Betonarme Kesitlerdeki Moment-Eğrilik İlişkisinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi

[1]*Naci CAGLAR, [2]Hakan OZTURK, [1]Aydin DEMIR, [1]Abdulhalim AKKAYA ve [3]Murat PALA

[1]Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye
[2]Adana Bilim ve Tek. Üniversitesi, Müh. ve Doğa Bil. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Adana, Türkiye
[3]Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman, Türkiye

Özet

Betonarme elemanların davranışının anlaşılabilmesi için kesit davranışının çok iyi bilinmesi gereklidir. Kesit davranışı en gerçekçi olarak moment-eğrilik ilişkisinden izlenebilir. Moment-eğrilik ilişkisi, çeşitli ve karmaşık iterasyon yöntemleri kullanılarak tespit edilebilmektedir. Bu iterasyon yöntemlerinin el ile yapılması ve uygulaması çok pratik olmayıp, ancak hazır paket programlar kullanılarak elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkisi altındaki betonarme dikdörtgen kesitlerin moment-eğrilik ilişkisi Yapay Sinir Ağları (YSA) ile belirlenmiştir. YSA tabanlı model oluşturulurken çok katmanlı sinir ağları kullanılmış ve bu model ölçeklenmiş konjuge gradyan yöntemi ile eğitilmiştir. Eğitim ve test seti için, 200 farklı farklı kesitin davranışı XTRACT programı yardımıyla belirlenmiştir. Betonarme kesitlerin moment-eğrilik ilişkisinin belirlenmesinde sargı etkisi ve donatının pekleşmesi de dikkate alınmıştır. Elde edilen YSA ve XTRACT sonuçları grafikler halinde sunularak karşılaştırılmış ve elde edilen moment-eğrilik ilişkisi performansının çok iyi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme kesit, Moment-eğrilik, Yapay Sinir Ağları

Abstract

In order to be able to understand the behavior of reinforced concrete members, cross sectional behavior should be known. Cross sectional behavior can be best evaluated by moment-curvature relationship. On a reinforced concrete cross section moment-curvature relationship can be determined by some complicated iteration methods. Making these iterations manually is very difficult and not practical. Some spread sheet programs can be used for this purpose.

In this study, moment-curvature relationship of rectangular reinforced concrete sections under axial loading and bending moment is determined by Neural networks. When creating NN based model, multi level neural Networks have been used and that model was trained by scaled konjuge gradient method. Behavior of 200 different cross sections was determined by XTRACT for training and test data. Confinement and strain hardening effect of reinforcement have been taken into account to obtain moment-curvature relationship of reinforced concrete sections. Results of NN and XTRACT presented by graphics have been compared ant it has been verified that their results have provided great accuracy.

Key words: Reinforced concrete cross-section, Moment-curvature, Neural Networks

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: caglar@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955752 Fax: +902642955601

1. Giriş

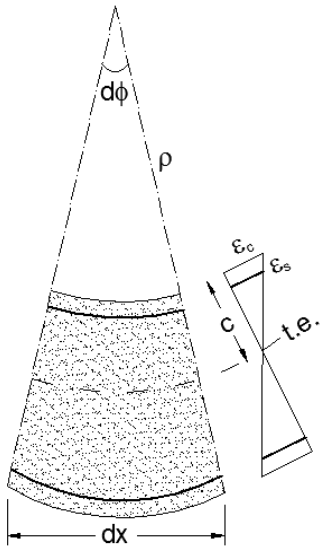
Betonarme yapıların doğru tasarlanabilmesi betonarme elemanların davranışının doğru anlaşılabilmesine bağlıdır. Eleman davranışını ise kesit davranışı belirlemektedir. Kesit davranışı kesitte kullanılan malzeme ve kesitin geometrisine bağlı olup, bu davranışın izlenmesinin en gerçekçi yollarından birisi kesitin moment-eğrilik ilişkisinin bilinmesidir. Moment-eğrilik ilişkisinin izlenmesi ile betonarme kesitin sünekliği, sargı etkisi, kesit mukavemeti ve rijitliğinin değişimi, kabuk ve çekirdek betonlarında oluşacak ezilmeler ve boyuna donatının pekleşmesinin eleman davranışı üzerindeki etkisi gibi konular hakkında bilgi edinilebilir. Bir betonarme kesitte moment-eğrilik ilişkisi çeşitli ve karmaşık iterasyon yöntemleri kullanılarak tespit edilebilmektedir. Bu iterasyon yöntemlerinin el ile yapılması ve uygulaması çok pratik olmayıp, hazır paket programlar kullanılarak elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada, moment-eğrilik ilişkisinin iterasyon yöntemleri kullanılarak elle tespit edilmesinin zorluğu ve pratikte hazır paket programların temini ve kullanımında karşılaşılabilecek sıkıntılar nedeniyle, kullanımı kolay, basit ve alternatif bir model önerilmiştir. Bu çalışmada önerilen bu model, Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak geliştirilmiştir. YSA son yıllarda, birçok sahada olduğu gibi mühendislik çalışma alanlarında da yaygın ve etkin olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kompleks ve doğrusal olmayan ilişkilerin modellenmesinde son derece başarılı sonuçlar vermesi, problemin birtakım kabuller yapılmadan gerçek yapı davranış verileri ile modellenebilmesi, sonuçların çok kısa bir sürede elde edilebilmesi, bulunan sonuçların çoğu zaman tatmin edici bir düzeyde olması gibi özellikler yapay sinir ağlarını analiz problemlerinin çözümünde alternatif bir hesap yöntemi haline getirmektedir [7]. Önerilen YSA modeli ile XTRACT programının sonuçları karşılaştırılmış ve oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar, önerilen YSA modeli ile gerçekçi sonuçlara ulaşılabildiğini göstermektedir.

