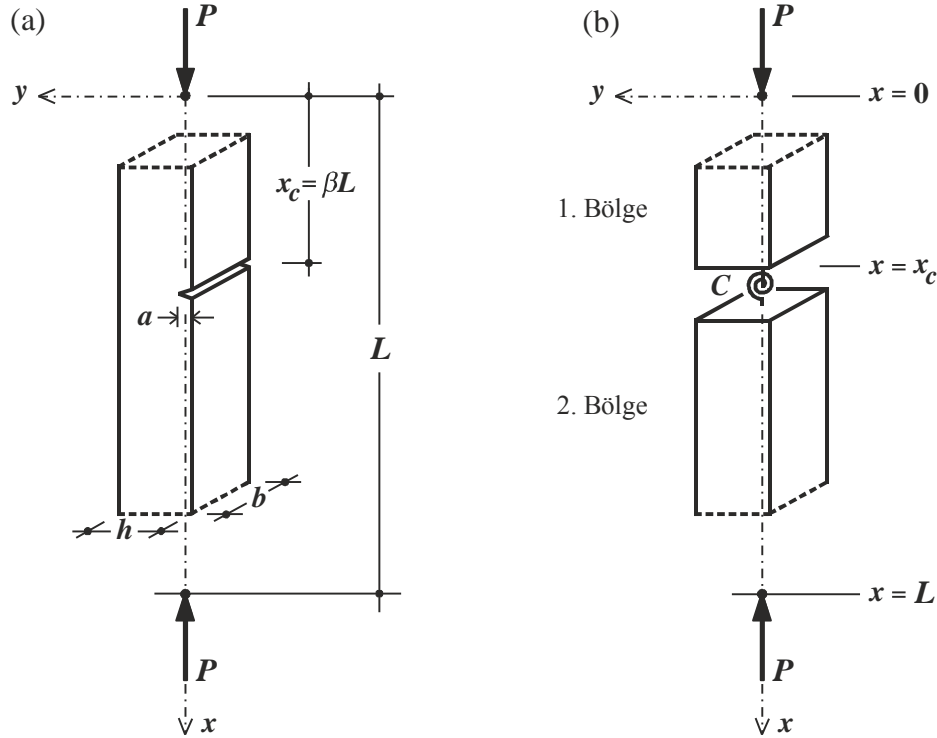
### 3. TEK ÇATLAKLI KOLONLARIN BURKULMA HESABI İÇİN TRANSFER MATRİSİ YÖNTEMİ (TRANSFER MATRIX METHOD FOR THE BUCKLING ANALYSIS OF SINGLE CRACKED COLUMNS)

Bu bölümde sunulan matris formülasyonu için genel olarak Gürel [8]'den yararlanılmıştır. Şekil 1(a) ilerlemeyen tek bir kenar çatlakla sahip, dikdörtgen kesitli, narin ve prizmatik bir kolon ya da basınç çubuğunu göstermektedir. Genel olması amacıyla kolonun uç şartları bu aşamada belirtilmemiştir. Çatlak, kolonun üst ucundan itibaren  $x_c$  mesafede yer almaktadır. Kolonun matematik modeli Şekil 1(b)'de görülmektedir. Burada, çatlaklı kesit esnekliği  $C$  olan bir dönme yayı ile modellenmiştir. Çatlak derinliği olan  $a$  ve kesit yüksekliği olan  $h$ 'in bir fonksiyonu olan bu büyüklük Shifrin ve Ruotolo [9] tarafından şöyle verilmektedir:

$$C = 5.346hf(\xi) \quad (1)$$

Bu ifadede  $\xi = a/h$  boyutsuz çatlak derinliğidir. Boyutsuz yerel esneklik fonksiyonu olan  $f(\xi)$  şekil değiştirme enerjisi fonksiyonundan hesaplanmakta ve yine Shifrin ve Ruotolo [9] tarafından şu şekilde ifade edilmektedir:

$$f(\xi) = 1.8624\xi^2 - 3.95\xi^3 + 16.375\xi^4 - 37.226\xi^5 + 76.81\xi^6 - 126.9\xi^7 + 172\xi^8 - 143.97\xi^9 + 66.56\xi^{10} \quad (2)$$



