

BETONARME KOLON KESİTLERİNİN HESABI İÇİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE GELİŞTİRİLEN YENİ FORMÜLLER

Ahmet BUDAK, İbrahim CAN

Atatürk University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 25240/Erzurum

Geliş Tarihi : 25.02.2004

ÖZET

Betonarme kolonların taşıma gücüne göre donatı hesabı, birçok araştırmacı tarafından incelenmiş ve çeşitli yöntemler önerilmiştir. Önerilen bu yöntemlerin hemen, hemen tamamında çözüme gidebilmek için bazı abak ve/veya tabloların kullanılması zorunlu olmakta, bazen de bilgisayar kullanılmasına gerek duyulmaktadır. Tablo ve/veya abak kullanılması halinde işlemin zorluğu yanı sıra bazı hatalar da söz konusu olmakta, bilgisayar çözümünde ise bilgisayarın varlığı gerekli olmaktadır. Çalışmada, iki eksenli bileşik eğilme altındaki betonarme kolonların taşıma gücüne göre donatı hesabında sözü edilen sakıncaları ortadan kaldırmak ve daha pratik bir çözüm getirebilmek için yapay sinir ağları kullanılarak bazı bağıntılar elde edilmesi amaçlanmıştır. Bağıntılar, değişik donatı çeliği (S220 and S420) ve donatı yerleşimi durumları için veriler üretilerek yapay sinir ağlarının eğitilmesi sonucunda elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Betonarme kolonlar, Donatı, Yapay sinir ağları

NEW IMPROVED FORMULAS FOR R/C COLUMNS SECTIONS BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

Ultimate strength design of the reinforced concrete (R/C) columns had been investigated and proposed several methods by researchers. Some of these methods are based on to use tables and/or charts while the others are required computer program. Using table or chart is slow and laborious and causes some errors. On the other hand, one must have a computer within reach to use computer program. Our purpose in the present study is to provide simple and reliable formulas for design of rectangular R/C sections subject to axial forces and flexures by artificial neural networks (ANNs). Proposed formulas have been obtained for various steel grades (S220 and S420) and bar arrangements by training ANNs with produced data.

Key Words : Reinforced concrete columns, Reinforcement, Artificial neural network

1. GİRİŞ

Eksenel basınç ve eğilme momentleri altında zorlanan dikdörtgen kesitlerin donatı hesabı, betonarme yapıların projelendirilmesinde mühendislerin çok sık karşılaştığı bir problemdir. Bu problemin çözümünde çoğu zaman abak veya tabloların okunmasına dayanan yöntemler ile

bilgisayar kullanımına dayanan yöntemler kullanılmaktadır. Tablo ve/veya abak kullanımı hem kullanım açısından zor olmakta ve hem de abak veya tabloların okunması sırasında bazı hatalar ortaya çıkabilmektedir. Problemin bilgisayar destekli çözümü ise pratik uygulamalar için kullanışsız olmaktadır.

Eksenel basınç ve eğilme momentleri altındaki betonarme kolonların taşıma gücüne göre donatı hesabı, oldukça karmaşık bir problem olmasına rağmen, yukarıda sözü edilen sakıncaları ortadan kaldırmak üzere bazı yaklaşık bağıntularla verilebilir (Çakıroğlu ve Özer 1983).

Çalışmada bu amaç doğrultusunda, değişik donatı çeliği ve donatı yerleşimi durumları için bazı bağıntular elde edilmiş, bağıntuların elde edilmesinde yapay sinir ağlarından faydalanılmıştır. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi için denge denklemlerinin analitik çözümünden elde edilen veri yığınları kullanılmıştır.

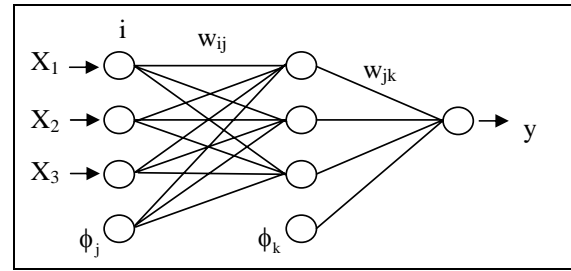
Doğayı taklit etme ürünlerinden biri olan yapay sinir ağları, günümüzde birçok problemin çözümü için kullanılmaktadır. İnşaat mühendisliği konularında da yapay sinir ağı uygulamaları giderek artmaktadır. Yapay sinir ağlarının en önemli yanı tecrübe ve gözleme dayalı problemlerin çözümünde oldukça kullanışlı olmalarıdır. Dolayısı ile yapay sinir ağları yeterli veri olması halinde problemlerin çözümü için kullanışlı sonuçlar verebilmektedir.

(Arslan ve İnce, 1993) yapay sinir ağları ile tek eksenli bileşik eğilme altındaki betonarme kolonların donatı hesabını incelemiş, çalışmasının bu konuda yapılacak çalışmaların ilk adımını teşkil ettiğini belirterek, elde ettiği sonuçların yapay sinir ağlarının bu konuya uygulanmasında başarılı olduğunu belirtmiştir. (Ülker ve Civalek, 2002) yapay sinir ağlarını kullanarak çeşitli mesnet koşulu için eksenel yüklü kolonların burkulma analizini yapmışlar, çalışmalarında buldukları sonuçları gerekli hesaplayıcı ihtiyacı ve süre açısından değerlendirdiklerinde bir hayli başarılı bulmuşlardır. (Civalek ve Ülker, 2004) yapay sinir ağlarını kullanarak plak taşıyıcı sistemlerin lineer ve lineer olmayan analizini yapmışlar, çalışmalarının ön boyutlandırma problemlerinde, gerilme kısıtlayıcısı altında optimizasyon tipi problemlerde yada ön tasarım gerektiren mühendislik ve mimari tasarımlarda kullanılabileceğini göstermişlerdir.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağları, giriş ve çıkış veri kümelerini kullanarak sistem davranışını öğrenebilen esnek bir matematik modelleme yöntemidir. Yapay sinir ağları herhangi bir problem hakkında girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi (doğrusal olsun veya olmasın), mevcut örneklerden genelleme yaparak daha önce hiç görülmemiş veya uygulanmamış olan örneklerle kabul edilebilir çözümler üretir. Öğrenme yeteneği, kolayca farklı problemlere uyarlanabilirliği, genelleme yapabilmesi, daha az bilgi gerektirmesi,

paralel yapılarından dolayı hızlı çalışabilme yeteneği ve kolay bir şekilde uygulanabilmesi gibi pek çok avantajından dolayı yapay sinir ağları mühendisliğin pek çok alanında farklı problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Genellikle bir yapay sinir ağı girdi, gizli ve çıktı tabakaları olmak üzere üç birimden oluşmaktadır. Girdi ve çıktı tabakasında çözülecek problemdeki girdi ve çıktı sayısı kadar nöron bulunur. Gizli tabakadaki nöron sayısının belirli bir sistematiği bulunmamaktadır. Bu tabakadaki nöron sayısı deneme yanılma yolu ile belirlenir (Fausett, 1994). Şekil 1'de tipik bir üç tabakalı yapay sinir ağının yapısı görülmektedir.



