




**T.C.**

**SELÇUK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# FRETLİ KOLONLARIN KESME, EĞİLME VE SÜNEKLİK KAPASİTELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ

**Mustafa KOÇER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalını**

**Ocak-2016**

**KONYA**

**Her Hakkı Saklıdır**

# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

## FRETLİ KOLONLARIN KESME, EĞİLME VE SÜNEKLİK KAPASİTELERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ

**Mustafa KOÇER**

**Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK**
**Doç. Dr. Musa Hakan ARSLAN**

**2016, 99 Sayfa**

**Jüri**
**Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK**
**Doç. Dr. Ali KÖKEN**
**Yrd. Doç. Dr. Nebi ÖZDÖNER**

Akıllı sistemler günümüzde çözülmesi zor olan ve karmaşık problemlerde sıklıkla kullanılan yöntemlerdendir. Özellikle inşaat mühendisliği disiplininde akıllı sistemlerden faydalanılarak çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu tez kapsamında ise; betonarme yapılarda bazı durumlarda tercih sebebi olan fretli kolonların eğilme momenti ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile deplasman sünekliklerinin akıllı sistem tabanlı bir algoritma ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, tezin ilk bölümünde, akıllı bir sistem olan yapay sinir ağlarının (YSA) inşaat mühendisliği alanında kullanımı üzerine yapılan çalışmalardan oluşan geniş bir literatür taraması ele alınmıştır. İkinci bölümde, kolonlar ve yük altında davranışları üzerine yapılan araştırmalarda, kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile kesit sünekliklerinin belirlenmesi üzerine bilgiler sunulmuştur. Üçüncü bölümde, kullanılacak olan YSA tekniğinin kullanımı ve uygulama yöntemleri hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir. Çalışmanın özgün olan son bölümünde ise, literatürde testleri gerçekleştirilmiş olan 79 adet fretli kolon deneyinden elde edilen moment, kesme kuvveti taşıma kapasitesi belirli bir düzende hazırlanmıştır. Ayrıca test edilen kolonların deplasman süneklikleri de deneysel verilerden faydalanılarak hesaplanmıştır. Söz konusu derlenen veriler kullanılarak YSA aracılığı ile kolonların moment taşıma kapasiteleri, kesme kapasiteleri ve deplasman süneklikleri yüksek başarı oranında tahmin edilmiştir. YSA'nın bu alandaki başarısı, yine literatürden derlenen 7 adet farklı mekanik özelliklere sahip fretli kolon deney eleman verisinden oluşan, bir doğrulama seti ile sınanmıştır.

Çalışmada derlenen 79 adet deney elemanı verisinin 50 tanesi eğitim için kullanılmış, kalan 29 tanesi de test amaçlı olarak YSA tarafından sınanmıştır. Çalışmada YSA ağ mimarisi oluşturulurken giriş katmanında kolon çapı, pas payı, kolon etkili boyu, beton ve donatının mekanik özelliği, boyuna ve enine

donatı oranı, eksenel yük düzeyi olarak belirlenmiştir. Çıktı katmanında ise, üç çıkış nöronuna sahip $YSA_1$ isimli ağ mimarisinde (modelde), fretli kolonların moment, kesme kuvveti taşıma kapasitesi ve kesit süneklik değerleri aynı anda tahmin edilmiştir. $YSA_2$, $YSA_3$, $YSA_4$ olarak isimlendirilen diğer üç ağ mimarisinin çıkış katmanında ise tek nöron hücresi bulunmaktadır ve sırasıyla moment, kesme kuvveti taşıma kapasitesi ile deplasman süneklik parametreleri ayrı ayrı elde edilmiştir. Bu bağlamda çalışma literatürde ilk kez gerçekleştirilmiştir. Denenen dört farklı ağ mimarisinde gizli katman sayısı ve gizli katmandaki işlem elemanı sayıları çıktı katmanındaki parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermiştir.

Tezin sonuç kısmında elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiştir. $YSA_4$ isimli modelde elde edilen tahmin başarısının diğer modellere göre ($YSA_1$, $YSA_2$ ve $YSA_3$) düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca sonuç kısmında fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile deplasman süneklik parametrelerinin belirlenmesi için kurulan modeller ve modellerin performans değerlendirme kriterlerinden bahsedilerek, YSA sonuçlarının deneysel verilerle olan yüksek doğruluk oranlı yakınsama başarısı her bir model için ayrı ayrı kıyas edilerek tartışılmıştır. Önerilen $YSA_1$ isimli ağ modelinin tahmin başarısı, oluşturulan doğrulama seti sayesinde tekrar test edilerek doğrulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme, Fretli Kolon, Kapasite, Kesme, Moment, Süneklik, Yapay Sinir Ağları

# ABSTRACT

## MS THESIS

## DETERMINATION OF SHEAR, FLEXURE AND DUCTILITY CAPACITY OF SPIRAL COLUMN WITH NEURAL NETWORK

**Mustafa KOÇER**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY**
**THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE**
**IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK**
**Assoc. Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN**

**2016, 99 Pages**

**Jury**
**Assoc. Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK**
**Assoc. Prof. Dr. Ali KÖKEN**
**Assist. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER**

Artificial intelligence is a method which commonly used to solve complicated problems recently. Especially in structure engineering, there are many resources carried out on artificial intelligence. The aim of this study, bending moment and shearing capacity and displacement ductility of spiral columns are tried to determine by using an algorithm based on artificial intelligence network. In the first stage of the thesis, previous studies on artificial intelligence networks in engineering are examined and detailed literature researches is made. In the second stage, behaviors of columns under axial and lateral loads are investigated and information about with determination of moment capacity, shear force bearing capacity and displacement ductility are given. In the third stage, application methods of ANN which will be used in study are shown in detail. In the last stage and unique part of the study, moment capacity and shear force bearing capacity of 79 spiral column, which was tasted in previous studies, are obtained and prepared in a specific order. Also, displacement ductility of spiral columns is calculated by using experimental data. Putting collected data in ANN, moment capacity and shear bearing capacity of columns are estimated with a high success rate. The success of ANN in this area have been confirmed by validation set including 7 different mechanical properties spiral column test elements that were compiled from literature.

The study include total of 79 compiled spiral column data, 50 of data set are used for training in ANN and remaining 29 of data set are used for testing purpose. While forming ANN network system of input layer, column diameter, depth of concrete cover, effective column height, mechanical properties of concrete and reinforcement, longitudinal and transverse reinforcement ratio is defined as the axial load

level. In the output layer, moment capacity, shear bearing capacity and ductility values of spiral columns are estimated simultaneously by $ANN_1$, three output neurons, network system. $ANN_2$, $ANN_3$ and $ANN_4$, there network system have single neuron cell and moment capacity, shear bearing capacity and displacement ductility were obtained separately. In this regard, study was first in literature. In tested four different network systems, number of the hidden layers and number of processing elements in hidden layers at tested four different network system vary depending on the parameters in the output layer.

In the conclusion stage, obtained analysis results are evaluated. It is shown that success of $ANN_4$ less than other models, $ANN_1$, $ANN_2$ and $ANN_3$. Moreover, evaluation criteria of models to determine moment capacity, shear bearing capacity and displacement ductility of spiral columns are mentioned. ANN models results and experimental results are compared and success of ANN model is discussed. Prediction success of the proposed $ANN_1$ network model was verified by reanalyzing owing to generated verification set.

**Keywords:** Reinforced Concrete, Spiral Column, Capacity, Shear, Moment, Ductility, Artificial Neural Networks

# ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyerek yetişmemi sağlayan, bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren, çalışmama ışık tutan, karşılaştığım her zorlukta yardımlarını esirgemeyerek daima destek olan başta saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK olmak üzere, katkısını ve yardımını esirgemeyen saygıdeğer yardımcı danışman hocam Doç. Dr. Musa Hakan ARSLAN'a şükran ve teşekkürlerimi en kalbi duygularımla sunarım.

Ayrıca deneysel verilen elde edilmesi aşamasındaki katkısı ve büyük yardımı olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Cem AYDEMİR hocama, yapay sinir ağları konusundaki bilgi birikimini ve tecrübelerini paylaşan Sayın Yrd. Doç. Dr. Alparslan YARAR hocama ve desteklerini esirgemeyen tüm İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarına ve asistan arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi her türlü desteklerini benden esirgemeyen, çalışmalarım süresince yanımda olan tüm aileme de şükranlarımı sunarım. Bu tezi annem Aysel KOÇER ve babam Şahap KOÇER'e ithaf ediyorum.