Şekil 1. (a) İlerlemeyen tek çatlaklı olan kolon,  
(b) kolonun hesap modeli

(Figure 1. (a) A slender column with a non-propagating edge crack,  
(b) Its mathematical model)

Dönme yayı ile kolonun iki bölgeye ayrılmış olduğu (1. Bölge:  $0 \leq x \leq x_c$ , 2. Bölge:  $x_c \leq x \leq L$ ) görülmektedir. 1. Bölgenin burkulmasını idare eden diferansiyel denklem şöyle yazılabilir [2]:

$$\frac{d^4 y_1}{dx^4} + k^2 \frac{d^2 y_1}{dx^2} = 0 \quad (3)$$

Bu ifadede  $k^2 = P/EI$  olup,  $P$  ve  $EI$  sırasıyla eksenel yükü ve kolon eğilme rijitliğini göstermektedir. Bu durumda, yer değiştirme, eğim, eğilme momenti ve kesme kuvveti arasında şu bağıntılar yazılabilir:

$$\left. \begin{aligned} \theta_1(x) &= \frac{dy_1}{dx} \\ M_1(x) &= -EI \frac{d^2 y_1}{dx^2} \\ V_1(x) &= \frac{dM_1}{dx} - P \frac{dy_1}{dx} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(3)'deki denklemin genel çözümü;

$$y_1(x) = A_1 + A_2 x + A_3 \sin(kx) + A_4 \cos(kx) \quad (5)$$

olarak verilebilir. Şimdi (4) ve (5) ifadeleri kullanılarak;

$$\begin{Bmatrix} y_1(x) \\ \theta_1(x) \\ M_1(x) \\ V_1(x) \end{Bmatrix} = [B(x)] \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

bağıntısı yazılabilir. Bu ifadede;

$$[B(x)] = \begin{bmatrix} 1 & x & \sin(kx) & \cos(kx) \\ 0 & 1 & k \cos(kx) & -k \sin(kx) \\ 0 & 0 & P \sin(kx) & P \cos(kx) \\ 0 & -P & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

olduğu kolayca gösterilebilir. 1. bölgenin iki ucunda, yukarıda yazılan parametreler arasındaki ilişki şöyle ifade edilebilir:

$$\begin{Bmatrix} y_1(x_c) \\ \theta_1(x_c) \\ M_1(x_c) \\ V_1(x_c) \end{Bmatrix} = [T_1] \begin{Bmatrix} y_1(0) \\ \theta_1(0) \\ M_1(0) \\ V_1(0) \end{Bmatrix} \quad (8)$$

Bu ifadede

$$[T_1] = [B(x_c)][B(0)]^{-1} \quad (9)$$

olup, bu matris 1. Bölgenin üst ucundaki ( $x = 0$ ) büyüklükleri bölgenin alt ucundaki ( $x = x_c$ ) büyüklüklere transfer ettiği, yani geçiş sağladığı, için bu matrise 1. Bölge için transfer matrisi adı verilebilir.

1. ve 2. Bölgelerin birleşim yerinde yer değiştirmeler, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri arasında bir süreklilik varken, çatlaklı kesiti temsil eden dönme yayının kendisindeki dönmeden dolayı eğimler arasında bir süreksizlik söz konusu olur. Dolayısıyla bu koşullar

$$\left. \begin{aligned} y_1(x_c) &= y_2(x_c) \\ y_1'(x_c) &= y_2'(x_c) \\ y_1''(x_c) &= y_2''(x_c) \end{aligned} \right\} \quad (10a)$$

$$\begin{aligned} \theta_2(x_c) - \theta_1(x_c) &= y_2'(x_c) - y_1'(x_c) = \Delta\theta(x_c) \\ &= Cy_1''(x_c) = -C \frac{M_1(x_c)}{EI} \end{aligned} \quad (10b)$$