Şekil 1. Yapay sinir ağlarının yapısı.

Yapay sinir ağlarının eğitilmesinde genellikle hata geri yayma (backpropagation) algoritması kullanılmaktadır. Hata geri yayma algoritmasının detayı için (Fausett, 1994)'e bakılabilir. Şekil 1'deki y çıktısının hesabı şöyle yapılmaktadır. Önce X_i girdileri w_{ij} ağırlık sayıları ile çarpılarak toplanır ve istenirse bunlara ϕ_j eşik değeri (bias) eklenerek aktivasyon fonksiyonu denen bir F fonksiyonundan geçirilir. Aktivasyon fonksiyonu türevi alınabilen bir fonksiyondur. Sigmoid $\left(\frac{1}{1 + \exp(-x)} \right)^{-1}$ veya hiperbolik tanjant fonksiyonu gibi basit bir fonksiyon olabilir. Böylece gizli tabakadaki nöronların girdileri elde edilmiş olur. Gizli tabakadaki nöronlar için elde edilen bu girdilerde w_{jk} ağırlık sayıları ile çarpılarak toplanır ve yine istenirse ϕ_k eşik değeri eklenerek y çıktısı elde edilir. Yapay sinir ağının eğitilmesinde hata kareler ortalaması performans kriteri olarak kullanılmıştır.

$$y = \sum F \left(\sum w_{ij} X_i + \phi_j \right) w_{jk} + \phi_k \quad (1)$$

Burada, F aktivasyon fonksiyonu, X_i girdiler, w_{ij} girdi tabakası ile gizli tabaka arasındaki ağırlık sayıları, ϕ_j gizli tabakadaki eşik değerleri, w_{jk} gizli tabaka ile çıktı tabakası arasındaki ağırlık sayıları ve ϕ_k çıktı tabakasındaki eşik değeridir.

3. BETONARME KOLONLARIN TAŞIMA GÜCÜNE GÖRE HESABI

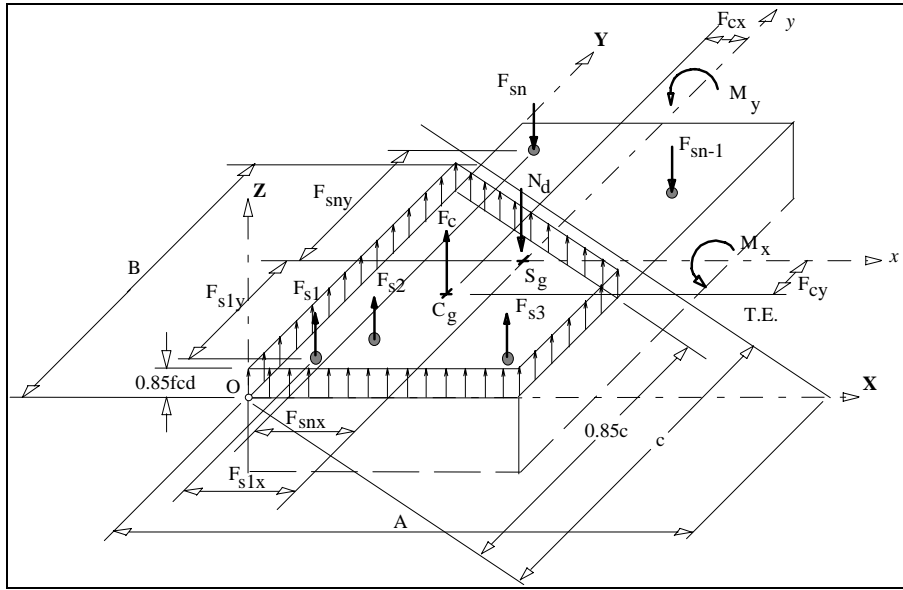
Eksenel kuvvet ve eğilme momentleri etkisindeki betonarme kolonların donatı hesabı birtakım varsayımlar yapılarak üç adet denge denkleminin çözümüne indirgenebilmektedir. Birçok yönetmeliğin kabulleri arasında yer alan ve davranışla da uyum içinde olan bu varsayımlar (Gündüz, 1980; Çakıroğlu ve Özer, 1983; Ersoy, 1985; Kırıl ve Dündar, 1987; Anon., 1992) şöyle özetlenebilir.

1. Taşıma gücüne erişildiğinde beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımı için uygun bir dikdörtgen gerilme dağılımı kabul edilebilir.
2. Taşıma gücüne erişildiğinde tarafsız eksenenden en uzak noktadaki beton basınç

lifindeki birim kısalma değerinin 0.003 olduğu kabul edilebilir.

3. Şekil değiştirmeden sonra düzlem kesitler düzlem kalırlar.
4. Donatı ve beton arasındaki kenetlenme tamdır.
5. Çekme bölgesindeki betonun çatlamış olduğu kabul edilebilir. Dolayısı ile çekme bölgesindeki betonun taşıma gücüne etkisi yoktur.
6. Donatı çeliğinin davranışı için ideal elastoplastik davranış kabul edilebilir. Dolayısı ile herhangi bir donatı çubuğundaki gerilme çelik hesap akma dayanımından büyük olamaz.