2. Moment-Eğrilik

Eğilme ve eksenel yük veya yalnız eğilme altındaki betonarme bir kesitin davranışı en iyi moment-eğrilik ilişkisinden izlenebilir. Bir kesitin moment-eğrilik ilişkisi gerçekçi olarak deneyler ile elde edilebilir. Ancak bu hem pratik hem de ekonomik açıdan uygun değildir. Bu nedenle, deney sonuçlarından yararlanılarak analitik olarak moment-eğrilik ilişkisinin elde edilmesine çalışılmıştır. Yapılacak analitik yaklaşımlarda kullanılan malzeme modelleri de, gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için oldukça önemlidir.

Eğrilik, kesitteki deformasyonu simgeleyen geometrik bir parametre olup, birim dönme açısı olarak tanımlanır. Eğrilik, bir elastik eğrideki iki komşu nokta arasındaki açının, bu noktalar arasındaki mesafeye bölünmesi ile elde edilir.



$$\text{Eğğrili } = \kappa = \frac{d\phi}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\rho}$$

$$\kappa = \frac{M}{EI}$$

EI: eğilme rijitliği

Şekil 1: Moment-Eğrilik İlişkisi

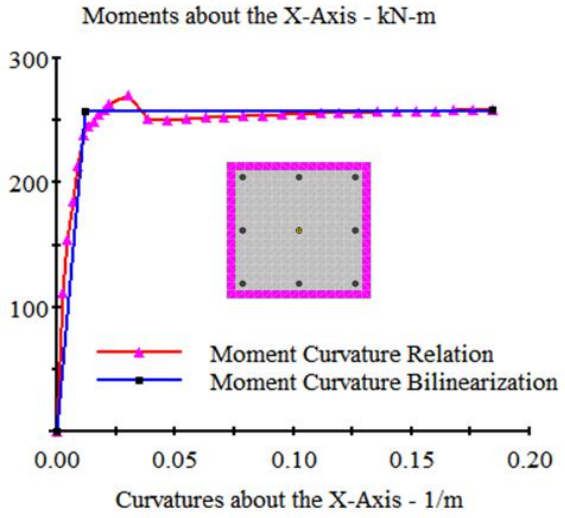
Betonarme kesit iki ayrı malzemeden oluştuğu için homojen olmayıp, moment-eğrilik ilişkisinin tespit edilmesi kolay değildir. Betonarmeyi oluşturan malzemelerden betonun deformasyon özellikleri doğrusal elastik olmayıp, basınç ve çekme altında farklılık göstermektedir.

Bir betonarme kesitin moment-eğrilik ilişkisi, denge koşullarının sağlanması, uygunluk koşullarının sağlanması ve malzemeler için gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin belirlenmesi olmak üzere üç aşamalı bir çözümleme ile elde edilebilir. Günümüzde bu çözümlemeler çok zaman alması nedeniyle bilgisayar programları kullanılarak yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, analizlerde kullanılan betonarme kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri XTRACT programı yardımıyla elde edilmiştir. Moment-eğrilik ilişkisinden elde edilen grafikler yine aynı program kullanılarak idealize edilerek hesaplamalarda kullanılmıştır.

XTRACT programı yapısal elemanların kesit bazlı analizlerini yapan bir program olup, bir kesitin moment-eğrilik, eksenel kuvvet-moment ve kapasite yörüngesi analizlerini yapmaktadır. Bir kesitin geometrik özellikleri ve kesitte bulunan malzemelerin modelleri girilerek istenilen analizler yapılabilmektedir.

Şekil 2 de XTRACT programında oluşturulmuş betonarme bir kesit ve analiz sonucu bulunan moment-eğrilik ilişkisini gösteren grafik ve idealize edilmiş hali gösterilmiştir.