şeklinde ifade edilebilir. (10a) ve (10b) ifadeleri matris formunda

$$\begin{Bmatrix} y_2(x_c) \\ \theta_2(x_c) \\ M_2(x_c) \\ V_2(x_c) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\frac{C}{EI} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1(x_c) \\ \theta_1(x_c) \\ M_1(x_c) \\ V_1(x_c) \end{Bmatrix} \quad (11)$$

olarak yazılabilir. Şimdi ise (8) ifadesinin (11)'e yazılması

$$\begin{Bmatrix} y_2(x_c) \\ \theta_2(x_c) \\ M_2(x_c) \\ V_2(x_c) \end{Bmatrix} = [T_{1c}] \begin{Bmatrix} y_1(0) \\ \theta_1(0) \\ M_1(0) \\ V_1(0) \end{Bmatrix} \quad (12)$$

bağıntısını netice verir, ki burada görülen  $[T_{1c}]$  matrisi

$$[T_{1c}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -\frac{C}{EI} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} [T_1] \quad (13)$$

olarak karşımıza çıkar. 2. bölgenin alt ucu ile 1. bölgenin üst ucundaki büyüklükler arasında ise (12) ve (8) ifadeleri yardımıyla

$$\begin{Bmatrix} y_2(L) \\ \theta_2(L) \\ M_2(L) \\ V_2(L) \end{Bmatrix} = [T_2] \begin{Bmatrix} y_2(x_c) \\ \theta_2(x_c) \\ M_2(x_c) \\ V_2(x_c) \end{Bmatrix} \\ = [T_2][T_{1c}] \begin{Bmatrix} y_1(0) \\ \theta_1(0) \\ M_1(0) \\ V_1(0) \end{Bmatrix} = [T] \begin{Bmatrix} y_1(0) \\ \theta_1(0) \\ M_1(0) \\ V_1(0) \end{Bmatrix} \quad (14)$$

ifadesi yazılmış olur. Burada

$$[T] = [T_2][T_{1c}] \quad (15)$$

olup, bu matris

$$[T] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{bmatrix} \quad (16)$$

formundadır. Bu matrise kolonun transfer matrisi denebilir.

Artık, çatlaklı bir kolon için mesnet şartları (14) ifadesinde dikkate alınarak kolonun ya da basınç çubuğunun burkulma koşulu kolayca ifade edilebilir. Örneğin altta ankastre mesnetli üstte ise serbest durumda olan bir kolon (konsol kolon) için bu koşulu yazalım: Böyle bir kolon için  $x = 0'$ 'da  $M_1(0) = 0$  ve  $V_1(0) = 0$ ,  $x = L'$ 'de ise  $y_2(L) = 0$  ve  $\theta_2(L) = 0$  olduğu açıktır. Dolayısıyla, kolon için (14) bağıntısı

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_2(L) \\ V_2(L) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1(0) \\ \theta_1(0) \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (17a)$$

durumuna gelir, bu ifade de

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1(0) \\ \theta_1(0) \end{Bmatrix} \quad (17b)$$

haline indirgenir. Aşıkâr çözümün dışında bir çözüm elde etmek için (17b) ifadesindeki matrisin determinantının sifıra eşit olması gerektiği düşünülürse

$$T_{11}T_{22} - T_{12}T_{21} = 0 \quad (18)$$

olarak kolonun burkulma koşulu elde edilir. Aynı prosedürü izleyerek diğér şekillerde mesnetli kolonlar için de burkulma koşulları kolayca elde edilebilir.