Bu varsayımlar doğrultusunda normal kuvvet ve iki eksenli eğilme momenti altında zorlanan betonarme bir kesit için Şekil 2'den yararlanarak denge denklemleri;



Şekil 2. Betonarme kesitte iç ve dış kuvvetler

A_{st} , n , ϵ_{si} , c : Sırasıyla; toplam donatı alanı, donatı çubuğu sayısı, donatı çubuğunda kırılma anındaki şekil değiştirme, tarafsız eksenin en dış beton basınç lifine uzaklığı;

- C_A , C_g , S_g : Beton basınç bölgesi alanı, beton basınç bölgesi ve tüm kesitin ağırlık merkezi
 f_{cd} : Beton hesap basınç dayanımı
 $F_c = 0.85f_{cd}C_A$: Kırılma anında beton basınç bölgesinin taşıyabileceği normal kuvvet
 F_{cx} ve F_{cy} : Beton basınç bölgesi ağırlık merkezinin tüm kesitin ağırlık merkezine olan uzaklıkları
 $F_{si} = f(A_{st}, \epsilon_{si})$: i . donatı çubuğunun kırılma anında taşıdığı normal kuvvet
 F_{six} ve F_{siy} : i . donatı çubuğunun ağırlık merkezinin tüm kesitin ağırlık merkezine olan uzaklıkları

olmak üzere,

$$\left. \begin{aligned} \sum F_z = 0 &\Rightarrow \dots\dots F_c + \sum_{i=1}^n F_{si} = N_d \\ \sum M_y = 0 &\Rightarrow \dots\dots F_c F_{cx} + \sum_{i=1}^n F_{si} F_{six} = M_y \\ \sum M_x = 0 &\Rightarrow \dots\dots F_c F_{cy} + \sum_{i=1}^n F_{si} F_{siy} = M_x \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir.

Tarafsız eksenin yerinin bilinmesi halinde beton basınç bölgesinin alanı ve ağırlık merkezi bulunabilir. Böylece F_c , F_{cx} ve F_{cy} elde edilebilir. Benzer şekilde tarafsız eksene en uzak noktadaki (O) şekil değiştirme ve donatı çubuklarının tarafsız eksene uzaklıkları bilindiğinden donatılardaki şekil değiştirmeler ve gerilmeler, dolayısıyla F_{si} kuvvetleri bulunabilir (Şekil 2).

Tarafsız eksenin yeri ise iki parametre ile tanımlanabilir. Bu amaçla tarafsız eksenin X ve Y eksenlerini kestiği noktaların O noktasına olan A ve B uzaklıkları kullanılabilir (Şekil 2). Böylece; (5) denklemleri tarafsız eksenin yeri ve toplam donatı alanının bulunması için yeterli olur.

Betonarme kolonların donatı hesabının yapay sinir ağları ile çözümü için veri üretilmesi gerekli olmaktadır. Bu amaçla aksenal kuvvet ve iki eksenli eğilme altında zorlanan kolonların donatı hesabı için yukarıda anlatılan yaklaşımı temel alan çalışma kullanılmıştır (Kıral ve Dündar, 1987).

4. BETONARME KOLONLARIN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE DONATI HESABI

4. 1. Kullanılan Yapay Sinir Ağının Yapısı

Bu çalışmada üç tabakalı bir yapay sinir ağı kullanılmıştır. Girdi tabakasında n , m_x ve m_y girdi olarak kullanıldığı için girdi tabakasında üç nöron bulunmaktadır. Çıktı tabakasında sadece problemin çıktısı olan ρ_m mekanik donatı oranı olduğu için bir nöron bulunmaktadır. Gizli tabakada ise üç nöron kullanılması uygun görülmüştür. Oluşturulan veri yığınlarının yaklaşık 2/3 ü ağı eğitilmesinde ve 1/3 ü de ağı test edilmesinde kullanılarak w_{ij} ve w_{jk} ağırlık sayıları geri yayılma (backpropagation) algoritması ile optimize edilmiştir (Fausett, 1994). Kullanılan yapay sinir ağının gizli tabakasında aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik bağıntılı tanjant fonksiyonu, çıktı tabakasında ise lineer bağıntılı fonksiyon kullanılmıştır. Mekanik donatı oranı ρ_m in matematik modelinin matris formu;

$$\rho_m = \{A\}_{1 \times 3} \tanh \left([B]_{3 \times 3} \begin{Bmatrix} n \\ m_x \\ m_y \end{Bmatrix} + \{C\}_{3 \times 1} \right) + D \quad (3)$$

şekindedir. Burada; A ve C vektörleri ile B matrisi ve D sabiti ağırlık katsayılarından meydana gelmektedir.

4. 2. Kullanılan Verilerin Oluşturulması

Betonarme kolonların iki eksenli bileşik eğilme altındaki donatı hesabı; kesit boyutlarına, kesit etkilerine, malzeme dayanımlarına, donatıların yerleşim düzenine ve pas payına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

Yapay sinir ağları ile bu problemin çözümünde yukarıdaki parametrelerin tamamının bu şekli ile kullanılmasının pratiklik açısından uygun olmayacağı düşünülerek, bu parametrelerin etkisini içeren bağıntı (7)'deki boyutsuz ifadeler kullanılmıştır.

$$\left. \begin{aligned} n &= \frac{N_d}{bh f_{ck}}, & m_x &= \frac{M_x}{bh^2 f_{ck}}, \\ m_y &= \frac{M_y}{b^2 h f_{ck}}, & \rho_m &= \rho \frac{f_{yk}}{f_{ck}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Burada;

| | | |
|----------|---|---|
| N_d | : | Normal kuvvet |
| M_x | : | x eksenine etrafında kesiti eğmeye çalışan eğilme momenti |
| M_y | : | y eksenine etrafında kesiti eğmeye çalışan eğilme momenti |
| b | : | y eksenine dik kesit boyutu |
| h | : | x eksenine dik kesit boyutu |
| f_{ck} | : | Beton karakteristik basınç dayanımı |
| f_{yk} | : | Çelik karakteristik dayanımı |
| ρ_m | : | Mekanik donatı oranı |
| ρ | : | Toplam donatı oranı |

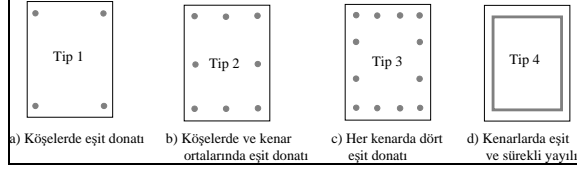
Yapay sinir ağının eğitilmesinde kullanılan veriler, donatı çeliğinin S220 ve S420 olması halleri ile her bir donatı sınıfında dört tip donatı yerleşimi olduğu üzere toplam sekiz grupta üretilmiştir. Her bir grupta için yaklaşık olarak 20,000 adet veri seti üretilmiş, pas paylarının kenarların 0.1'i oranında olduğu kabul edilmiştir. Ek 2'de üretilen veri yığını sayıları ile bunlara örnek olmak üzere St1 çeliği ve Tip 1 donatı yerleşimi için üretilen verilerin bir kısmı gösterilmiştir.