Mustafa KOÇER
KONYA-2016

# İÇİNDEKİLER

**ÖZET** ..... **vii**

**ABSTRACT** ..... **ix**

**ÖNSÖZ** ..... **xi**

**İÇİNDEKİLER** ..... **xii**

**SİMGELER VE KISALTMALAR** ..... **xiv**

**1. GİRİŞ** ..... **1**

1.1. Tezin Amacı ..... 2
1.2. Tezin Önemi ..... 3
1.3. Tezin Kapsamı ..... 4
1.4. Tezin Katma Değeri ve Yaygın Etkisi ..... 4

**2. KAYNAK ARAŞTIRMASI** ..... **5**

2.1. Kolon Deneyleri Üzerinde Yapılan Çalışmalar ..... 5
2.2. YSA ile İlgili Yapılan Çalışmalar ..... 8

**3. KOLONLAR VE DAVRANIŞLARI** ..... **15**

3.1. Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı ..... 15
3.1.1. Fretli Kolonlarda Sargı Etkisi ..... 19
3.2. Kolonların Moment ve Eksenel Yük Altında Davranışı ..... 22
3.3. Kolonların Tersinir Yükler Altında Davranışı ..... 25
3.4. Betonarme Yapı Elemanlarının Yük-Deformasyon Özellikleri ..... 28
3.4.1.Akma Deplasmanının Belirlenmesi ..... 29
3.4.2.Göçme Deplasmanın Belirlenmesi ..... 30
3.5. Süneklik ..... 32
3.5.1. Malzeme Sünekliği ..... 32
3.5.2. Kesit Sünekliği ..... 32
3.5.3. Eleman veya Sistem Sünekliği ..... 33
3.6. Kolonlarda Güç Tüketimi ve Kesme Güvenliği ..... 34

**4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)** ..... **37**

4.1. Giriş ..... 37
4.2. YSA'nın Genel Tanımı ..... 38
4.3. YSA'nın Yapısı ..... 40
4.4. YSA'nın Elemanları ..... 41
4.4.1. Girdiler ..... 42
4.4.2. Ağırlıklar ..... 42
4.4.3. Toplama Fonksiyonu ..... 43
4.4.4. Aktivasyon Fonksiyonu ..... 44

4.4.5. Çıktılar ..... 44
4.5. YSA'nın Sınıflandırılması ..... 44
4.5.1. YSA'nın Yapılarına Göre Sınıflandırılması ..... 45
4.5.1.1. İleri Beslemeli Ağlar ..... 45
4.5.1.2. Geri Beslemeli Ağlar ..... 46
4.5.2. YSA'nın Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması ..... 47
4.5.2.1. Denetimli (Danışmanlı) Öğrenme ..... 47
4.5.2.2. Danışmansız Öğrenme ..... 48
4.5.3. YSA'nın Başlıca Öğrenme Kuralları ..... 49
4.5.3.1. Hebb Kuralı ..... 49
4.5.3.2. Hopfield Kuralı ..... 49
4.5.3.3. Delta Kuralı ..... 50
4.5.3.4. Kohonen Kuralı ..... 50
4.6. Normalizasyon ..... 50

**5. VERİ SETİNİN OLUŞTURULMASI ..... 52**

5.1. Veri Setinin Hazırlanması ..... 52
5.1.1. Girdiler ..... 52
5.1.2. Çıktılar ..... 55
5.2. YSA Mimarilerinin Oluşturulması ve Eğitilmesi ..... 58
5.2.1. $YSA_1$ Modeli ..... 60
5.2.2. $YSA_2$ Modeli ..... 62
5.2.3. $YSA_3$ Modeli ..... 63
5.2.4. $YSA_4$ Modeli ..... 64
5.3. YSA Modellerinin Test Edilmesi ve Sayısal Sonuçlar ..... 66
5.3.1. $YSA_1$ Modeli Sonuçları ..... 67
5.3.2. $YSA_2$ Modeli Sonuçları ..... 72
5.3.3. $YSA_3$ Modeli Sonuçları ..... 75
5.3.4. $YSA_4$ Modeli Sonuçları ..... 78
5.4. Doğrulama Seti ..... 81

**6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME ..... 86**

**KAYNAKLAR ..... 90**

**EKLER ..... 97**

**ÖZGEÇMİŞ ..... 99**

# SİMGELER VE KISALTMALAR

## Simgeler

$\phi$ : Boyuna donatı çapı, mm
$\phi_u$ : Kırılmaya karşılık gelen eğrilik
$\phi_y$ : Çekme donatısının akmasına karşılık gelen eğrilik
$\sum$ : Toplam
$\mu$ : Süneklik katsayısı
$A_c$ : Kolon en kesit alanı, $mm^2$
$A_{ck}$ : Sargı donatısının dışından dışına alınan ölçü içinde kalan çekirdek beton alanını
$A_e$ : Kesmeye karşı koyan etkili beton kesit alanı
$A_o$ : Fret donatısının en kesit alanı,$mm^2$
$A_s$ : Çekme donatısının en kesit alanı, $mm^2$
$A_{sh}$ : $b_k$ iz düşümü boyunca yatay donatı alanları, $mm^2$
$A_{st}$ : Kolon boyuna donatı alanı, $mm^2$
$A_{sw}$ : Etklili kesme donatısı alanı, $mm^2$
$A_w$ : Kolon en kesiti etkin gövde alanı, $mm^2$
b : Kolon kesit genişliği, mm
$b_k$ : En dıştaki etriye kolları arasındaki mesafe, mm
d : Kesitin faydalı yüksekliği
D : Kolon çapı
d' : Paspayı
e : Dış merkezlilik
E : Elastisite modülü
$\varepsilon_{co}$ : Betonun mak. gerilmesine karşılık gelen birim kısalma
$E_e$ : Elastik bölgede tüketilen enerji
$E_p$ : Plastik bölgede tüketilen enerji
$\varepsilon_{su}$ : Donatının kopma birim deformasyonu
$\varepsilon_{sy}$ : Donatının akma birim deformasyonu
$f_{ywk}$ : Enine donatının akma dayanımı, MPa
F : Deney elemanına gelen yatay yük, kN
$f'_c$ : Beton silindirinin basınç dayanımı, MPa
$f'_{cc}$ : Sınırlandırılmış beton çekirdeğinin basınç dayanımı, MPa
$f_c$ : Beton basınç dayanımı, MPa
$f_{ck}$ : Beton karakteristik basınç dayanımı, MPa
$f_{ctd}$ : Beton çekme dayanımı, MPa
$F_m$ : Mak. yatay yük, kN
$f_{su}$ : Donatı çekme dayanımı, MPa
$f_y$ : Donatı akma dayanımı, MPa
$f_{yd}$ : Donatı akma dayanımı, MPa
$f_{yk}$ : Donatı karakteristik akma dayanımı, MPa
h : Deney elemanının yüksekliği, mm
K : Eğrilik
L : Kolon etkili boyu
$l_n$ : Kolon net açıklığı
$L_p$ : Plastik mafsal boyu
$M_a$ : Kolon alt ucundaki moment

$M_{pi}$ : Kiriş sağ ucundaki pekleşmeli moment
$M_{pj}$ : Kiriş sol ucundaki pekleşmeli moment
$M_r$ : Moment taşıma kapasitesi, kNm
$M_{ra}$ : Kolon üst ucundaki taşıma gücü momenti
$M_{ri}$ : Kolon sağ ucundaki pekleşmeli momenti
$M_{rj}$ : Kolon sol ucundaki pekleşmeli momenti
$M_{rü}$ : Kolon alt ucundaki taşıma gücü momenti
$M_u$ : Kırılma anındaki moment, kNm
$M_ü$ : Kolon üst ucundaki moment
$M_y$ : Çekme donatısının akmasına karşılık gelen moment, kNm
N : Sisteme verilen eksenel yük, kN
$N_d$ : Minimum eksenel yük düzeyi, kN
$N_{dm}$ : Dizayn eksenel yükü (G+Q+E)
$N_{or}$ : Kolonun eksenel yük taşıma kapasitesi
$N_r$ : Eksenel yük taşıma kapasitesi, kN
R : Yapı davranış katsayısı
s : Etriye donatısı aralığı, mm
V : Kesme kuvveti taşıma kapasitesi
$V_c$ : Betonun kesme dayanımı
$V_{cr}$ : Betonun eğik çatlama dayanımı
$V_d$ : Dizayn kesme kuvveti
$V_e$ : Kolonun etkiyen pekleşmeli kesme kuvveti
$V_{max}$ : Sisteme etki eden maksimum kesme kuvveti, kN
$V_r$ : Kolonun kesme kuvveti taşıma değeri
$V_w$ : Donatının kesme kuvveti dayanımı
$W_i$ : Yapay sinir hücresi ağırlık değeri
$\Delta_l$ : Eksenel şekil değiştirme, mm
$\Delta_u$ : Göçme anındaki ötelenme, mm
$\delta_u$ : Göçme anındaki ötelenme, mm
$\delta_y$ : Çekme donatısının akmasına karşılık gelen ötelenme, mm
$\Delta_y$ : Kolonun akma deplasmanı, mm
$\mu$ : Süneklik katsayısı
$\rho_{min}$ : Minimum donatı oranı
$\rho_t$ : Kolon boyuna donatı oranı
$\sigma_c$ : Betondaki gerilme, kN/ $mm^2$
$\sigma_s$ : Donatıdaki gerilme, kN/ $mm^2$
$\varphi$ : Eğrilik süneklik katsayısı
$\varepsilon_c$ : Betonun birim deformasyonu
$\varepsilon_{cu}$ : Betonun taşıma gücüne eriştiğindeki birim kısalma
$\varepsilon_s$ : Donatının birim deformasyonu
$\rho_l$ : Boyuna donatı oranı
$\rho_s$ : Hacimsel enine donatı oranı

Not: Bu dizinde yer almayan semboller, metin içinde ilgili yerlerinde açıklanmıştır.