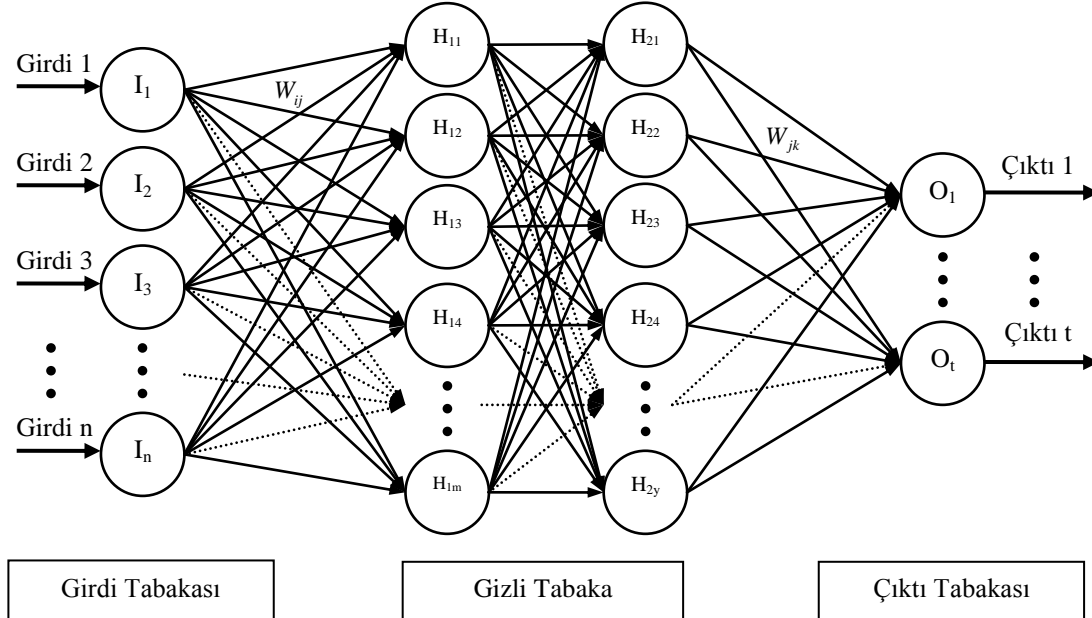
(16) ifadesinde görülen  $[T]$  transfer matrisinin  $T_{ij}$  elemanları belirlendikten sonra (18) ifadesinin kullanılması ile ele alınan örnek kolon için burkulma koşulu

$$\cos(kL) - Ck \sin(\beta kL) \cos[(1 - \beta)kL] = 0 \quad (19)$$

şeklinde açık formda elde edilmiş olur. Bu ifadede görülen  $k$  parametresinin  $k^2 = P/EI$  olduğu daha önce belirtilmişti.

#### 4. YAPAY SINIR AĞLARININ TEK ÇATLAKLI KOLONLARIN BURKULMA ANALİZİNE UYGULANMASI (APPLICATION OF THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TO THE BUCKLING ANALYSIS OF SINGLE CRACKED COLUMNS)

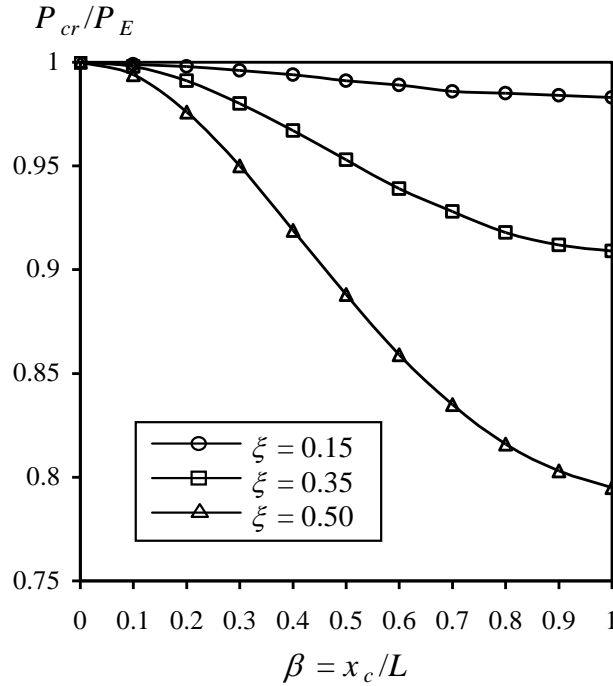
Bu çalışmada tek çatlaklı kolonların burkulma analizi için tipik bir çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı modeli kullanılmıştır. Tipik bir sinir ağı mimarisi Şekil 2'de verilmiştir [10 ve 11]. Problem, çatlağın derinliği, çatlağın yeri ve mesnet şartı faktörlerini içeren lineer olmayan girdi çıktı ilişkisi ile tanımlanabilmektedir. Girdi vektörü, boyutsuz çatlak derinliği ve boyutsuz çatlak yeri olmak üzere iki girdiden; çıktı vektörü ise her bir kolon için elde edilen kritik burkulma yükü değerinden oluşmaktadır. Geri beslemeli yapay sinir ağı algoritması dikkate alınan sinir ağı simülasyonuna uygulanmıştır. Her veri çifti iki kümeye ayrılmıştır. Birincisi öğrenme kümesi, ikincisi ise test kümesidir. Veri kümesi analiz yapılmadan önce normalize edilmiş ve ileri beslemeli geri yayımlı sinir ağının tahmin edebilme kapasitesi test edilmiştir.