Her bir gruptaki veriler, rastgele üretilen ancak yönetmelik sınırlamalarına uygun olan b, h, N_d , M_x , M_y ve F_{ck} değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Üretilen verilerin yaklaşık üçte ikisi ağı eğitilmesinde kalan üçte biri ise ağı testi için kullanılmıştır.

4. 3. Elde Edilen Bağlantılar

Donatı çeliğinin S220 ve S420 olması halleri ve Şekil 3'de gösterilen donatı yerleşimi durumları için Ek 1'de verilen bağlantılar elde edilmiştir. Bütün

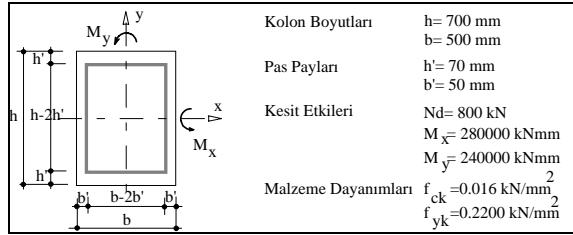
kesitlerde pas paylarının kenarların 0.1'i oranında olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3. Kullanılan donatı yerleşimi durumları

4. 4. Örnekler

Örnek 1 :



Verilen bağıntıların kullanılabilmesi için ilk olarak n , m_x ve m_y değerleri;

$$n = \frac{N_d}{bh f_{ck}} = 0.1428 ; \quad m_x = \frac{M_x}{bh^2 f_{ck}} = 0.0714 ;$$

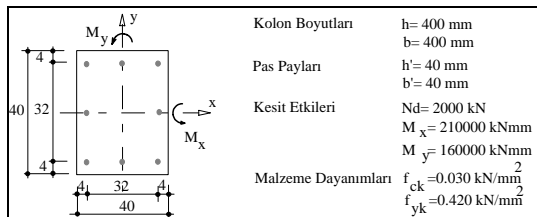
$$m_y = \frac{M_y}{b^2 h f_{ck}} = 0.0857$$

olarak hesaplanır. Örnekte kullanılan donatı çeliği S220 ve donatı yerleşimi dört kenarda eşit yayılı olduğundan;

$$\rho_m = \left[\begin{array}{c} -1624 \\ -689 \\ 966 \\ 433 \\ -330 \\ 1409 \end{array} \right]^T \times \tanh \left(\left[\begin{array}{ccc} 1148 & 569 & -1489 \\ 881 & 1404 & 1465 \\ 1248 & 862 & 5392 \\ 907 & 601 & 7033 \\ 826 & -1979 & 3818 \\ 705 & 247 & 399 \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} 0.1428 \\ 0.0714 \\ 0.0857 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} 63 \\ 15226 \\ -1480 \\ 1933 \\ 751 \\ 1106 \end{array} \right] + \frac{1450}{919} = 0.2317$$

şeklinde E4 bağıntısı kullanılarak bulunur. Hesaplanan mekanik donatı oranı ile toplam donatı oranı $\rho = \rho_m (f_{ck}/f_{yk}) = 0.2317(0.016/0.22) = 1.6857$ olarak elde edilir. Toplam donatı alanı ise; $A_{st} = \rho bh = 58.99 \text{ cm}^2$ olarak bulunur. Denge denklemlerinin çözümünden elde edilen sonuç ise 58.74 cm^2 dir.

Örnek 2 :



$n = 0.4167$; $m_x = 0.1094$; $m_y = 0.0833$ değerleri hesaplandıktan sonra, Örnekte kullanılan donatı çeliği S420 ve donatı yerleşimi köşelerde ve kenar ortalarında eşit donatı olduğundan E6 bağıntısı kullanılarak;

$$\rho_m = \left[\begin{array}{c} 814 \\ 5353 \\ 5564 \\ 87 \\ -4829 \\ 76 \end{array} \right]^T \times \tanh \left(\left[\begin{array}{ccc} -223 & 1213 & -1769 \\ 1086 & 183 & 220 \\ -1294 & -1469 & -1189 \\ 1345 & 2095 & 1770 \\ -298 & -1621 & -942 \\ 309 & 2168 & 1283 \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} 0.4167 \\ 0.1094 \\ 0.0833 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} -572 \\ 683 \\ 1076 \\ 4141 \\ 573 \\ 1916 \end{array} \right] + \frac{2392}{1043} = 0.4142 \quad (5)$$

olarak bulunur. Buna göre donatı oranı $\rho = 0.4142(0.03/0.42) = 0.0295$ olarak elde edilir. Toplam donatı alanı ise $A_{st} = \rho bh = 47.34 \text{ cm}^2$ bulunur. Denge denklemlerinin çözümünden elde edilen sonuç ise 48.12 cm^2 dir.

5. SONUÇLAR

Elde edilen bağıntıların değerlendirilmesi için, kesit etkileri, boyutları ve beton dayanımları rasgele ancak Afet ve TS500 yönetmelikleri çerçevesine uygun seçilen betonarme kolonların donatı alanları, donatı çeliğinin S220 ve S420 olması halleri ile göz önüne alınan tüm donatı yerleşimi tipleri için hesaplanmıştır. Bu amaçla her bir grupta 20.000 adet olmak üzere toplam 80.000 adet kolon, çalışmada elde edilen bağıntılar ve denge denklemlerinin çözümüne dayanan hesap yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Çözümlerden rasgele seçilen bazıları Tablo 1'de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan mutlak ortalama hatanın donatı oranına bağlı olarak değişimi hesaplanmış, bunlar Şekil 4 ve 5'de gösterilmiştir. Tablo 2'de donatı alanlarına ait ortalama mutlak hatalar ile toplam donatının gerçek donatıya oranla bağlı farkı gösterilmiştir. Yine Tablo 2'de $\pm 5\%$ hata sınırı içinde kalan sonuçların tüm sonuçlar içindeki oranı verilmiştir.