**Kısaltmalar**

| | |
|---|---|
| ABD | : Amerika Birleşik Devletleri |
| ACI | : Amerikan Beton Enstitüsü |
| ANFIS | : Adaptive Network-Based Fuzzy İnference System |
| ATC | : Applied Technology Council |
| FRP | : Fiberle Güçlendirilmiş Polimer |
| LRFD | : Load and Resistance Factor Design |
| MATLAB | : Matrix Laboratory |
| max. | : En yüksek değer |
| min. | : En düşük değer |
| MLP | : Çok Katmanlı Ağlar |
| MPa | : Megapascal |
| ort. | : Ortalama değer |
| PEER | : Pacific Earthquake Engineering Research Center |
| RS | : Referans Deney Elemanı |
| SAP2000 | : Yapı Analiz Programı (Structural Analysis Program) |
| TDY | : Türk Deprem Yönetmeliği |
| TS | : Türk Standartları |
| TSE | : Türk Standartları Enstitüsü |
| UCSD | : Kaliforniya Üniversitesi, San Diego |
| YSA | : Yapay Sinir Ağları |

# 1. GİRİŞ

Binalarda genellikle taşıyıcı sistemin düşey taşıyıcı elemanı olarak isimlendirilen kolonlar, yapı sisteminin bir döküm özelliğinden dolayı sadece eksenel yüke maruz kalmaları mümkün değildir. Bu nedenle kolonlar, düşey ve yatay yükler altında eksenel basınca ek olarak eğilme momenti ve kesme kuvveti de taşırlar. Bir doğrultuda eğilme etkisinde kalan betonarme bir kolonun taşıma gücü hesabı iki denge ve donatı sayısı kadar uygunluk denklemi yazılarak hesaplanabilir. Fakat kesitteki ara donatı sayısı arttığı zaman bu şekilde bir kapalı çözüm yapmak zahmetli bir iş olacağından, bu tür kesitlerin taşıma gücünün hesaplanmasında deneme-yanılma yöntemine gidilmektedir. Diğer taraftan, iki doğrultuda bileşik eğilmeye maruz kalan kolonların taşıma gücü hesabına ilişkin söz konusu bağıntıların çıkarılması oldukça karmaşık bir problemdir. Bu problemin başında tarafsız eksenin belirlenmesi gelmektedir. Önce tarafsız eksen için bir varsayım yapılmakta ve tarafsız eksen denge sağlayıncaya kadar değiştirilmektedir. Ancak, tarafsız eksen iki parametre ile tanımlandığından çözüm uzun ve külfetlidir.

Bu bağıntıların çıkarılmasını zorlaştıran nedenlerin başında, eşdeğer basınç bloğunun belirlenmesindeki güçlük gelmektedir. Ayrıca, basınç bloğunun şekli yüklemeye ve kesit özelliklerine bağlı olarak yamuk ya da üçgen olabilmektedir. Bu yüzden, taşıma gücü hesabında, en genel durumu yansıtan eğilme ve eksenel basınç altındaki kesitlerin hesabı ile ilgili daha kapsamlı bilgisayar yazılımları çoğalmıştır. Birinci kuşak olarak adlandırılan bu yazılımların amacı, malzeme dayanımı, donatı düzeni ve geometrisi belli kesitlerde, verilen zorlamalar altında gerekli donatı alanının ve tarafsız eksen konumunun bulunmasıdır. Bunun için gerekli denge ve uygunluk denklemleri yazıldıktan sonra sonuca Newton-Raphson iterasyon yöntemi kullanılarak gidilmektedir. Ancak, bu iterasyon yöntemi kullanıldığında, bazı durumlarda her iterasyonda doğru sonuçtan uzaklaştığı görülmektedir (Ersoy, 1998). Bu yüzden, hem uygulama kolaylığının yüksek olduğu hem de doğruluk açısından tatmin edici düzeyde olabilecek yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bilgisayar teknolojisinde yaşanan hızlı gelişmeler insanoğlunu farklı arayışlara yöneltmekte ve günümüzde gelinen bilişim teknolojisi sayesinde ortaya çıkan teknikler, yazımsal ve donanımsal anlamda gelişimini sürdürmekte ve birçok disiplinde hızla kabul görmektedir. Bu tekniklerden biri olan yapay zekâ, insan beyninin çalışma sistemini taklit ederek geliştirilen, beyine benzer çalışma sistemine sahip basit bir nöron hücresi üzerinde kurulan bilgisayar ve matematik modellemesidir. Olayları öğrenerek ve karar verme prensibi mantığıyla geliştirilen bu yöntem, farklı yapılardaki ve formlardaki verileri algılama ve

çözümleme üzerine gösterdiği üstün başarı sayesinde çözümü çok karmaşık olan problemlerin veya eksik bilginin tahmin edilmesi noktasında öğrendiklerine göre çözüm üretmekte ve güvenli bir şekilde kullanılmaktadır. Bu özelliğinden dolayı, YSA'nın kullanım alanları hızla genişlemiş ve bilgisayar sistemlerinde oldukça önemli bir yer edinmiştir.

YSA kısa zamanda araştırmacıların dikkatlerini üzerine çekmiş ve elde edilen başarılar hem YSA'nın önemini hem de bu sistemlere olan ilgiyi daha da artırmıştır. Birçok disiplinde hızla kullanılmaya başlanan bu teknik, verdiği güven sayesinde yapı mühendisliğinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde YSA'nın diğer disiplinler tarafından benimsenmesi veya yapılan çalışmalara konu olmasının başlıca etken nedeni olarak, farklı yapılardaki ve formlardaki verileri hızlı bir şekilde algılama ve tanımlama üzerine gösterdiği başarı sayesinde, klasik tekniklerle çözümü zor olan problemler için alternatif bir çözüm modeli sunması olarak gösterilebilir. Birçok dizayn parametresi arasından etkin çözüme ulaşma, taşıyıcı sistem seçme, standartların kontrolü, deprem riski altındaki yapıların hasar görebilirliği, zemin özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması, şevlerde stabilite analizi, şantiye yönetimi ve organizasyonu, malzeme kalite kontrolü, şehir içi trafik sinyalizasyonu ve optimum sinyal sürelerinin belirlenmesi, üst yapı malzeme karışım hesabı, hava trafik kontrolü, ulaşım sistemlerinin planlanması, trafik akışının kontrolü ve kaza analizi, yol alt yapısı sırasında tahmini maliyeti, yapıların optimum boyutlandırılmasında genetik algoritmalar, yapıların statik ve dinamik analizi, risk analizi, plak ve kabukların çözümü, depreme dayanıklı yapı tasarımı, hasar tespiti, köprülerin dinamik analizi gibi uygulamalarda, YSA uygulamaları, bu alanda yapılmış çalışmalardan bazılarıdır (Baltacıoğlu 2010).

### 1.1. Tezin Amacı

Kolonlar eksenel yük ve eğilme momentinin yanı sıra yapıya dışardan etki eden deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklerin taşınması görevini üstlenen en önemli düşey taşıyıcı elemanlardan birisidir. Deprem sırasında hasar görmüş binaların incelenmesi sonucunda, kolonlar binanın güvenli bir şekilde ayakta kalmasında veya hasar görmemesindeki başlıca etken ve önemli birer taşıyıcı eleman olduklarını ispatlamışlardır (Yılmaz, 2003). Bu bakımdan, özellikle düşey taşıyıcı sistemi sadece kolonlardan oluşan betonarme yapılarda, yatay taşıyıcılardan aldıkları yükü temeller vasıtasıyla zemine aktaran tek bağlantı kolonlar olduğu için taşıyıcı elemanlar içinde önem bakımından en başta gelmektedirler. Günümüze kadar yapılar üzerinde yapılan gözlemlerde kirişler veya döşemelerden bir veya birkaçının

hasar görmesi ya da yıkılması durumunda ayakta duran birçok binayla karşılaşılırken, sadece bir adet kolonda meydana gelen hasar sonucu kısmi veya tamamen yıkılmış birçok binaya rastlanmıştır (Büyükkuşoğlu,1999).

Geçen yüzyılın ortalarından itibaren bilgisayar teknolojisinde yaşanan büyük gelişmeler, disiplinler arası etkileşime ve mühendislik hesaplarında alternatif yöntemlerin oluşmasına neden olmuştur (Civalek 2004). Bilişim teknolojisinde yaşanan bu gelişmeler sayesinde, araştırmacılar doğru, güvenilir ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde yaşanan zorluklara cevap verebilmek için daha hızlı çözüm üretebilen alternatif tekniklere yönelmiştir. Bu amaçla teorik ve pratik çalışmalar yapan araştırmacılar, YSA tekniğini kullanarak elde ettikleri başarılı sonuçlar akabinde, özellikle mühendislik uygulama alanları başta olmak üzere, birçok disiplinde alternatif olarak bu yöntemi kullanmaya başlamışlardır.

Bu çalışmanın amacı, literatürden derlenen veri seti yardımıyla YSA tekniği ile farklı mühendislik özelliklere sahip fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile deplasman sünekliklerini belirlemek, elde edilen sonuçları yapılan laboratuvar çalışmaları sonuçlarıyla karşılaştırmak ve yapılan analizler neticesinde YSA'nın bu alandaki başarısını test etmektir. Tez kapsamında daha önceden farklı araştırmacılar tarafından yapılan ve literatürden elde edilen toplam 86 adet fretli kolon deneylerinin sonuçlarından faydalanılmıştır.

### 1.2. Tezin Önemi

Bu çalışmanın önemi;

1. Literatürde yapılan fretli kolon deneyleri araştırılarak moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile süneklik parametrelerini kapsayan bir veri bankası oluşturmak.

2. Oluşturulan bu veri bankasını kullanarak, YSA tekniği ile fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile süneklikleri tahmin edebilen bir analitik çalışma gerçekleştirmektir.

Yukarıda belirtilen iki maddenin tamamlanması ile uygulamada bazı durumlarda tercih sebebi olan fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile sünekliklerinin karmaşık olan hesabına yönelik: pratik, ekonomik, hızlı ve kullanışlı bir analiz yöntemi geliştirilmiş olacaktır.

## 1.3. Tezin Kapsamı

Bu çalışmada, ilk olarak tezin kurgusu gereği söz konusu yapay zeka tekniğini kullanabilmek için, farklı mühendislik özelliklerine sahip fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile kesit süneklik parametrelerinin belirlenmesine esas olacak veri seti oluşturulmuştur. Veri seti Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (PEER) laboratuvarında farklı araştırmacılar tarafından yapılan deneylerden oluşturulan, veri bankasından elde edilmiştir.