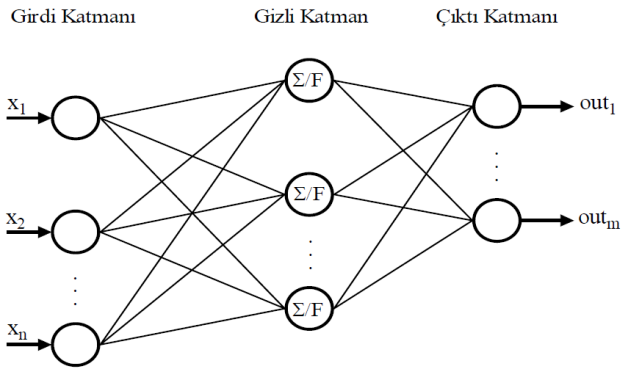


Şekil 2: XTRACT programında analiz sonucu elde edilmiş bir moment-eğrilik grafiği

3. Yapay Sinir Ağları

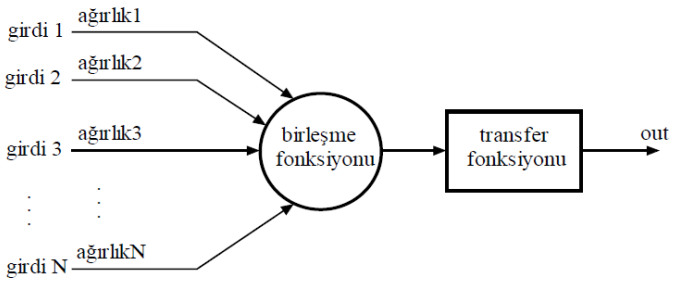
YSA, yapay zekâ biliminin bir alt dalıdır ve insan beyninin varsayılan çalışma prensibini kendine model edinen yapay sistemlerdir. YSA çalışmaları, önceleri temel tıp bilimlerinde nöron modelleme çalışmaları ile başlamasına rağmen; bugün inşaat mühendisliğinin de içinde olduğu birçok alanda araştırma konusu haline gelmiştir [8]. Yapay sinir ağı modelleri, algoritmik olmayan, paralel ve yayılı bilgi işleme yetenekleri ile klasik modellerden farklıdır. Farklı olan bu özellikleri sayesinde YSA, karmaşık ve doğrusal olmayan hesapları kolaylıkla ve hızlı bir şekilde yapabilir. Algoritmik olmayan ve çok yoğun paralel işlem yapabilen YSA, ayrıca öğrenebilme kabiliyeti ve paralel dağıtılmış hafıza ile de hesaplamada yeni bakış açılarına sebep olmuştur.

YSA, birbirlerine bağ ağırlıkları ile bağlı, katmanlar halinde düzenlenmiş ve kendine ait çıkış değerini belirlemek için toplama (Σ) ve eşik fonksiyonu (F) gibi işlemler gerçekleştiren ve işlem elemanı denilen yapılardan meydana gelir (Şekil 3).



Şekil 3. Yapay Sinir Ağı Genel Mimarisi

Sinir hücresinden esinlenerek oluşturulan yapay sinir hücresi YSA' nın en temel birimidir ve işlem elemanı olarak adlandırılır. Genel sinir ağı modeli, işlem elemanları ile karakterize edilir. Bir işlem elemanı; girdiler, ağırlıklar, bir birleşme fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıktı olmak üzere, beş elemandan oluşur. Bir işlem elemanının birden fazla girdisi, fakat sadece bir tane çıktısı olabilir (Şekil 4).



Şekil 4. İşlem Eleman Yapısı

YSA, sahip olduğu birleşme fonksiyonu, transfer fonksiyonu, mimarisi, kullanılan öğrenme kuralı ve öğrenme stratejisi ile tanımlanır. Tipik bir sinir ağı, Şekil xyz'de gösterildiği gibi, birbirine bağlanan üç katmandan oluşur. Bunlar, dışarıdan bilgiyi kabul eden bilgi katmanı, bilgiyi işleyen ve girdi çıktı ilişkisini kavramada asıl ağırlığı üzerinde bulunduran bir veya daha fazla gizli katman ve sorgulanan problem üzerinde ağın kararını ağ dışına bildiren işlem elemanlarının oluşturduğu çıktı katmanıdır.

YSA'da bilgiler, bağlantıların sahip oldukları ağırlıklara dağılır ve depolanır. Ağa dışarıdan verilen bir bilgi, girdi katmanındaki girdi elemanlarından ilgili bağlantılar aracılığıyla ağırlandırılacak ara katmanlara, oradan yine ağırlandırılacak çıktı katmanı işlem elemanlarına ve oradan da ağ dışına ağın bilgisi ile birleşerek ulaşır. Ağa verilen bilgi, ağdan çıktığında yeni bir hale dönüşmüş olacaktır.

4. Sayısal Çalışma

Bu çalışmada, farklı boyutta ve/veya farklı donatı oranlarına sahip betonarme kare kesitlerin moment-eğrilik ilişkisi yapay sinir ağları modeli belirlenmiştir. YSA modelinin eğitimi ve testi için eğitim ve test setleri oluşturulmuştur. Bu amaçla, geometrik özellikleri, donatı oranları ve eksenel yükleri farklı toplam 360 adet betonarme kesit seçilmiş ve bu kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri XTRACT programı kullanılarak belirlenmiştir. Bu betonarme kesitlerden rastgele seçilen 300 adet sonuç YSA modelinin eğitim seti ve 60 adet sonuç ta test seti olarak belirlenmiştir.