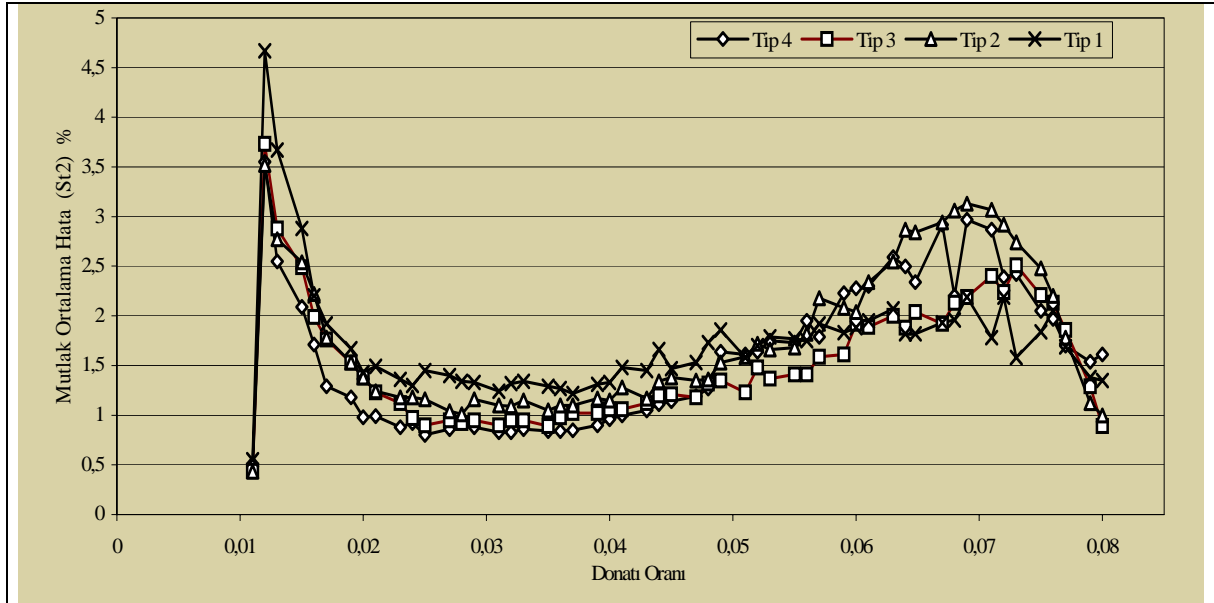
Sonuçların incelenmesinden mutlak hataların yaklaşık tamamının (S220 için % 90, S420 için % 94) kabul edilebilir sınırlar ($\pm 5\%$) içinde kaldığı gözlenmektedir. Hataların nispeten büyük gözüktüğü kesitlere ait kesit tesirleri ve donatı oranları incelendiğinde (Tablo 1), kesit tesirleri arasındaki farkın çok fazla olduğu veya donatı oranlarının çok küçük olduğu görülmektedir. Donatı oranının küçük olması halinde; hata büyük olsa bile, hatadan

kaynaklanan donatı alanı farkının önemsiz olduğu söylenebilir. Bu tarz kolonların da göz önüne alınması halinde elde edilen sonuçların daha büyük bir oranının uygun olduğu anlaşılmaktadır. Öte yandan tablo 4'ün incelenmesinden toplam sonuçlar üzerinde hatadan dolayı oluşan donatı alanı farkının çok küçük olduğu görülmektedir.

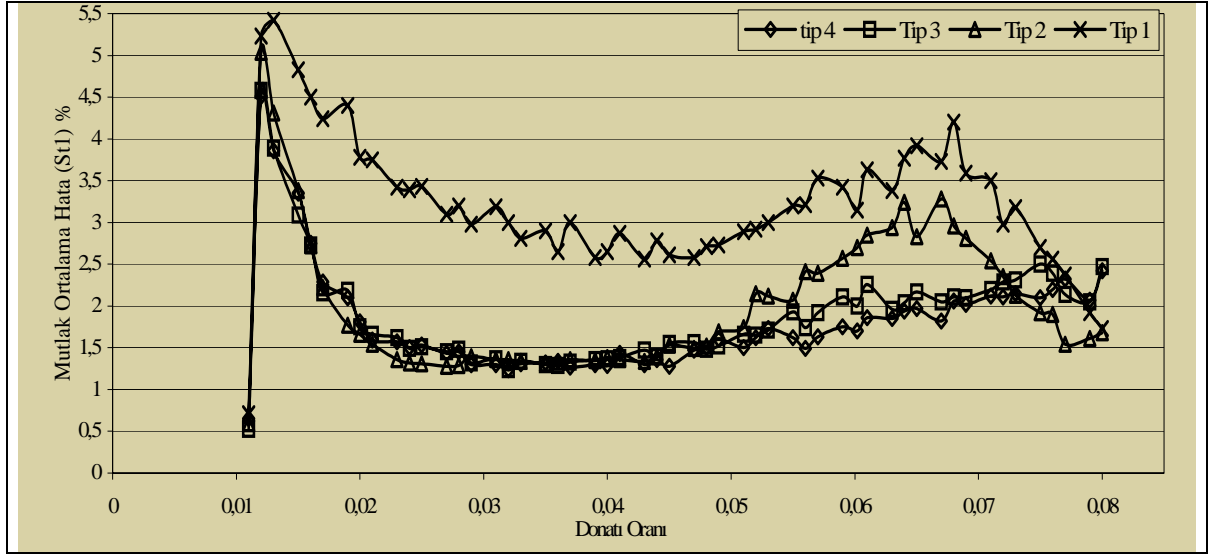
Dolayısı ile elde edilen bağıntıların aksel kuvvet ve iki eksenli eğilme altındaki dikdörtgen kesitli betonarme kolonların donatı hesabında pratik amaçlar doğrultusunda kullanılması uygun görünmektedir. Ayrıca yapay sinir ağlarının bu konuya uygulanmasının da başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 1. Elde Edilen Bağıntılarla Hesaplanan ve Rasgele Seçilen Bazı Sonuçlar