Kolonlar ve davranışları üzerine yapılan araştırmada, kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile sünekliklerinin belirlenmesi üzerine bilgiler sunulmuştur. Kullanılacak olan YSA tekniğinin kullanımı ve uygulama yöntemleri hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir.

YSA'da fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile süneklik parametrelerinin belirlenmesi için kurulan modeller ve modellerin performans değerlendirme kriterlerinden bahsedilmiş ve YSA sonuçlarının deneysel verilerle olan yakınsaması kıyas edilerek tartışılmıştır.

## 1.4. Tezin Katma Değeri ve Yaygın Etkisi

Bu tez çalışması kapsamında yapılan analitik çalışma ile yaygın etkisi ve getirisinin şu şekilde olduğu düşünülmektedir:

- Bu çalışma, bir disiplinin çalışma konusu olan YSA'nın diğer disiplinlere uygulanabilirliğini göstermiş ve bu alanlardaki problemler üzerinde gösterdiği başarısından dolayı oluşan disiplinlerin entegresi ile inovatif bir çalışma ortaya çıkarılmıştır.

- Bu çalışma sayesinde, YSA'nın verileri hızlı bir şekilde algılama ve tanımlama üzerine gösterdiği başarısı sayesinde, klasik tekniklerle çözümü oldukça karmaşık olan fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile kesit sünekliklerinin belirlenmesine yönelik analitik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

# 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Son zamanlarda mühendislik uygulamalarında YSA sıkça kullanılmaktadır. Mühendislik çalışmalarında doğru ve güvenilir bir yöntem kullanılarak uygun çözümün elde edilmesi gerekmektedir. YSA kullanılarak yapılan çalışmalarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle mühendislik uygulamalarında doğrusal olmayan problemlerin çözümünde YSA tercih edilen alternatif bir model olmuştur. Bu bölümde YSA kullanılarak yapılan çalışmalarla, deneysel verilerin elde edildiği ilgili çalışmaların bir kısmının literatür bilgilerine yer verilmiştir.

## 2.1. Kolon Deneyleri Üzerinde Yapılan Çalışmalar

Chai ve arkadaşları (1991), meydana gelen orta dereceli depremlerde (The Whittier Depremi,1987-Loma Prieta Depremi,1989) California'da ki köprülerin birçoğunun yıkılması veya ağır hasar görmesi üzerine mevcut deprem yönetmeliği yürürlüğe girmeden önce (ACI 318-89' a göre) tasarlanan köprü kolonlarının kesme dayanımlarını, eğilme dayanımlarını ve sünekliğini artırmak için güçlendirme önlemlerinin ihtiyacını vurgulamışlardır. Bu çalışmalarında da, dairesel kolonların plastik mafsal bölgesine çelik plakalar giydirilerek güçlendirmesini amaçlayan araştırma projesinin sonuçları sunulmuştur. Kolon numunelerinin deney sonuçlarından çelik gömlekle güçlendirilmiş kolonların geçerli yönetmeliğe göre (ACI 318-91) dizayn edilmiş iyi sargılı kolonlar kadar yüksek süneklik sergilediği görülmüştür.

Coffman ve arkadaşları (1993), bir tanesi referans, üç tanesi güçlendirilmiş olan dört adet ½ ölçekli dairesel kolonun sismik performansı üzerinde çalışmışlardır. Güçlendirme kolon mesnet bölgelerine yapılan ön germeli çelik çemberler ile sarılarak sağlanmıştır. Deneylerin sonuçlarından, bu güçlendirmenin enerji sönümleme kapasitesinin korunmasında ve benzeştirilmiş sismik sarsıntılar altında bindirme bölgesinin yapısal ömrünü artırılmasında etkili olduğunu görülmüştür.

Hamilton ve arkadaşları (2001) çalışmalarında, sismik olaylara yakın bölgelerdeki basit köprü yapılarının davranışınlaria ilişkin, yakın ve uzak bir bölgedeki sismograftan alınan zaman kayıtları arasında ki talep özelliklerini değişkenlik bağlamında incelemişlerdir. Yakın fay yükleme koşulları benzetimini yapmak için yarı-statik ve sözde dinamik deplasman protokolleri kullanarak, betonarme kolon serisinin performansı değerlendirilmişlerdir. Sonuçlara bakıldığında, büyük deplasman döngülerini içeren zaman

tanım alanlı yüklemeler diğerleriyle karşılaştırıldığında yük-deplasman eğrisinin başlangıç rijitliğinde küçük bir artış haricinde önemli bir değişiklik gözlemleyememişlerdir.

Kunnath ve arkadaşları (1999), deneylerde deprem hareketine maruz kalan dairesel betonarme köprü kolon ayakların artan hasarını incelemeyi amaçlanmışlardır. Testlerin sonucundan iki farklı göçme modunun olduğunu görülmüştür. Bunlar, boyuna donatıda düşük döngülerde meydana gelen yorulma ve spiral donatıda meydana gelen kopmadan dolayı oluşan sargılama hatası olduğunu gözlemlemişlerdir. İkinci göçme durumu, oldukça büyük yatay deplasman büyüklüğünde: yaklaşık %4 'lük yatay ötelenmeye sonucunda, ilk göçme durumu ise, küçük genlikteki deplasman büyüklüklerinin daha fazla sayıda uygulanması ile ilişkilendirmişlerdir.

Lehman ve arkadaşları (2004), dairesel kesitli, sargılı, hasar durumu seviyesinde betonarme köprü kolonların sismik performansını değerlendirmektir. Test programı, sünek kırılma için tasarlanmış dairesel kesitli betonarme kolonlar için sınırlandırılmıştır. Test verileri performans bazlı sismik tasarımda kullanılmak üzere uygun olan mühendislik sınır durumlarına göre düzenlemişlerdir. Deney sonuçlarının analizinden kalıcı çatlak hasar durumu, kabuk betonu dökülmesi ve çekirdek betonu hasarının boyuna donatının çekme dayanımı ve betonun basınç dayanımı gibi mühendislik parametreleri ile en iyi şekilde ilişkili olduğunu görülmüştür.

Lim ve David (1991), bu deneysel çalışmalarında, kolon alt ucunda moment-azaltıcı mafsal detayına sahip olan kolon numunelerin, sabit eksenel yük altında elastik olmayan yatay yer değiştirmelere maruz bırakıldığında davranışını incelemeyi amaçlamışlardır. Testler iki farklı numune ölçeğinde gerçekleştirilmiştir: Küçük ölçekli numuneler yaklaşık 1/20 ve daha uygun ölçekli numuneler 1/5 ölçeklidir. Küçük ölçekli testler düşük maliyetli olduğundan büyük ölçekli testler için parametre seçiminde yol göstermesi bakımından yapılmıştır. Deney sonucunda, moment – azaltıcı mafsal detaylı kolonlar elastik olmayan yer değiştirmelere maruz kaldığında $\mu=12$ deplasman seviyelerine kadar ulaştığı ve sabit bir moment-yer değiştirme davranışı sergilediği görülmüştür.

Priestley ve arkadaşları (1996), ACI 318 (Amerikan Beton Enstitüsü) 'deki en küçük boyuna donatı oranı olan %1 koşulunun kesme dayanımına olan katkısını araştırmışlardır. Birincisi, ACI 318'de verilen boyuna donatı oranının yarısıyla ve daha sık spiral sargı ile ikinci kolon ise, minimum boyuna donatı şartıyla ve spiral donatı adım aralığı artırılarak dizayn edilmiş ve her ikisi de aynı yükleme modeliyle test edilmiştir. Sonuçlar, boyuna donatı oranının eğilme davranışı üzerine aksi bir etki yapmaksızın azaltılabileceğini ve kolonun kesme dayanımına boyuna donatı oranın bir etkisinin olmadığı gösterilmiştir.

Saatcioğlu ve Baingo (1990), 90 MPa'ya kadar beton dayanımına sahip olan yüksek dayanımlı betonarme kolonların davranışı deneysel olarak inceleyerek, normal ve yüksek dayanımlı enine donatılarla beton sargılaması sonucunda, yüksek dayanımlı betonarme kolonların deformansyon yapabilme kabiliyetlerini geliştirmeyi amaçlayan bir dizi çalışma yapılmışlardır. Bu bağlam da adım adım artan tersinir yatay deplasman ve farklı seviyelerdeki sabit eksenel yük altında test edilen 9 kolonun sonuçları sunulmuştur. Kolonlar dairesel kesite ve spiral yatay donatıya sahiptir. Farklı hacimsel oran ve donatı sınıfları ile çekirdek betonu sınırlandırmak için kullanılmıştır. Sonuçlara bakıldığında: tüm kolonlar, akma dayanımına kadar benzer bir davranış sergilediğini ve kolonların akması, %1'lik yatay ötelenme meydana geldiğini gözlemlemişler ve sargılama sayesinde normal dayanımlı betonlar kadar deformasyon kabiliyetlerinin geliştirilebileceğini öngörmüşlerdir.