Şekil 2. Tipik bir YSA mimarisi  
(Figure 2. A typical ANN architecture)

## 5. MATRİS VE SİNİR AĞI METOTLARININ ÖRNEK BİR ÇATLAKLI ÇUBUĞUN BURKULMASINA UYGULANMASI VE SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI (APPLICATION OF THE MATRIX METHOD AND NEURAL NETWORKS MODEL TO THE SAMPLE CRACKED COLUMN/ROD AND COMPARISON OF THE RESULTS)

Bu kısımda yukarıda ele alınan yöntemlere bir uygulama olması için ve ayrıca  $a = \xi h$  çatlak derinliği ve  $x_c = \beta L$  çatlak yerinin burkulma yükü üzerindeki etkilerini incelemek için altta ankastre - üstte serbest bir basınç çubuğu ele alınmıştır. Çubuk boyunun  $L = 0.65$  m, kesit boyutlarının  $h = b = 0.03$  m ve malzemesi için  $E = 2 \times 10^4$  kN/cm<sup>2</sup> olduğu kabul edilmiştir. Bu özelliklerdeki çubuk için burkulma yükü / çatlaksız durumdaki Euler burkulma yükü ( $P_{cr}/P_E$ ) değerleri, boyutsuz çatlak yeri parametresi  $\beta = x_c/L$ 'e bağlı olarak, boyutsuz çatlak derinliği parametresi  $\xi = a/h$ 'in 0.15, 0.35 ve 0.50 değerleri için hesaplanıp, Şekil 3'de çizilmiştir. Çatlaksız çubuk için Euler burkulma yükü bilinen  $P_E = \pi^2 EI / (2L)^2$  ifadesiyle belirlenmiştir.



Şekil 3. İncelenen konsol basınç çubuğu için  $P_{cr}/P_E$  oranının boyutsuz çatlak yeri  $\beta$  ve boyutsuz çatlak derinliği  $\xi$ 'ye bağlı değişimi

(Figure 3. Variation of the  $P_{cr}/P_E$  depending on the dimensionless crack depth ( $\xi$ ) and the dimensionless crack location ( $\beta$ ) for considered fixed-free supported rod)