| Kesit Boyutları | | Kesit Etkileri | | | Malzeme Dayanımları | | Kesit Tipi | Donatı Alanı | | Bağıl Hata (%) |
|-----------------|--------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|--------------------|------------|----------------|
| B (mm) | H (mm) | N _d (kN) | M _x (kNm) | M _y (kNm) | f _{ck} (kN/mm ²) | f _{yk} (kN/mm ²) | | Denge Denk. Çözümü | Bu Çalışma | |
| 450 | 300 | 276.2 | 90878 | 191111 | 0.0220 | 0.4200 | 4 | 40.60 | 40.27 | 0.83 |
| 500 | 550 | 2801.0 | 286152 | 196616 | 0.0220 | 0.2200 | 3 | 69.30 | 69.66 | 0.53 |
| 400 | 600 | 1881.5 | 286262 | 247287 | 0.0280 | 0.4200 | 4 | 43.75 | 44.24 | 1.11 |
| 250 | 600 | 2012.4 | 145077 | 51674 | 0.0260 | 0.4200 | 4 | 20.75 | 20.20 | 2.67 |
| 400 | 400 | 432.6 | 135160 | 207859 | 0.0160 | 0.4200 | 4 | 53.44 | 52.90 | 1.02 |
| 550 | 300 | 581.6 | 98753 | 132041 | 0.0150 | 0.2200 | 3 | 47.46 | 46.14 | 2.78 |
| 400 | 550 | 1180.1 | 128502 | 280368 | 0.0180 | 0.2200 | 2 | 82.89 | 83.24 | 0.43 |
| 500 | 400 | 2299.9 | 247990 | 154994 | 0.0250 | 0.2200 | 1 | 68.74 | 69.76 | 1.49 |
| 550 | 400 | 2811.9 | 259412 | 210288 | 0.0220 | 0.4200 | 3 | 71.98 | 72.44 | 0.63 |
| 550 | 500 | 468.0 | 237182 | 135668 | 0.0230 | 0.2200 | 3 | 48.42 | 48.77 | 0.73 |
| 250 | 500 | 380.6 | 36747 | 93181 | 0.0210 | 0.4200 | 3 | 21.69 | 21.37 | 1.50 |
| 400 | 600 | 194.9 | 189497 | 209657 | 0.0140 | 0.4200 | 1 | 40.61 | 40.95 | 0.83 |
| 450 | 550 | 1224.3 | 289257 | 168505 | 0.0170 | 0.2200 | 4 | 72.84 | 71.30 | 2.11 |
| 550 | 250 | 316.2 | 107523 | 240029 | 0.0230 | 0.4200 | 3 | 49.54 | 48.81 | 1.47 |
| 450 | 350 | 937.1 | 55123 | 193127 | 0.0250 | 0.4200 | 3 | 21.55 | 21.68 | 0.61 |
| 400 | 600 | 410.6 | 279787 | 244988 | 0.0290 | 0.2200 | 4 | 88.49 | 89.52 | 1.16 |
| 300 | 450 | 442.2 | 126720 | 62935 | 0.0140 | 0.4200 | 3 | 27.26 | 27.02 | 0.89 |
| 400 | 500 | 1636.7 | 134392 | 155510 | 0.0240 | 0.4200 | 3 | 20.86 | 22.16 | 6.22 |
| 550 | 250 | 816.1 | 38498 | 189958 | 0.0160 | 0.2200 | 1 | 38.88 | 39.55 | 1.72 |
| 400 | 300 | 789.6 | 46870 | 94077 | 0.0140 | 0.2200 | 4 | 38.96 | 39.29 | 0.85 |
| 250 | 600 | 1325.3 | 167400 | 101813 | 0.0150 | 0.4200 | 2 | 49.46 | 49.46 | 0.00 |
| 400 | 600 | 2171.9 | 237590 | 153594 | 0.0250 | 0.2200 | 4 | 35.98 | 37.77 | 4.99 |
| 450 | 350 | 1462.9 | 70450 | 230911 | 0.0180 | 0.4200 | 4 | 51.36 | 50.91 | 0.87 |
| 450 | 300 | 278.6 | 75811 | 148707 | 0.0240 | 0.4200 | 4 | 28.00 | 28.17 | 0.63 |
| 400 | 550 | 1214.3 | 255536 | 162614 | 0.0240 | 0.2200 | 4 | 54.47 | 53.70 | 1.40 |
| 300 | 600 | 1115.0 | 120195 | 217712 | 0.0210 | 0.4200 | 3 | 54.28 | 54.69 | 0.77 |
| 450 | 250 | 115.2 | 77845 | 8909 | 0.0160 | 0.2200 | 2 | 36.92 | 38.71 | 4.85 |
| 450 | 450 | 1069.2 | 236550 | 196457 | 0.0220 | 0.2200 | 2 | 72.98 | 72.10 | 1.21 |



Şekil 4. St2 Çeliği için mutlak ortalama hataların donatı oranına bağlı olarak dağılımı



Şekil 5. St1 Çeliği için mutlak ortalama hataların donatı oranına bağlı olarak dağılımı

Tablo 2. Sonuçların Değerlendirilmesi

| Donatı Çeliği | Kesit Tipi | 0.01 ≤ ρ ≤ 0.004 | | 0.01 ≤ ρ | | ±%5 hata sınırı içinde kalan sonuçların oranı(%) | |
|---------------|------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|---|----------|
| | | Toplam Alan Farkı % | Ortalama Mutlak Hata (%) | Toplam Alan Farkı (%) | Ortalama Mutlak Hata (%) | 0.004 ≤ ρ ≤ 0.01 | ρ > 0.01 |
| S220 | Tip1 | -0.044 | 3.18 | -0.860 | 3.15 | 83.13 | 83.25 |
| | Tip2 | 0.011 | 1.73 | -0.241 | 1.92 | 93.09 | 91.68 |
| | Tip3 | -0.010 | 1.70 | 0.110 | 1.80 | 92.71 | 94.48 |
| | Tip4 | 0.030 | 1.71 | 0.325 | 1.76 | 92.72 | 93.47 |
| S420 | Tip1 | 0.124 | 1.64 | -0.070 | 1.67 | 93.61 | 94.19 |
| | Tip2 | 0.053 | 1.37 | -0.546 | 1.56 | 95.76 | 94.8 |
| | Tip3 | 0.133 | 1.29 | -0.265 | 1.40 | 95.49 | 95.98 |
| | Tip4 | 0.033 | 1.13 | -0.358 | 1.37 | 96.87 | 95.22 |