Yael D. Hose ve arkadaşları (1997), California Üniversitesinde, % 40 ölçekli 7 dairesel kolon tasarlamışlardır. Başlık kirişi ve temel gibi mesnet bölgelerinin belli bir uzaklığında oluşan plastik mafsalların yer değişimini araştırmak için test etmişlerdir. İlk kolon referans kolon olarak tasarlanmıştır. Plastik mafsal bölgesinin yerinin değişimini izlemek için bir tanesi referans olmak üzere, dört kolon numunesi imalat edilmiştir. Referans kolon hariç, diğer üç kolon numunesinin iç kısmına eş merkezli bir ek donatılandırma ile bu uç bölgeye takviye yapılarak, kolon temel birleşim bölgesinin kapasitesi fazla olacak şekilde tasarlamışlardır. Sonuçlar plastik mafsalın başarılı bir şekilde yer değiştirdiğini ve böylece düğüm bölgelerinde ki akma eğilimini azaltarak bu bölgelerden uzaklaştığını göstermiştir. Ancak, deneylerden elde edilen bir ikinci sonuç ise plastik mafsalın yer değiştirmesi, tüm boyuna donatılarda burkulmaya ve oluşan kesme hasarının erken kırılmaya neden olduğunu göstermiştir.

Zach Price ve arkadaşları (1999) çalışmalarında, betonarme köprü kolonlarda döngüsel çevrimin hasar ilerlemesi üzerine etkisini değerlendirmek üzere, düşük sargı donatılı altı tane dairesel kolonu Washington Üniversitesi laboratuvarında test etmişlerdir. Bu altı kolon Washington Eyaleti Ulaşım Departmanında 1970'lerin ortalarına kadar üretilen köprü kolonlarla bire bir özdeş olarak tasarlamışlardır. Testlerde her deplasman seviyesinde 1'den 15'e kadar artan döngü sayısı kullanılmıştır. Son üç döngüde kolonların maksimum deformasyonunda yaklaşık olarak %30'luk yük kaybı meydana gelmiştir. Sonuçlar ışığında kolonların hepsi, eğilme modunda göçme durumuna ulaştığı gözlemlenmiştir.

## 2.2. YSA ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Akdoğan (2010) tez çalışmasında, çeşitli çelik moment birleşimlerine ait deney sonuçları kullanılarak birleşimin kümülatif plastik dönme kapasitesi, YSA yardımıyla belirlemeye çalışmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, YSA'nın bu tür uygulamalarda güvenle kullanılabileceğini göstermiştir.

Armutcu (1997), çalışmasında YSA'nın izostatik kafes sistem analizi ve tasarımında yapay sinir ağının kafes kirişlerin çözümü üzerindeki etkinliğini araştırmak için beş farklı uygulama yapılmıştır. Her uygulamada sistem şekli, açıklık ve yükleme durumu farklı izostatik kafes kiriş seçilmiştir. Her uygulamada oluşan hata değerleri hesaplanarak yapay sinir ağının izostatik kafes kirişler üzerindeki öğrenme yeteneği araştırılmıştır.

Arslan (2012) çalışmasında, 4 ile 10 katlı olarak tasarlanan 66 tane betonarme yapının TDY-2007 (Türk Deprem Yönetmeliği 2007)'ye göre performans seviyeleri yapay sinir ağı yöntemi kullanarak tahmin etmişlerdir. %80 gibi bir başarı oranıyla binaların deprem performans seviyelerini hızlı ve ekonomik bir şekilde belirlenebileceğini göstermiştir.

Arslan (2010), çalışmasında betonarme binaların deprem performanslarını belirleyen yapısal parametrelerin performans üzerine etkisini değerlendirmek için bir dizi YSA algoritması kullanarak teste tabi tutmuştur. 4 ve 7 katlı olarak modellenen 256 binanın performansları SAP2000 programı ile modellenerek binaların kapasite eğrileri elde edilmiştir. YSA, binaların deprem performanslarını %91,68 ile %98,47 arasında oldukça yüksek bir başarı oranı ile tahmin etmiş ve duvarların etkili kesme alanı ile kısa kolonun deprem performansını belirlemede önemli birer yapısal parametreler olduğunu bulmuştur.

Arslan ve İnce (1993), tek eksenli bileşik eğilme altındaki betonarme kolonları YSA ile donatı hesabını incelemiş, yapılan bu çalışma YSA ile yapılacak çalışmaların ilk adımını teşkil ettiğini belirterek, elde edilen sonuçlar sayesinde YSA'nın yapı mühendisliği uygulanmasında başarılı olduğunu belirtmiştir.

Baltacıoğlu ve ark. (2010) çalışmalarında, deprem geçirmiş bir betonarme yapının hasar durumunu, hatanın geri yayılım algoritmasına dayalı çok katmanlı YSA ile tahmin edilmiştir. Çalışmada genelleştirilmiş delta kuralı kullanılarak ağın eğitimi depremde hasar görmüş yeterli sayıda binaya ait veri kullanılarak yapılmıştır. Yöntem, mevcut bir yapının hasar miktarını %81 oranında bir yakınsaklıkla tespit etmiştir.

Budak ve Can (2005), iki eksenli bileşik eğilme halinde dikdörtgen kesitli betonarme kolonların donatı hesabını daha pratik bir çözüm elde etmek için YSA'nın eğitilmesi ile

bağıntılar elde edilmiştir. Elde edilen bağıntılar farklı donatı sınıfı ve yerleşim durumları için veriler üretilerek YSA ile eğitilmesi sonucunda çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçların bağıl oranlarına bakıldığı zaman eksenel kuvvet ve iki eksenli eğilme altındaki dikdörtgen kesitli betonarme kolonların donatı hesabında pratik amaçlar doğrultusunda kullanılması uygun görülmüştür. Ayrıca YSA'nın bu konuya uygulanmasının da başarılı olduğu anlaşılmıştır.

Budak ve Can (2007), tek eksenli bileşik eğilme etkisindeki betonarme kolonların taşıma gücüne göre donatı hesabına pratik bir çözüm getirilmesi amaçlanmış, ayrıca en kesit şekli olarak dikdörtgen kesit dışında, altıgen, sekizgen ve daire gibi en kesit şekilleri de göz önüne alınarak, bu doğrultuda bazı bağıntılar elde edilmiştir. Bağıntılar, denge denklemlerinin çözümü ile elde edilen veriler kullanılarak, YSA'nın eğitilmesi sonucunda çıkarılmıştır. Elde edilen bağıntıların; eksenel kuvvet ve tek eksenli eğilme altındaki betonarme kolonların donatı hesabında, uygulanabilir sonuçlar verdiği bulunmuştur. Böylece YSA kullanılarak elde edilen bağıntılar, oldukça karmaşık ve zaman alıcı olan çokgen kesitli kolonların donatı hesabını kolaylaştırarak, uygulamacılara avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

Ceylan ve ark. (2010), 1999 Marmara Depremi sonrası prefabrike yapılar için seçilen deprem yükü azaltma katsayı (R) değerinin doğru olmadığı ve bu yüzden de prefabrik yapılarının büyük hasar görmesine neden olduğu uzmanlar tarafından da kabul edilmiştir. Bu çalışmada ise, 280 adet prefabrik bina örneği Sap2000 programıyla modellenerek deprem yükü azaltma katsayısı hesaplanmıştır. YSA ve ANFIS (Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi) ile de bu örneklerin 214 tanesi programlar tarafından eğitilmiş ve 66 tanesinin deprem davranış katsayıları sırasıyla %94 ve %96 başarı oranıyla tahmin edilmiştir. Bu çalışma sayesinde de prefabrike betonarme sanayi yapıların deprem davranış katsayılarını YSA ve ANFIS uygulamaları kullanarak yüksek bir doğruluk oranıyla tahmin edilebileceğini göstermişlerdir.

Civalek ve Çatal (2004), çalışmalarında elastik kirişlerin çeşitli mesnet şartları için maksimum deplasman ve titreşim frekanslarını veren çok katmanlı bir YSA modeli geliştirmiştir. Geriye yayılma eğitim algoritmasını kullandıkları çalışmalarında, dört farklı mesnet şartı (her iki ucu ankastre, ankastre mesnet-sabit mesnet, iki ucu mafsallı mesnet ve ankastre mesnet-boşta uç) dikkate alınmıştır. Kirişin maksimum deplasman değerinin belirlenmesi için eğitim seti için ilk üç mesnet şartı kullanılmış ve YSA modeli bu örneklerle eğitilmiştir. Test seti için dördüncü mesnet şartı kullanılmış ve YSA modeli test edilmiştir. Daha sonra, kiriş serbest titreşimi için her iki ucu mafsallı olması durumu için eğitim seti oluşturulmuş ve YSA modeli eğitilmiş ve diğer üç sınır şartı kullanılarak oluşturulan test seti

ile YSA modeli test edilmiştir. Eğitim seti ve test setinin oluşturulmasında kullanılan örnekler, deplasman ve titreşim frekans değerleri için mevcut analitik ifadelerden ve Rayleigh metodu çözümlerinden elde edilmiştir. YSA modelinin analizinden elde edilen sonuçlar analitik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. YSA modeli ile elde edilen sonuçların yeterli hassasiyette olduğu gösterilmiştir.

Consolazio (2000), betonarme bir köprünün değişik yük şartları altında yük deplasman ilişkisini YSA metoduyla incelemiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile farklı boyutlardaki örneklerin değişik bölgelerine yüklemeler altındaki deplasmanlarını analitik olarak çözümlemiştir. Buradan elde ettiği verilerle eğitim ve test setini oluşturmuştur. Rastgele seçilen bölgelere uygulanan yüklemeler altında oluşan deplasmanlar için sonlu elemanlar yaklaşımı ile YSA modelinin sonuçları kıyaslandığında çok yakın sonuçlar bulduğunu göstermiştir.