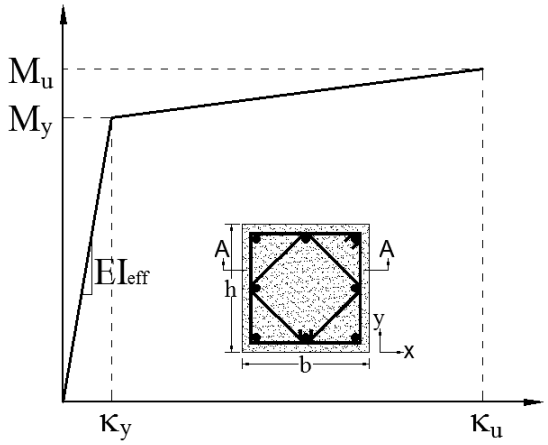
Seçilen bu kesitlerin boyutları, donatı çapları ve donatı oranları TS500 ve TDY-2007 de verilen sınırlamalar dikkate alınarak belirlenmiştir. Kesitlere etkiyen eksenel kuvvet, aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

$$N_{dm} \leq 0{,}5\, A_c\ f_{ck} \qquad \text{(TDY - 2007)} \tag{1}$$

$$N_d \leq 0{,}6\, A_c\ f_{ck} \qquad \text{(TS-500)} \tag{2}$$

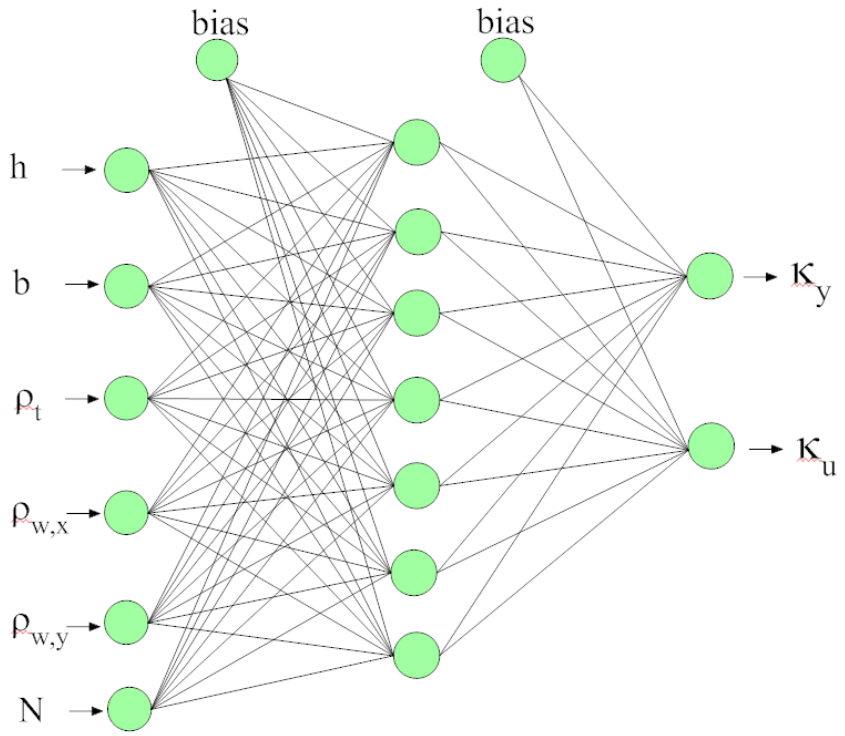
Bu çalışmada kullanılan tüm kesitlerde beton kalitesi C25 ve donatı çeliği S420 olarak alınmıştır. Moment-Eğrilik ilişkisinin tespitinde betonun yatay donatılarla sarılmış çekirdek bölgesi ve sargısız kabuk kısmı için Mander, 1988 beton modeli kullanılmıştır. Donatı çeliği için literatürde genel kabul görmüş deney sonuçlarından elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinden faydalanılmıştır (TDY-2007 Bilgilendirme Eki 7B). Beton ve donatı arasında tam aderans olduğu, kesitlerin şekil değişiminden sonra, şekil değişiminden önceki gibi düzlem olarak kaldıkları varsayılmıştır.

Moment eğrilik ilişkisi, 4 adet parametre kullanılarak tanımlanır (Şekil 5). Bu parametrelerden, κ_u ve y için YSA_1 modeli ve M_u ve M_y için de YSA_2 modeli kullanılmıştır.