6. EKLER

Ek 1: İki Eksenli Bileşik Eğilme

a) Donatı Çeliği St1

$$\text{Tip1 } \rho_m = \begin{Bmatrix} \frac{-8024}{8941} \\ \frac{2691}{2437} \\ \frac{199}{3170} \end{Bmatrix}^T \times \tanh \left(\begin{bmatrix} \frac{3391}{1489} & \frac{-1471}{1635} & \frac{-800}{617} \\ \frac{693}{404} & \frac{927}{589} & \frac{2703}{1405} \\ \frac{1273}{4699} & \frac{3512}{277} & \frac{-1439}{86} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} n \\ m_x \\ m_y \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{-212}{1115} \\ \frac{-419}{437} \\ \frac{-613}{619} \end{Bmatrix} + \frac{681}{986} \quad (\text{E1})$$

$$\text{Tip2 } \rho_m = \begin{Bmatrix} \frac{-1372}{1269} \\ \frac{-1951}{1833} \\ \frac{1040}{2297} \end{Bmatrix}^T \times \tanh \left(\begin{bmatrix} \frac{-640}{1387} & \frac{-6746}{1527} & \frac{1239}{845} \\ \frac{-1322}{3349} & \frac{2787}{1771} & \frac{-1545}{346} \\ \frac{-1308}{367} & \frac{-946}{2495} & \frac{-665}{1257} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} n \\ m_x \\ m_y \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{1269}{1925} \\ \frac{1649}{2559} \\ \frac{173}{1337} \end{Bmatrix} + \frac{670}{581} \quad (\text{E2})$$

$$\text{Tip3 } \rho_m = \begin{Bmatrix} \frac{1045}{364} \\ \frac{359}{128} \\ \frac{683}{3005} \end{Bmatrix}^T \times \tanh \left(\begin{bmatrix} \frac{-1835}{1376} & \frac{-149}{486} & \frac{165}{439} \\ \frac{1860}{1433} & \frac{651}{641} & \frac{793}{760} \\ \frac{-1165}{2612} & \frac{8341}{1010} & \frac{-6570}{721} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} n \\ m_x \\ m_y \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{187}{3308} \\ \frac{-1079}{1650} \\ \frac{-1589}{2000} \end{Bmatrix} + \frac{2012}{1263} \quad (\text{E3})$$

$$\text{Tip4 } \rho_m = \begin{Bmatrix} \frac{-1624}{689} \\ \frac{966}{433} \\ \frac{-330}{1409} \end{Bmatrix}^T \times \tanh \left(\begin{bmatrix} \frac{1148}{881} & \frac{569}{1404} & \frac{-1489}{1465} \\ \frac{1248}{907} & \frac{862}{601} & \frac{5392}{7033} \\ \frac{826}{705} & \frac{-1979}{247} & \frac{3818}{399} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} n \\ m_x \\ m_y \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{63}{15226} \\ \frac{-1480}{1933} \\ \frac{751}{1106} \end{Bmatrix} + \frac{1450}{919} \quad (\text{E4})$$

b) Donatı Çeliği St2

$$\text{Tip1 } \rho_m = \begin{Bmatrix} \frac{-581}{451} \\ \frac{7904}{6169} \\ \frac{317}{868} \end{Bmatrix}^T \times \tanh \left(\begin{bmatrix} \frac{-426}{1115} & \frac{115}{447} & \frac{-4889}{1776} \\ \frac{424}{1019} & \frac{1487}{569} & \frac{-547}{1328} \\ \frac{-1114}{291} & \frac{-1598}{9311} & \frac{-647}{2005} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} n \\ m_x \\ m_y \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{1428}{2207} \\ \frac{-792}{1235} \\ \frac{932}{2855} \end{Bmatrix} + \frac{1574}{1209} \quad (\text{E5})$$

$$\text{Tip2 } \rho_m = \begin{Bmatrix} \frac{814}{5353} \\ \frac{5564}{87} \\ \frac{-4829}{76} \end{Bmatrix}^T \times \tanh \left(\begin{bmatrix} \frac{-223}{1086} & \frac{1213}{183} & \frac{-1769}{220} \\ \frac{-1294}{1345} & \frac{-1469}{2095} & \frac{-1189}{1770} \\ \frac{-298}{309} & \frac{-1621}{2168} & \frac{-942}{1283} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} n \\ m_x \\ m_y \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{-572}{683} \\ \frac{1076}{4141} \\ \frac{573}{1916} \end{Bmatrix} + \frac{2392}{1043} \quad (\text{E6})$$

$$\text{Tip3 } \rho_m = \begin{Bmatrix} \frac{16055}{343} \\ \frac{9613}{185} \\ \frac{-753}{3478} \end{Bmatrix}^T \times \tanh \left(\begin{bmatrix} \frac{2045}{2962} & \frac{913}{1473} & \frac{248}{473} \\ \frac{-1022}{1571} & \frac{-679}{1360} & \frac{-431}{984} \\ \frac{191}{6309} & \frac{1416}{205} & \frac{-1781}{296} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} n \\ m_x \\ m_y \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{-228}{2401} \\ \frac{-58}{1523} \\ \frac{2621}{3095} \end{Bmatrix} + \frac{2689}{411} \quad (\text{E7})$$

$$\text{Tip4 } \rho_m = \begin{Bmatrix} \frac{1949}{684} \\ \frac{515}{902} \\ \frac{-1002}{353} \end{Bmatrix}^T \times \tanh \left(\begin{bmatrix} \frac{1261}{8300} & \frac{1364}{537} & \frac{-1489}{1304} \\ \frac{-829}{251} & \frac{-1972}{1323} & \frac{-643}{440} \\ \frac{-609}{3874} & \frac{1471}{1250} & \frac{-12448}{4935} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} n \\ m_x \\ m_y \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \frac{-149}{416} \\ \frac{133}{9012} \\ \frac{1051}{2941} \end{Bmatrix} + \frac{1554}{827} \quad (\text{E8})$$

Ek 2. Üretilen Verilerin Sayısı ve Örnek Veri Yığını

| Donatı Çeliği | Kesit Tipi | Üretilen Toplam Veri Seti Sayısı | Ağın Eğitilmesinde Kullanılan Veri Seti Sayısı | Ağın Testinde Kullanılan Veri Seti Sayısı |
|---------------|------------|----------------------------------|--|---|
| S220 | Tip1 | 19310 | 13000 | 6310 |
| | Tip2 | 19672 | 13000 | 6672 |
| | Tip3 | 19455 | 13000 | 6455 |
| | Tip4 | 19763 | 13000 | 6763 |
| S420 | Tip1 | 19220 | 13000 | 6220 |
| | Tip2 | 19737 | 13000 | 6737 |
| | Tip3 | 19434 | 13000 | 6434 |
| | Tip4 | 19654 | 13000 | 6654 |