Çağlar (2002), binaların üç boyutlu dinamik analizlerinin daha hızlı ve güvenilir yapılabilmesi için YSA ile bir yöntem geliştirmiştir. YSA'da kullanılmak üzere oluşturulan eğitim seti ve test seti SAP2000 paket programı kullanılarak, bina örneklerinin zaman tanım alanında dinamik analizleri yapılarak hazırlanmıştır. YSA sonuçları, test setinin performansının değerlendirilmesinde SAP2000 paket programından elde edilen sonuçlarla doğrulanmıştır. Bu yöntemde tek girdi katmanı ile üç farklı YSA modeli kurulmuştur. Test setinin performansı incelendiğinde eğitim ve test setinin oluşturulmasında deneysel verilerden faydalanılırsa gerçek yapı davranışı yakalanacağı belirtilmiştir. YSA'nın paralel çalışma özelliğinden dolayı çok daha kısa sürede problemin çözümünü gerçekleştirdiği belirtilmiştir.

Çağlar (2009), çalışmasında dairesel kesitli betonarme kolonların kesme dayanımını belirlemek için YSA yaklaşımını kullanmıştır. Eğitilen YSA modelinde hatayı geri yayma algoritmalı çok katmanlı algılayıcı (MLP), ölçeklendirilmiş eşleştirmeli gradyan (SCG) fonksiyonunu ile kurulmuştur. YSA modelinde kullanılmak üzere eğitim ve test seti örnekleri literatürde bulunan örneklerden elde edilmiştir. MATLAB bilgisayar programını kullanarak YSA modelini eğitmiş ve test etmiştir. Elde edilen sonuçlar, dairesel kesitli betonarme kolonların kesme dayanımının belirlenmesinde YSA yaklaşımının oldukça başarılı sonuçlar verdiğini belirlemiştir.

Dere (1997), yapı analizi ve tasarımındaki uygulamaları yapay sinir ağıyla incelemiştir. Çalışmada turbo pascal dilinde geliştirilen bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Analitik yöntemle bulunan sayısal sonuçlarla yapay sinir ağından elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Garip (2011), çalışmasında mevcut betonarme binaların deprem performanslarının belirlenmesinde güvenilir ve daha hızlı bir yöntemin geliştirilmesi ve bu konuda YSA yaklaşımının uygunluğunun gösterilmesini amaçlamıştır. YSA modelini eğitim ve testi için veri seti mevcut bina planlarından üretilen modellerden oluşturulmuştur. Eğitim için 9150 adet farklı bina örneği kullanılmış ve test için 600 adet farklı bina örneği hazırlanarak oluşturulan YSA tabanlı performans değerlendirme modeli 27 adet binadan oluşan referans seti ile değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, YSA tabanlı performans değerlendirme modellerinin hızlı ve güvenilir sonuçlar verdiği ve binaların deprem performanslarının belirlenmesinde alternatif bir metot olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Güllü ve diğerleri (2007), çalışmalarında YSA ile en büyük yer ivmesinin tahmin edilmesini amaçlamış ve tahmin sonuçlarının doğruluğu regresyon ile karşılaştırmışlardır. YSA'daki giriş katmanında büyüklük, uzaklık ve zemin koşulu, çıkış katmanında ise en büyük yer ivmesi olarak almışlardır. Ağın eğitim aşamasında, tahmin edilen en büyük yer ivmeleri ile ölçülen ivmeler arasındaki belirlilik katsayısı %92, test aşamasında ise %64 olarak bulmuşlardır. Ağın genelleştirme kapasitesi iyi olmasına rağmen, ağ yapısında yapılacak düzenlemeler ile yakınsama değerlerinin artabileceği vurgulanmıştır. Sonuçlar daha doğru ivme tahmini için YSA'nın alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceğine işaret etmektedir.

İnel (2007), betonarme kolonların nihai deformasyon kapasitelerini tahmin etmek için YSA'yı kullanmış ve bu konu üzerine YSA'nın uygulanabilirliğini araştırmıştır. Literatürden elden edilen 237 adet dikdörtgen kolon verisi kullanılarak 9 girişe ve tek çıkışa sahip çok katmanlı bir YSA modellenerek eğitilmiştir. İnel, elde ettiği model sonuçlarının deneysel verilerle uyum içinde olduğunu görmüş ve YSA'nın betonarme kolonların deformasyon kapasitelerini tahmin etmek için, kullanılabilecek alternatif bir metot olduğunu göstermiştir.

Kim (2004), betonarme elemanlarda eğilme momenti ve eksenel kuvvet taşıma kapasitelerinin kesme kuvveti taşıma kapasitesine göre daha kolay belirlenmesinden yola çıkarak, betonarme ve öngerilmeli betondan üretilmiş kiriş elemanlarının kesme dayanımlarının irdelenmesine yönelik deneysel verilerle bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada geniş kapsamlı bir literatür taramasının yanında, kesme etkisi altında kırılma (göçme) kavramlarından bahsedilmiş ve uygulamada kullanılan yönetmelik kurallarından örneklere yer verilmiştir.

Köroğlu ve ark.(2012), literatürden elde ettikleri 48 adet FRP (Fiberle Güçlendirilmiş Polimer) ile sargılanmış kolonların kapasite değerlerini ($M_r$-$N_r$) YSA ve birleştirilmiş YSA (Combined ANN) yöntemi ile belirlemişlerdir. Sonuçlar birleştirilmiş YSA'nın geleneksel

YSA'ya göre daha yüksek bir doğruluk oranıyla tahmin ettiğini ve her iki yapay zekâ yönteminin kolon kapasite değerlerini literatürde ki diğer geleneksel yöntemlere göre, oldukça yüksek bir doğruluk oranıyla tahmin ettiğini göstermişlerdir.

Özsoy ve Fırat (2004), çalışmasında kirişsiz döşemeli betonarme binaların belirli parametrelere bağlı olarak meydana gelen yatay ötelenmelerin değerinin YSA ile tahmin etmeyi amaçlamışlarıdır. Bunun için tahmine yönelik çalışmalarda en çok tercih edilen ve en iyi sonucu veren ileri beslemeli YSA kullanmışlardır. Model kurulurken giriş parametreleri belirlendikten sonra, eğitim ve test için kullanılacak veriler oluşturulan modellerin SAP2000 programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilmiştir. YSA ile yapılan yatay deplasman tahminleri, SAP2000 programı ile karşılaştırıldıktan sonra ortaya çıkan en büyük fark 0,465mm olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında, yatay deplasmanların YSA ile başarılı bir şekilde tahmin edilebileceği gösterilmiştir.

Öztürk (2013) çalışmasında, çatlamamış betonda tekli ve grup halindeki kimyasal ankrajların çekme kuvvetiyle yüklenerek betondan çıkarılması için gereken kuvvet kapasitesini YSA ile tahmin etmeyi amaçlamıştır. Burada grup etkisi için dörtlü ankraj grupları düşünülmüştür. YSA'nın veri seti için literatürden derlenen 317 deney elemanının 147'si beton numunelerinin kenar bölgelerine bulunan tekli ankrajlardan, geriye kalan 175 tanesi de grup ankrajlı deney numunelerinden oluşmaktadır. Farklı öğrenme algoritmaları ile oluşturulan üç katmanlı ağ modelinde verilerin %75'i eğitim için, %25 test amaçlı olarak kullanılmıştır. Çalışmanın giriş katmanında dikkate alınan değişken parametreleri, ankraj donatısının çapı, beton numunesinin basınç dayanımı, tekli ankrajlar için kenar numunelerin uzunluğu, grup ankrajları için ankraj donatıları arasındaki mesafeler, numunelerin yüksekliği ve beton numunelerinin içinde kalan ankraj boyları olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, YSA'da oluşturulan ağ modeli yardımıyla özellikle tekli ankrajların yüksek bir başarı oranı ile tahmin edilebileceği gösterilmiştir.

Öztürk ve ark. (2013) çalışmalarında, yüksek fırın cürufu ve korozyon inhibitörü kullanımının betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerine etkisini araştırılmışlardır. Basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve klorür iyonu geçirimliliği için toplam 162 (her biri için 54 adet) deney yapılmıştır. Sonuçlar, yüksek fırın cürufu ve inhibitör katkılı betonlarda hava kürü yerine su kürünün yapılması ve kür sürelerinin artması ile betonun mekanik özelliklerinin ve klorür iyonunu geçirimliliklerinin önemli ölçüde iyileştiği görülmüştür. Ayrıca YSA ve ANFIS modelleri ile deneysel verilerin oldukça yakın oranda tahmin edilebileceğini ortaya çıkarmışlardır.

Sanad ve Saka (2001), YSA yöntemini betonarme derin kirişlerin kesme kuvveti kapasitelerinin belirlenmesinde kullanmıştır. Eğitim ve test setini literatürden elde ettikleri 111 deneysel veri ile hazırlamışlardır. İki tekil yükle kiriş ortası ile mesnet ortasından simetrik olarak yüklü basit mesnetli kirişin geometrik ve malzeme özelliklerini gösteren 10 değeri girdi katmanında, kesme kuvveti kapasitesini tek değer ile çıktı katmanında tanımlamıştır. Kesme kuvveti kapasitesinin gerçek ve tahmin edilen değerle arasındaki ortalama oranını YSA ile 0.99 olarak bulmuş ve YSA'nın diğer metotlara oranla betonarme derin kirişlerin kesme kuvveti kapasitelerinin belirlenmesinde verimli alternatif bir metot olduğunu belirtmiştir.