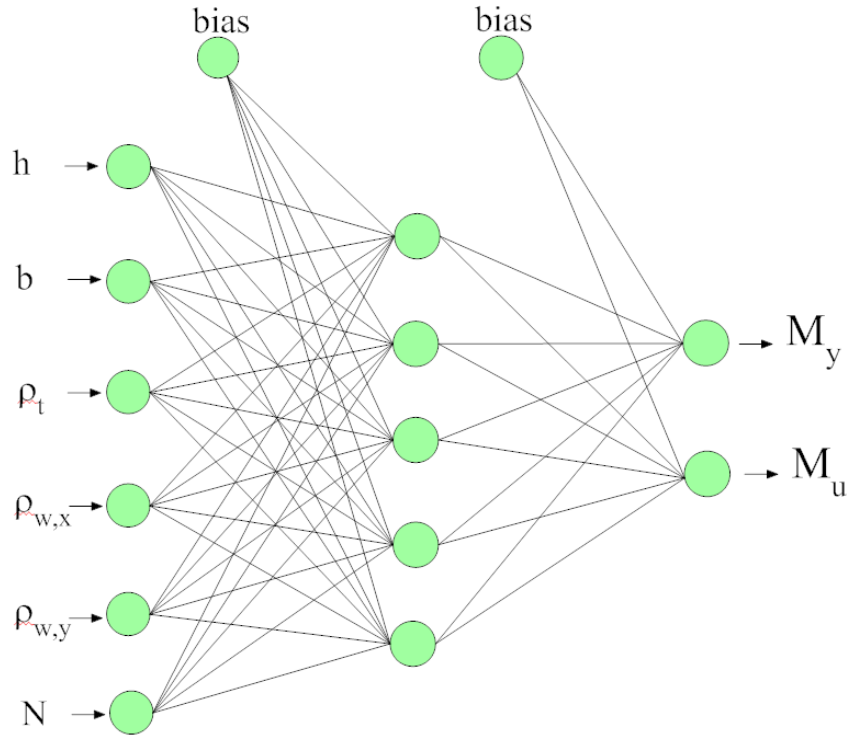


Şekil 5: Moment-Eğrilik grafiğinin ve betonarme kesitlerin genel yapısı

YSA_1 modelinde, girdi katmanı 6, gizli katman 7 ve çıktı katmanı iki işlem elemanından oluşmaktadır (Şekil 6). YSA_2 modelinde ise, girdi katmanı 6, gizli katman 5 ve çıktı katmanı iki işlem elemanından oluşmaktadır (Şekil 7). Her iki YSA modelinin girdi katmanları (Tablo 1) aynı işlem elemanlarından oluşmakta ve çıktı katmanları YSA_1 modelinde eğrilikleri, YSA_2 modelinde ise momentleri tanımlamaktadır.



Şekil 6: YSA_1 modelinin genel yapısı



Şekil 7: YSA_2 modelinin genel yapısı

Her iki YSA modelinin girdi katmanı, kesitin özelliklerini tanımlayan 6 adet bilgiden oluşmaktadır. Bu bilgiler, kesitin hesap yapılan eksen doğrultusundaki boyutu (h), kesitin hesap yapılan eksenin dik doğrultusundaki boyutu (b), boyuna donatı oranına (ρ_t), hesap yapılan eksen doğrultusundaki yatay donatı oranı $(\rho_{w,x})$, hesap yapılan eksenin dik doğrultusundaki yatay donatı oranı $(\rho_{w,y})$ ve kesite etkiyen eksenel kuvvet (N) olarak seçilmiştir (Tablo 1).

Tablo 2. YSA Modellerinin Test Seti Verileri

	Girdi Katmanı						**Çıktı Katmanı**			
							YSA$_1$ Modeli		**YSA$_2$ Modeli**	
Kesit No	$\boldsymbol{h}$ $(\boldsymbol{m})$	$\boldsymbol{b}$ $(\boldsymbol{m})$	$\boldsymbol{\rho_t}$ (%)	$\boldsymbol{\rho_{w,x}}$ (%)	$\boldsymbol{\rho_{w,y}}$ (%)	$\boldsymbol{N}$ (kN)	$\boldsymbol{\kappa_y}$ $(\boldsymbol{rad/m})$	$\boldsymbol{\kappa_u}$ $(\boldsymbol{rad/m})$	$\boldsymbol{M_y}$ $(\boldsymbol{kNm})$	$\boldsymbol{M_u}$ $(\boldsymbol{kNm})$
1	0,40	0,40	1,005	0,006732	0,006732	500	0,010550	185,0	0,33490	199,2
2	0,40	0,40	1,005	0,006732	0,006732	1100	0,012010	243,0	0,18170	238,2
3	0,40	0,40	1,005	0,006732	0,006732	1900	0,009758	274,0	0,12160	253,1
4	0,40	0,40	1,272	0,006732	0,006732	700	0,011280	230,4	0,23870	242,2
5	0,40	0,40	1,272	0,006732	0,006732	1500	0,011510	286,5	0,13280	273,7
6	0,40	0,40	1,571	0,006732	0,006732	300	0,010910	217,1	0,34110	244,1
7	0,40	0,40	1,571	0,006732	0,006732	1300	0,012240	301,3	0,14770	295,8
8	0,40	0,40	1,571	0,006732	0,006732	1700	0,010980	312,6	0,12600	298,7
9	0,40	0,40	1,901	0,006732	0,006732	500	0,011460	266,3	0,25000	292,8
10	0,40	0,40	1,901	0,006732	0,006732	900	0,012290	302,5	0,18300	312,0
11	0,40	0,40	1,901	0,006732	0,006732	1700	0,011200	336,2	0,12560	325,0
12	0,40	0,40	2,262	0,006732	0,006732	1	0,011160	250,5	0,37310	292,7
13	0,40	0,40	2,262	0,006732	0,006732	1600	0,011670	360,3	0,12690	353,4
14	0,40	0,40	1,005	0,004308	0,004308	500	0,010430	184,8	0,29790	195,8
15	0,40	0,40	1,272	0,004308	0,004308	300	0,010410	187,9	0,34080	208,4
16	0,40	0,40	1,571	0,004308	0,004308	700	0,011480	257,8	0,19770	263,5
17	0,40	0,40	1,901	0,004308	0,004308	100	0,010800	226,7	0,35530	261,0
18	0,40	0,40	2,262	0,004308	0,004308	500	0,011620	298,3	0,21920	322,0
19	0,80	0,30	1,026	0,004189	0,006283	600	0,005193	522,4	0,11340	532,8
20	0,80	0,30	1,340	0,004189	0,006283	100	0,005264	487,7	0,14740	547,8
21	0,80	0,30	1,696	0,004189	0,006283	1200	0,005792	809,5	0,07762	776,6
22	0,80	0,30	2,094	0,004189	0,006283	350	0,005597	753,1	0,09803	799,8
23	0,80	0,30	2,534	0,004189	0,006283	250	0,005699	844,7	0,09395	905,0
24	0,80	0,30	2,534	0,004189	0,006283	1075	0,005968	981,9	0,07659	980,4
	0,80	0,30	3,016	0,004189	0,006283	1200	0,006130	1107,0	0,07320	1112,0
	0,80	0,30	1,340	0,006032	0,009048	600	0,005399	607,6	0,10900	635,0
	0,80	0,30	1,340	0,006032	0,009048	2500	0,005494	876,8	0,05352	748,0
	0,80	0,30	1,696	0,006032	0,009048	1	0,005404	564,5	0,14470	649,2
	0,80	0,30	2,094	0,006032	0,009048	800	0,005793	839,7	0,08537	857,7