Ek 2'ni Devamı

| S220-Tip 1 için ağı eğitilmesinde kullanılan verilerin küçük bir kısmı | | | |
|--|-------|-------|----------|
| n | m_x | m_y | ρ_m |
| 0.412 | 0.061 | 0.048 | 0.07619 |
| 0.511 | 0.055 | 0.057 | 0.14751 |
| 0.444 | 0.048 | 0.069 | 0.11654 |
| 0.298 | 0.061 | 0.07 | 0.10549 |
| 0.196 | 0.035 | 0.095 | 0.13042 |
| 0.084 | 0.069 | 0.039 | 0.1232 |
| 0.147 | 0.036 | 0.072 | 0.08532 |
| 0.071 | 0.06 | 0.018 | 0.08897 |
| 0.15 | 0.034 | 0.09 | 0.13136 |
| 0.188 | 0.063 | 0.059 | 0.10155 |
| 0.04 | 0.036 | 0.053 | 0.11176 |
| 0.033 | 0.023 | 0.067 | 0.14907 |
| 0.102 | 0.017 | 0.073 | 0.0973 |
| 0.371 | 0.076 | 0.05 | 0.10188 |
| 0.053 | 0.023 | 0.053 | 0.08969 |
| 0.165 | 0.078 | 0.036 | 0.09361 |
| 0.212 | 0.038 | 0.083 | 0.09781 |
| 0.041 | 0.035 | 0.047 | 0.09377 |
| 0.108 | 0.02 | 0.068 | 0.08042 |
| 0.123 | 0.066 | 0.034 | 0.08052 |
| 0.473 | 0.066 | 0.055 | 0.14096 |
| 0.129 | 0.05 | 0.053 | 0.07785 |
| 0.288 | 0.082 | 0.036 | 0.07791 |
| 0.369 | 0.053 | 0.082 | 0.12574 |
| 0.015 | 0.029 | 0.037 | 0.08715 |
| 0.07 | 0.024 | 0.069 | 0.11943 |
| 0.147 | 0.087 | 0.022 | 0.1083 |
| 0.094 | 0.056 | 0.058 | 0.11986 |
| 0.201 | 0.038 | 0.081 | 0.09498 |
| 0.015 | 0.03 | 0.034 | 0.08143 |
| 0.082 | 0.035 | 0.06 | 0.09501 |

| S220-Tip 1 için ağı testinde kullanılan verilerin küçük bir kısmı | | | |
|---|-------|-------|----------|
| n | m_x | m_y | ρ_m |
| 0.165 | 0.078 | 0.036 | 0.09361 |
| 0.212 | 0.038 | 0.083 | 0.09781 |
| 0.041 | 0.035 | 0.047 | 0.09377 |
| 0.108 | 0.02 | 0.068 | 0.08042 |
| 0.123 | 0.066 | 0.034 | 0.08052 |
| 0.473 | 0.066 | 0.055 | 0.14096 |
| 0.129 | 0.05 | 0.053 | 0.07785 |
| 0.288 | 0.082 | 0.036 | 0.07791 |
| 0.369 | 0.053 | 0.082 | 0.12574 |
| 0.015 | 0.029 | 0.037 | 0.08715 |
| 0.07 | 0.024 | 0.069 | 0.11943 |
| 0.147 | 0.087 | 0.022 | 0.1083 |
| 0.094 | 0.056 | 0.058 | 0.11986 |
| 0.201 | 0.038 | 0.081 | 0.09498 |
| 0.015 | 0.03 | 0.034 | 0.08143 |
| 0.082 | 0.035 | 0.06 | 0.09501 |
| 0.281 | 0.052 | 0.07 | 0.0815 |
| 0.062 | 0.039 | 0.051 | 0.09137 |
| 0.417 | 0.044 | 0.079 | 0.12027 |
| 0.12 | 0.085 | 0.039 | 0.14293 |
| 0.167 | 0.091 | 0.038 | 0.13453 |
| 0.317 | 0.082 | 0.045 | 0.09944 |
| 0.053 | 0.047 | 0.036 | 0.08478 |
| 0.384 | 0.048 | 0.077 | 0.10413 |
| 0.056 | 0.047 | 0.065 | 0.1434 |
| 0.174 | 0.058 | 0.06 | 0.09564 |
| 0.334 | 0.042 | 0.089 | 0.11483 |
| 0.327 | 0.037 | 0.084 | 0.08833 |
| 0.404 | 0.051 | 0.072 | 0.10442 |
| 0.266 | 0.04 | 0.083 | 0.09191 |
| 0.17 | 0.051 | 0.061 | 0.08214 |

7. KAYNAKLAR

Anonymous, 1989. ACI. Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89), (Revised 1992), Detroit: American Concrete Institute.

Arslan, A. ve İnce, R. 1993. Geriye Yayılma Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Betonarme Kolonların Tasarımı. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, Volume 2, pp. 127-135, Ankara, Türkiye.

Civalek, Ö. ve Ülker, M. 2004. Dikdörtgen Plakların Doğrusal Olmayan Analizinde Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı. İMO Teknik Dergi, Cilt 15, sayı 1, pp. 3171-3190, Ankara, Türkiye.

Çakıroğlu, A. ve Özer, E. 1983. Eğik Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Dikdörtgen Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri, Matbaa

Teknisyenleri Koll.Şti. İstanbul, Türkiye.

Ersoy, U. 1985. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Bizim Büro Basımevi. Ankara, Türkiye.

Fauset, L. 1994. Fundamentals of Neural Networks, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, USA.

Gündüz, A. 1980. Betonarme Taşıma Gücü İlkesine Göre Hesap, Kazmaz Matbaası. İstanbul Türkiye.

Kıral, E. ve Dündar, C. 1987. Eğik Eğilme ve Eksenel Basınç Altındaki Betonarme Kesitlerin Bilgisayar ile Hesabı, Teknik Yayınevi, Ankara, Türkiye.

Ülker, M. ve Civalek, Ö. 2002. Yapay Sinir Ağları İle Eksenel Yüklü Kolonların Burkulma Analizi, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, Volume 26, pp.117-125, Ankara, Türkiye.