Şahin ve arkadaşı (2003), çalışmalarında geri beslemeli YSA ile bir model oluşturmuşlardır. Bu model ile kirişe benzer yapılarda oluşacak hasarların miktarı ve yerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için YSA modelinde global ve yerel titreşim analiz verileri kullanılmıştır. YSA modelinden elde edilen sonuçlar yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Şeker (2008), çalışmasında açıklık uzunlukları sabit olup açıklık sayısı 1 ile 5 arasında, kat yükseklik uzunlukları sabit olan ve kat sayısı 1 ile 8 arasında değişen toplam 40 adet modelin SAP2000 programı yardımıyla modellenerek veri seti oluşturulmuştur. Bina örneklerinin performans noktası değerleri SAP2000 programı analizi sonucunda, tepe noktası deplasman değeri ve taban kesme kuvveti büyüklüğü ATC-40 kriterlerine göre bulunmuştur. SAP2000 analiz programı kullanılarak performans noktaları belirlenen 40 adet yapıyı, YSA'nda eğiterek toplam bina uzunluğu ve toplam bina yüksekliğine bağlı olacak şekilde binaların performans noktası değerleri tahmin edilmeye çalışmıştır. Bu yöntem sayesinde, sabit açıklık ve bina yüksekliğine sahip yapıların bina genişliği ve bina yüksekliği değerlerinin değişmesi koşuluyla performans noktası değerlerinin YSA yardımıyla belirlenebileceği gösterilmiştir.

Ülker ve Civalek (2002), YSA'yı kullanarak çeşitli mesnet koşulu için eksenel yüklü kolonların burkulma analizini yapmışlardır. Çalışmalarında buldukları sonuçları gerekli hesaplayıcı ihtiyacı ve süre açısından değerlendirdiklerinde bir hayli başarılı bulmuşlardır.

Ülker ve Civalek (2004), dikdörtgen plakların doğrusal olmayan analizinde yapay zekâ tekniği ile lineer ve lineer olmayan analizi sunulmuştur. Ağ, geri-yayılma sinir ağı olarak modellenmiş, plak kalınlığı bulanık üçgen üyelik fonksiyonu ile normalize edilmiştir. Sonuçlar, yapay zekâ tekniğinin yapı mühendisliğinde kullanılabilecek alternatif bir metot olduğu gösterilmiştir.

Çalışma kapsamında, yapılan literatür araştırması sonuçlarına göre YSA tekniği kullanılarak fretli kolonların moment, kesme kuvveti taşıma kapasitesi ile kesit sünekliğinin belirlenmesi amacıyla ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yüzden, bu tez çalışmasının yapılaması ile bu konuda olan açıklık giderilmiş olacak, hem de fretli kolonların YSA ile eğitimi sonucunda aynı anda moment, kesme kuvveti taşıma kapasitesi ile süneklikleri belirlenmiş olacaktır. Ayrıca çalışmanın sonucuna göre, bu değerlerin belirlenebilmesi için harcanan zaman ve imkânlar konusunda büyük bir tasarruf elde edilecektir.

# 3. KOLONLAR VE DAVRANIŞLARI

## 3.1. Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı

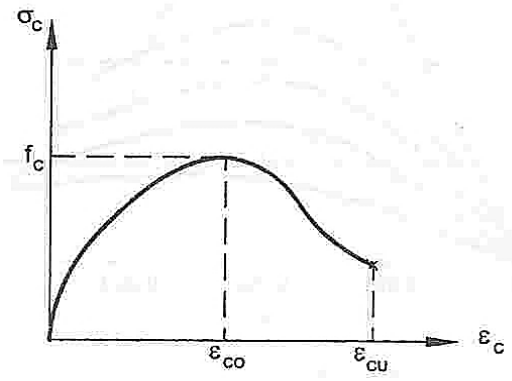
Kolonun yük taşıma gücünün tükenmesi için, mutlaka her iki malzemenin de sınır dayanım değerine ulaşması gerekmektedir. Beton veya donatı sınır dayanımına eriştiğinde "kuvvet uyumu" oluşmakta ve sınır dayanıma erişmeyen malzeme diğerine yardım etmektedir. Deneylerden elde edilen bilgiler ışığında, eksenel basınç altındaki bir betonarme elemanın taşıma gücünün, beton ve donatı kapasitelerinin toplanması ile elde edileceği anlaşılmıştır (Ersoy, 1998).

$$N_{or} = 0.85 f_{ck} A_{cn} + A_{st} f_{yk}$$
$$A_{cn} = A_c - A_{st} \qquad (3.1)$$

Yapılan deneylerde, eksenel yük sıfırdan başlayarak kademeli bir şekilde artırıldığında, donatı ve betonda oluşan gerilmelerin elastisite teorisinden elde edilen sonuçlardan fazla farklı olmadığı görülmüştür. Ancak, eksenel yük seviyesi belirli bir aşamada sabit tutulduğu takdirde, zamana bağlı deformasyonlar nedeniyle gerilmeler önemli ölçüde değişmekte ve hesaplanan gerilmeler elde edilen sonuçlarla uyuşmamaktadır (Ersoy, 1998).

Eksenel yük taşıyan kolonda (M=0) eğer kullanılan donatı çeliğinin sınıfı S220 ise, donatı akma birim kısalmasına ulaştığında deformasyon değeri $\varepsilon_{sy}$=0.0011 olup, beton henüz maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma değerine ulaşmamaktadır ($\varepsilon_{co}$=0.002). Bu durumda yük artırılmaya devam edilirse, donatı tarafından taşınan kuvvet sabit kaldığından, betonun uygulanan bu yükten alacağı pay oranı artmaktadır.

Betonun birim kısalma değeri $\varepsilon_{co}$ değerine eriştiğinde, betonun ezilerek dağılmasını önlemek, ancak betonun taşıdığı yükün bir bölümünün donatıya aktarılması ile mümkün olmaktadır. Bunun nedeni, betonun $\sigma$-$\varepsilon$ eğrisinin incelenmesinden anlaşılabilir (Şekil 3.1). Beton maksimum gerilmesini aştıktan sonraki kuyruk kısmı da ihmal edilemeyecek kadar önemlidir. Betonun maksimum gerilme değeri aşıldıktan sonra, en fazla zorlanan dış lifteki ezilme, bu gerilemeye karşılık gelen $\varepsilon_{co}$ birim kısalmasında değil, $\varepsilon_{cu}$ =0.003 değerinde oluşmaktadır.

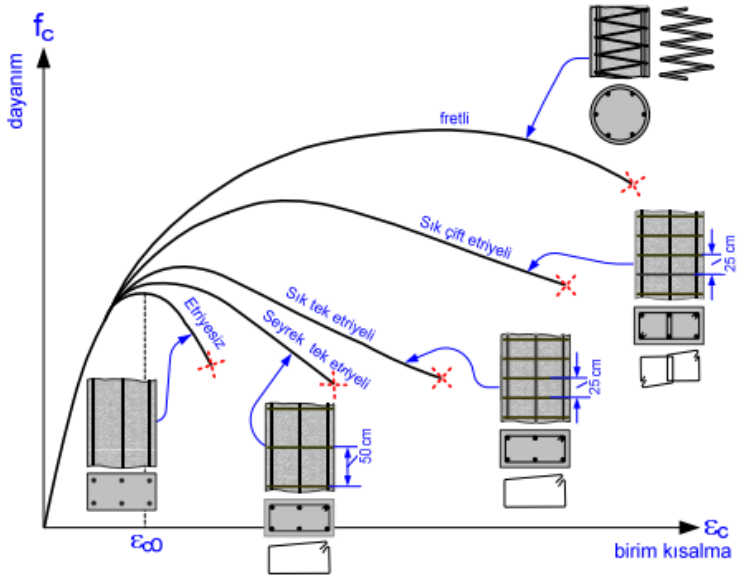



**Şekil 3.1.** Geleneksel betonların gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Ersoy, 1998)

Yukarıda verilen geleneksel betonların gerilme şekil değiştirme eğrisinden görüleceği üzere, birim kısalmanın $\varepsilon_{co}$ değerini geçmesi, ancak bir gerilme azalması ile mümkün olmaktadır. Bu aşamada donatı daha önce akma gerilmesine ulaştığı için daha fazla yük alamayacak ve betondan donatıya kuvvet aktarılması mümkün olmayacaktır. Bu durumda, kolon taşıma gücüne ulaşacak ve artan deformasyonlarla yük düşmeye başlayacaktır. Bu nedenle, taşıma gücüne erişildiğinde kolondaki birim kısalma değeri yaklaşık $\varepsilon_{co}$=0.002 olmaktadır.

Kolon boyuna donatısı S420 olduğu durumlarda, donatının akma birim deformasyonu, yaklaşık betonun birim kısalması $\varepsilon_{co}$'ya eşit olacağından ($\varepsilon_{sy}$=0.0021), taşıma gücündeki birim kısalma yine 0.002 olacaktır.