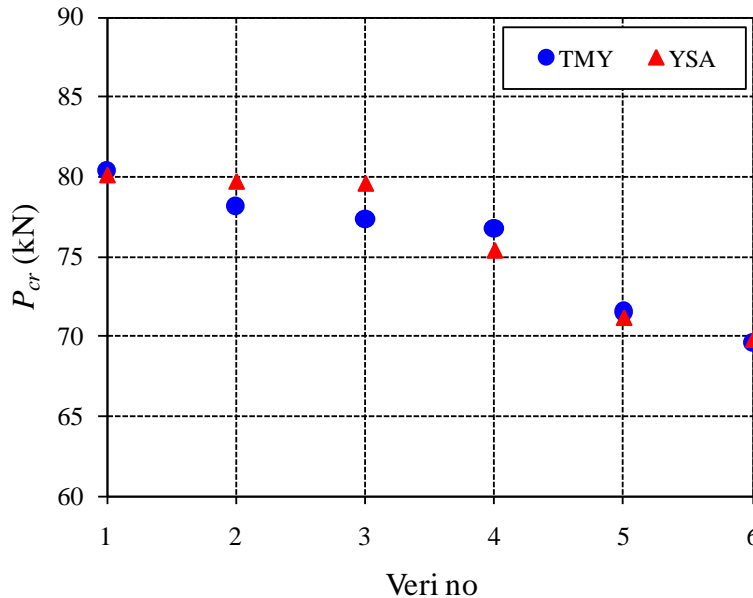
Şekilden, boyutsuz çatlak derinliği parametresi  $\xi$  ve dolayısıyla çatlak derinliği arttıkça  $P_{cr}/P_E$  oranının, dolayısıyla  $P_{cr}$  burkulma yükünün azaldığı açıkça görülmektedir. Burkulma yükündeki en büyük azalma  $\xi = 0.50$  için olup, %20.50, ( $P_{cr}/P_E = 0.795$ ) olarak belirlenmiştir. Diğer yandan, sabit bir çatlak derinliği için, ankastre mesnede yakın bir çatlağın burkulma yükünde daha büyük bir azalmaya yol açtığı da şekilden görülebilmektedir. Bu durum, bir konsol basınç çubuğunda ya da kolonda en büyük eğilme momenti mesnetten oluştuğu için buraya yakın bir çatlağın, kırılma mekaniği ve mukavemetten bilindiği üzere, en büyük elastik enerji düşüşüne yol açması gerçeğiyle açıklanabilir.

Her bir çubuk için matris metodu ile elde edilen kritik burkulma yükü değerleri ( $P_{cr}$ ) YSA modelini eğitmek için kullanılmıştır. Dikkate alınan mesnet şartı (altta ankastre-üstte serbest) için 33 adet veri seti eğitim

için kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modeli 6 adet veri seti ile test edilmiştir.

Bu çalışmada MATLAB ortamında yazılan bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Ağırlıkları ayarlamak için burada kullanılan yöntem Rumelhart ve diğerleri [12] tarafından önerilen delta kuralıdır. YSA simülasyonu için öğrenme hızını arttırmak için öğrenme oranı kullanılmıştır. Gizli tabakadaki nöron sayısı deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. Eğitim evresi 2000 devir (epoch) ile sınırlandırmıştır. Dikkate alınan mesnet durumu için gizli tabakadaki optimum nöron sayısı 5 olarak elde edilmiştir. YSA modeli test edildikten sonra elde edilen sonuçlar ortalama karesel hataların kare kökü (RMSE) ve korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) istatistiksel parametreleri dikkate alınarak kıyaslanmıştır.

Kritik burkulma yükü tahmini için oluşturulan YSA modeli için en son elde edilen mimari birçok denemeden sonra elde edilen 2-5-1 şeklinde ifade edilen YSA yapısı 2 girdi, 5 gizli tabaka nöronu ve 1 çıktı nöronunu ifade etmektedir. Ayrıca burada test aşaması için RMSE ve  $R^2$  değerleri, sırasıyla 1.25 ve 0.957 olarak elde edilmiştir. Matris metodu ve YSA modelleri ile tahmin edilen kritik burkulma yükü değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4'te gösterilmiştir. Grafikten de görülebileceği gibi YSA ve matris metodunda elde edilen değerler birbirine oldukça yakındır.