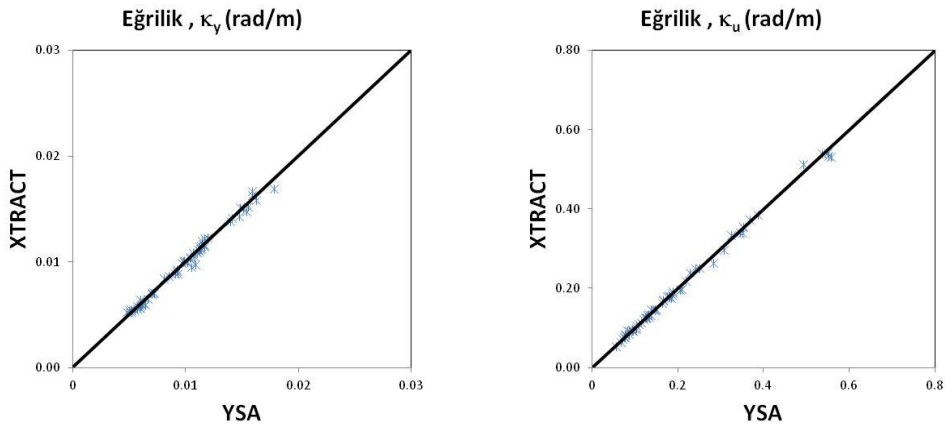
Tablo 2. YSA Modellerinin Test Seti Verileri (devam)

	Girdi Katmanı						Çıktı Katmanı			
							YSA$_1$ Modeli		YSA$_2$ Modeli	
Kesit No	$\boldsymbol{h}$ $(\boldsymbol{m})$	$\boldsymbol{b}$ $(\boldsymbol{m})$	$\boldsymbol{\rho_t}$ (%)	$\boldsymbol{\rho_{w,x}}$ (%)	$\boldsymbol{\rho_{w,y}}$ (%)	$\boldsymbol{N}$ (kN)	$\boldsymbol{\kappa_y}$ $(\boldsymbol{rad/m})$	$\boldsymbol{\kappa_u}$ $(\boldsymbol{rad/m})$	$\boldsymbol{M_y}$ $(\boldsymbol{kNm})$	$\boldsymbol{M_u}$ $(\boldsymbol{kNm})$
30	0,80	0,30	2,534	0,006032	0,009048	150	0,005693	821,9	0,10570	914,2
31	0,80	0,30	3,016	0,006032	0,009048	650	0,005977	1031,0	0,08279	1081,0
32	0,80	0,30	3,016	0,006032	0,009048	1700	0,006429	1175,0	0,06416	1156,0
33	0,50	0,30	1,232	0,005236	0,009425	150	0,008445	191,5	0,25220	213,1
34	0,50	0,30	1,608	0,005236	0,009425	200	0,008650	237,0	0,19550	261,3
35	0,50	0,30	2,036	0,005236	0,009425	575	0,009281	322,6	0,16380	342,2
36	0,50	0,30	2,513	0,005236	0,009425	200	0,009106	324,7	0,17880	360,2
37	0,50	0,30	3,041	0,005236	0,009425	750	0,010100	433,1	0,13320	452,4
38	0,50	0,30	3,619	0,005236	0,009425	550	0,010000	462,6	0,14780	502,0
39	0,70	0,70	1,246	0,006960	0,006960	4000	0,007047	1586,0	0,09327	1596,0
40	0,70	0,70	1,539	0,006960	0,006960	500	0,005987	1117,0	0,19160	1290,0
41	0,70	0,70	1,862	0,006960	0,006960	2000	0,006505	1570,0	0,12800	1729,0
42	0,70	0,70	2,216	0,006960	0,006960	3500	0,007128	1969,0	0,09377	2059,0
43	0,70	0,70	2,216	0,006960	0,006960	4500	0,006975	2074,0	0,08351	2134,0
44	0,70	0,70	2,600	0,006960	0,006960	3000	0,007049	2079,0	0,09633	2215,0
45	0,50	0,30	1,608	0,007540	0,013570	400	0,008926	263,6	0,18720	285,6
46	0,50	0,30	2,036	0,007540	0,013570	1000	0,010140	369,4	0,13450	378,6
47	0,50	0,30	2,513	0,007540	0,013570	1875	0,008885	443,1	0,09238	435,6
48	0,50	0,30	3,041	0,007540	0,013570	1500	0,009898	479,3	0,09892	481,5
49	0,50	0,30	3,619	0,007540	0,013570	1	0,009505	405,3	0,17610	464,6
50	0,30	0,50	1,608	0,013570	0,007540	400	0,015090	157,7	0,54030	175,6
51	0,30	0,50	2,036	0,013570	0,007540	1	0,014330	148,8	0,51340	174,8
52	0,30	0,50	2,513	0,013570	0,007540	1875	0,014760	261,7	0,17160	259,5
53	0,30	0,50	3,041	0,013570	0,007540	1	0,015850	214,5	0,54300	252,6
54	0,30	0,50	3,619	0,013570	0,007540	300	0,016930	264,4	0,35460	302,6
55	0,30	0,80	1,340	0,009048	0,006032	400	0,013880	203,2	0,53240	223,5
56	0,30	0,80	1,696	0,009048	0,006032	250	0,014170	227,1	0,53420	256,3
57	0,30	0,80	1,696	0,009048	0,006032	1200	0,016290	300,2	0,26390	297,8
58	0,30	0,80	2,094	0,009048	0,006032	600	0,015240	291,7	0,38510	321,9
59	0,30	0,80	2,094	0,009048	0,006032	2500	0,015180	377,4	0,16970	346,9
60	0,30	0,80	3,016	0,009048	0,006032	2200	0,016690	448,8	0,17930	432,4

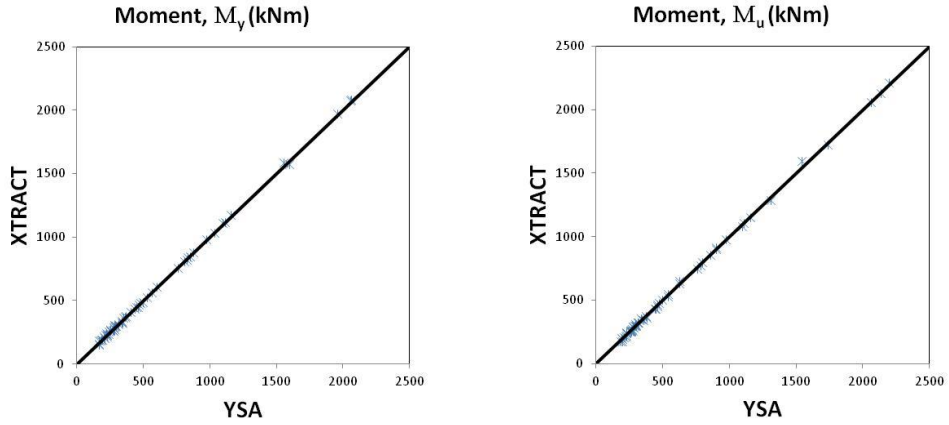
4. Sonuçlar

Bu çalışmada, farklı boyutta ve/veya farklı donatı oranlarına sahip betonarme kare kesitlerin moment-eğrilik ilişkisinin belirlenmesi yapay sinir ağları modeline uygulanmıştır. YSA modeli ile elde edilen sonuçlar ile XTRACT programı sonuçları karşılaştırılarak sunulan YSA modellerinin performansı (Şekil 8-11) belirlenmiştir. Şekil 8-11 den de açıkça görüldüğü gibi YSA modellerinin moment-eğrilik ilişkisini belirlemekte oldukça başarılıdır.

YSA_1 ve YSA_2 modellerinin test setine ait sonuçları ile XTRACT programı sonuçları karşılaştırıldığında, sunulan YSA modelinin moment-eğrilik ilişkisini %90'nın üzerinde hatta %96'ya varan oranlarda yakalayabildiği gözlemlenmektedir (Şekil 8-11).