Şekil 4. TMY ve YSA metotlarının altta ankastre - üstte serbest mesnetli basınç çubuğu için kritik burkulma yükünü tahmin edebilme kapasiteleri (Figure 4. The Plotting of estimation performances of the matrix method and ANN model in critical buckling load estimation of fixed-free supported rod)

## 6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, eksenel yüke maruz, ilerlemeyen tek bir kenar çatlaklı olan sabit dikdörtgen kesitli narin basınç çubuklarının veya kolonların burkulma problemi transfer matrisi yöntemi ve yapay sinir ağları ile incelenmeye çalışılmıştır. Altta ankastre - üstte serbest mesnetli eksenel yüklü basınç çubuğu için kritik burkulma yükü tahmini yapmak üzere geri yayılma algoritmasını ve çok katmanlı ileri yayılmalı YSA modelini kullanan bir çalışma yapılmıştır. Boyutsuz çatlak derinliği ve boyutsuz çatlak yeri değerleri girdi verisi olarak; kritik burkulma yükü ise çıktı verisi olarak kullanılmıştır. YSA modelinin eğitim ve test evresinde bu veri çiftleri kullanılmıştır. Matris metodu ve YSA modelleri tarafından tahmin edilen kritik burkulma yükü değerlerinin karşılaştırılması sonucunda, eksenel yüke maruz çubukların veya kolonların burkulma yüklerinin hesabında sinir



ağlarının kullanımının uygun olduğu, sonuçlar açısından önemli bir kayıp olmaksızın daha az bir hesaplama zamanı gerektireceği bakımından YSA'nın kullanımının yararlı olacağı sonucuna varılabilmektedir.

Bu çalışmada narin basınç çubukları dikkate alınmıştır. Ancak yazarlar, daha ileri bir çalışma olarak, kayma etkisinin de dikkate alınması gereken kalın kolonlara da uygulamayı planlamaktadırlar.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

1. Bazant, Z.P. and Cedolin, L., (1991). Stability of Structures: Elastic, Inelastic, Fracture and Damage Theories. New York: Oxford University Press.
2. Timoshenko, S.P. and Gere, J.M., (1961). Theory of Elastic Stability. 2nd ed., New York: McGraw-Hill.
3. Liebowitz, H., Vanderveldt, H., and Harris, D.W., (1967). Carrying Capacity of Notched Columns, International Journal of Solids and Structures, Volume: 3, pp: 489-500.
4. Anifantis, N. and Dimarogonas, A., (1983). Stability of Columns with a Single Crack Subjected to Follower and Vertical Loads. International Journal of Solids and Structures, Volume: 19, pp: 281-291.
5. Nikpour, K., (1990). Buckling of Cracked Composite Columns. International Journal of Solids and Structures, Volume: 26, pp: 1371-1386.
6. Takahashi, I., (1999). Vibration and Stability of Non-uniform Cracked Timoshenko Beam Subjected to Follower Force, Computers and Structures, Volume: 71, pp: 585-591.
7. Kishen, J.M.C. and Kumar, A., (2004). Finite Element Analysis for Fracture Behavior of Cracked Beam-Columns. Finite Elements in Analysis and Design, Volume: 40, pp: 1773-1789.
8. Gürel, M.A., (2007). Buckling of Slender Prismatic Circular Columns Weakened by Multiple Edge Cracks. Acta Mechanica, Volume: 188, pp: 1-19.
9. Shifrin, E.I. and Ruotolo, R., (1999). Natural Frequencies of a Beam with an Arbitrary Number of Cracks. Journal of Sound and Vibration, Volume: 222, pp: 409-423.
10. Bilgehan, M., (2010). A Comparative Study for the Concrete Compressive Strength Estimation using Neural Network and Neuro-Fuzzy Modelling Approaches. Nondestructive Testing and Evaluation, DOI: 10.1080/10589751003770100.
11. Bilgehan, M. and Turgut, P., (2010). The use of Neural Networks in Concrete Compressive Strength Estimation. Computers and Concrete, Volume: 7(3), pp: 271-283.
12. Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., and Williams, R.J., (1986). Learning Internal Representation by Error Propagation. Inf: Parallel Distributed Processing, In: Rumelhart, D.E. and McClelland, J.L. (Ed.), Vol. 1: Foundations, Cambridge, Massachusetts, USA: MIT Press.