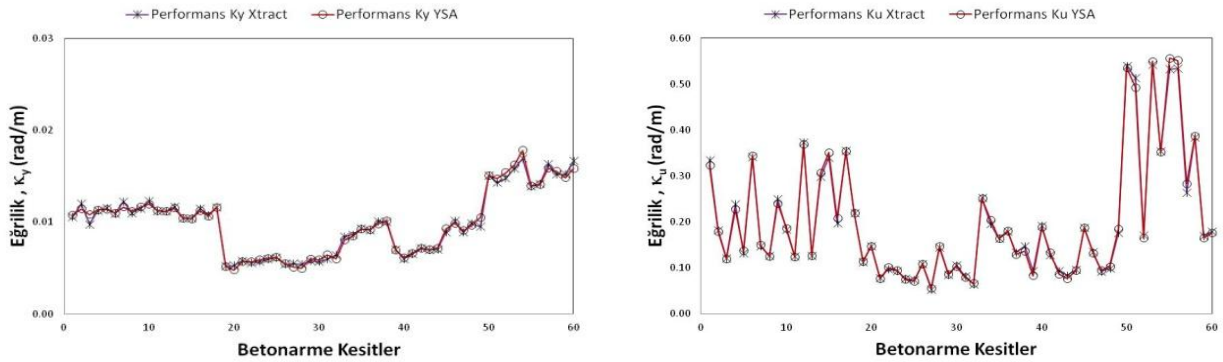


Şekil 8: YSA_1 modelinin performans

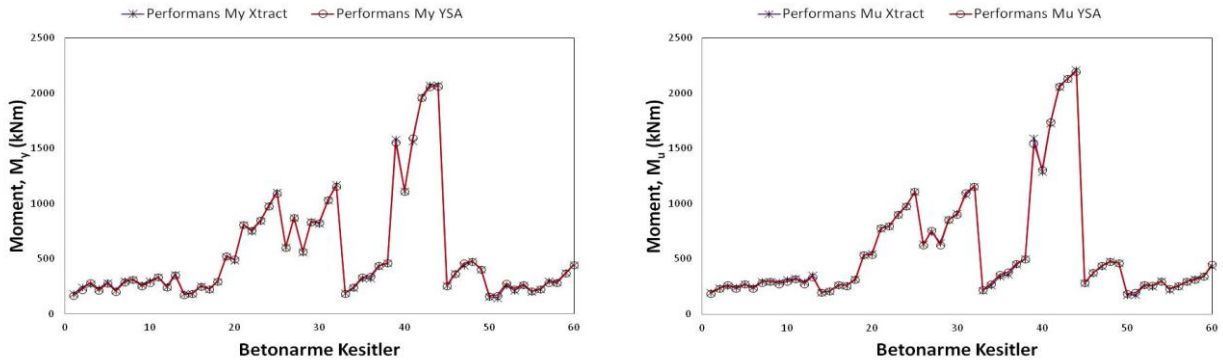


Şekil 9. YSA_2 modelinin performans

Bu çalışmada sunulan YSA modeli ile, betonarme kare kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri, uzun iterasyon yöntemleri kullanılmadan ve herhangi bir bilgisayar programına ihtiyaç duyulmadan kolaylıkla belirlenebilmektedir. Betonarme bir yapı tasarlanırken betonarme kesitlerin ve dolayısıyla betonarme elemanların davranışının bilinmesi ve anlaşılması oldukça büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla bu çalışma, betonarme yapıların davranışının daha iyi anlaşılmasına önemli bir katkı sağlayacaktır.



Şekil 10. YSA_1 modeli sonuçları ile XTRACT programı sonuçlarının değişimi



Şekil 11. YSA_2 modeli sonuçları ile XTRACT programı sonuçlarının değişimi

Bu çalışma, devam etmekte olan bir çalışmanın bir bölümünü oluşturmaktadır. Yapılmakta olan çalışmanın genelinde, daire, kare ve dikdörtgen betonarme kesitlerin moment-eğrilik ilişkisinin belirleyen YSA modeline dayalı ampirik formüller geliştirilmektedir.

Kaynaklar

[1] Amir Hossein Gandomi, Amir Hossein Alavi, Mohammad Ghasem Sahab and Parvin Arjmandi (2010) "Formulation of elastic modulus of concrete using linear genetic programming" Journal of Mechanical Science and Technology 24 (6) 1273~1278.

[2] Chen, Hung-Ming / Kao, Wei-Ko / Tsai, Hsing-Chih, (Sep 2012) "Genetic programming for predicting aseismic abilities of school buildings" Engineering Applications of Artificial Intelligence, 25 (6), p.1103-1113.

[3] DBYBHY (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Çevre Ve Şehircilik Bakanlığı
[4] Ersoy U. Ve Özcebe G. (1998). Sarılmış betonarme kesitlerde moment-eğrilik ilişkisi analitik bir irdeleme. İMO Teknik Dergi, 1799-1827, yazı 129.
[5] G.J. Gray, D.J. Murray-Smith, Y. Li, K.C. Sharman and T. Weinbrenner, (1998) "Nonlinear model structure identification using genetic programming" Control Engineering Practice, Volume 6, Issue 11, November, Pages 1341–1352.
[6] Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R. (1988). Theoretical Stress-Seğitim Model for Confined Concrete. Journal of Structural Engineering
[7] TS500, T2 (Nisan 2002). Betonarme yapıların yapım ve tasarım kuralları, Türk Standardları Enstitüsü
[8] Xtract v.3.0. Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827