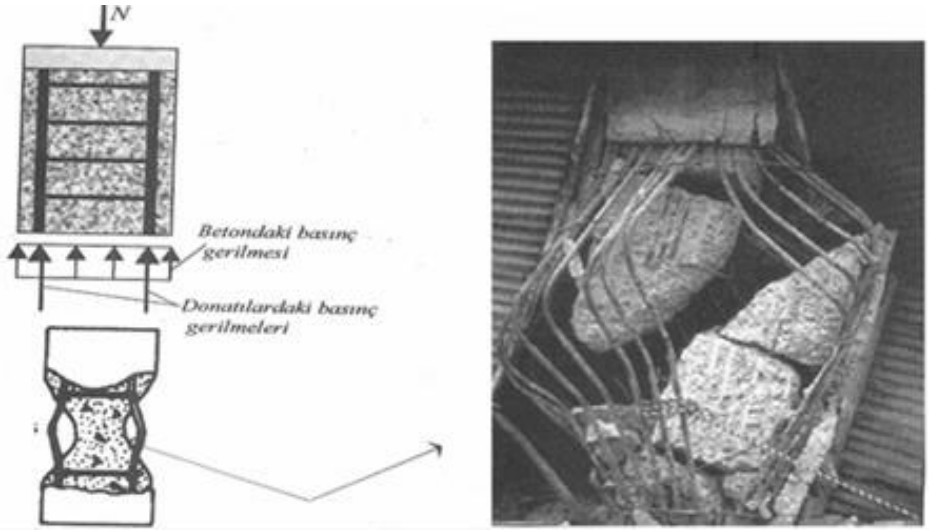
Yukarıda sözü edilen davranış, ancak yeterli sargı donatısı ile çekirdekteki betonun dayanımı ve σ-ε eğrisinin tepe noktasındaki birim kısalma değeri artırılarak ($\varepsilon_{co}$>0.002) değiştirilmektedir. Şekil 3.2'de gösterilen yük - deformasyon eğrileri incelendiğinde, etriye aralığını azaltmanın kolondaki sünekliği artırdığını; ancak dayanımda da ciddi bir artış olabilmesi için tutulmuş boyuna donatılar arasındaki uzaklık olan serbest etriye açıklığı "a" ve etriye aralığı "s" azaltılarak ve bunlara nazaran daha az etkili olsa da, etriye çapı artırılmasıyla mümkün olmaktadır. Tüm bunlara rağmen, en etkili sargı donatısının sürekli dairesel fret olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, fretteki deformasyonların eksenel rijitliğe, dikdörtgen etriyelerde ise eğilme rijitliğine bağlı olmasındandır. Eğriler altında kalan alanlar kıyaslandığında, sargı donatısı ile enerji tüketme kapasitesinin arttığı açıkça görülmektedir. Bu durum, çok yüksek enerjinin bir anda açığa çıktığı deprem etkisi altındaki kolonlar için son derece önemlidir.



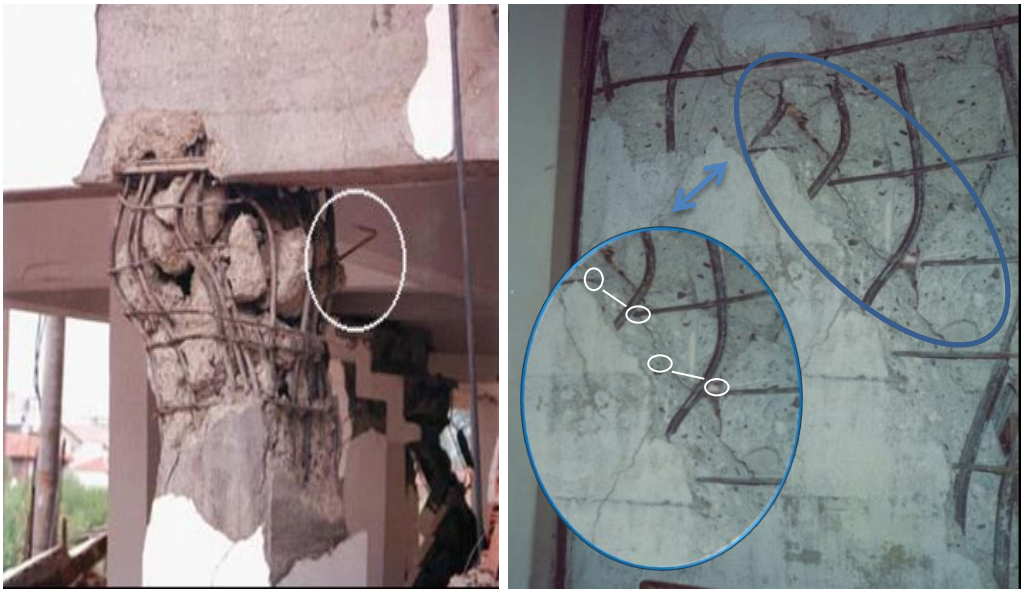

**Şekil 3.2.** Farklı miktarlardaki etriyeler ile sarılmış beton için gerilme şekil değiştirme grafikleri (Topçu, 2015)

Betonarme bir kolon eksenel basınç yükü etkisinde kaldığı zaman, bu yük beton ve donatıda basınç gerilmeleri oluşturmaktadır. Etriyeli kolonda basınç yükü arttığında betonda ezilme meydana gelmekte ve bu bölgelerde etriye aralığı da fazla ise boyuna donatılar burkulmaktadır (Şekil 3.3). Etriye, TDY-2007'deki koşullara uygun olarak sık bir şekilde yerleştirilirse, boyuna donatıların burkulma boyları azalacak dolayısıyla da donatılar ancak daha büyük eksenel yüklerde burkulacaktır. Bunun yanında tekniğine uygun olarak yerleştirilen sık etriye, kolonun kesme dayanımını artırmasının yanında sünekliğini de artıracak ve muhtemelen kolon depremi daha az hasarla atlatacaktır.

Kolonlarda etriyelerin sık yerleştirilmesi, deprem davranışları için olumludur, ancak yeterli değildir. Etriye kancaları deprem yönetmeliği koşullarına uygun olarak yapılmayıp kancalar 90° kıvrılırsa, depremde etriyeler çok kolay bir şekilde açılacak ve kolonun ağır hasar görmesine neden olacaktır. Kancalar 135° bükülmesi, etriyenin çekirdek betonuna yeterli yanal basıncı uygulamasını sağlayacak ve böylece betonun sünekliğinin yanında dayanımı da artırarak kolon arzu edilen deprem davranışını sergileyecektir. Şekil 3.4' de etriye aralığının yetersizliğinden dolayı boyuna donatılarda burkulma görülmektedir. Ancak kesmenin de etkisiyle etriye kopana kadar çalışmış ve yapı yıkılmaktan kurtulmuştur (Doğangün, 2014).



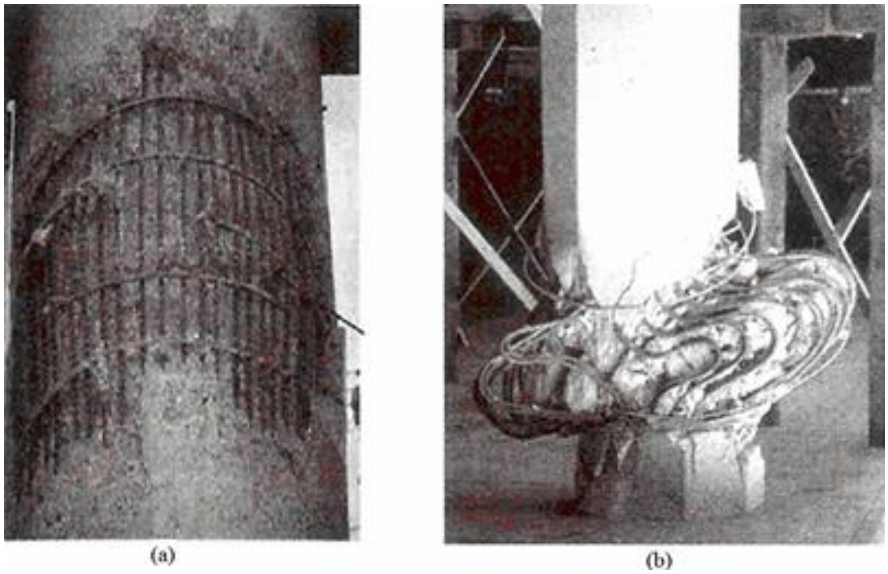

**Şekil 3.3.** Eksenel yük altında etriyeli kolonun davranışı (Doğangün, 2014)



a) Depremde etriyelerin kolayca açılması b) Depremde etriyelerin kopana kadar çalışması
**Şekil 3.4.** Etriye kancalarının kolon davranışına etkileri (Doğangün, 2014)

Fretli kolonlarda basınç yükü arttığında ilk olarak çekirdek alanı dışındaki beton örtüsü dökülmektedir. Sargı donatısı çekirdek betonuna yanal basınç uygulayarak, kolonun hem dayanımına hem de sünekliğine katkıda bulunmaktadır. Dolayısıyla etriyeli kolonların ağır hasar gördüğü depremi, aynı etkiye maruz fretli kolonların sadece hafif hasarla atlatma ihtimali yüksektir. Kolona etkiyen yükün çok aşırı artması durumunda fretli kolonlar da kırılacaktır, ancak kırılma etriyeli kolonlardaki kadar gevrek bir şekilde olmayacak, daha sünek bir şekilde gerçekleşecektir. Şekil 3.5'de fretli iki kolon gösterilmektedir: (a)'daki kolonda sadece kabuk betonu dökülmüştür, (b)'deki kolonda ise ağır hasar oluşmasına

rağmen, kırılma etriyeli kolonlardaki gibi gevrek bir şekilde olmamış ve daha sünek bir davranış göstererek kolon ayakta kalmıştır.




**Şekil 3.5.** Fretli kolonların deprem davranışları (Doğangün, 2014)

Sürekli dairesel fretli kolonlarda etriyelerin açılması gibi bir durumla karşılaşılmaz. Çünkü sargı donatısı spiral olarak kolonun çekirdek alanını sarmaktadır. Çekirdek alanındaki dışa doğru olan basınç, sargı donatısında çekme gerilmesi oluşturmaktadır. Dolayısıyla da sargı donatısı, ancak kopması durumunda görevini terk etmektedir. Bu nedenlerle depremlerde, fretli kolonların, etriyeli kolonlara göre daha iyi bir performans gösterecekleri söylenebilir. Ülkemizde son zamanlara kadar çok nadir olarak kullanılmış olmasına rağmen son yıllarda geçirdiğimiz büyük depremlerden sonra daha fazla fretli kolon tasarımı yapılmaya başlanmıştır (Doğangün, 2014).

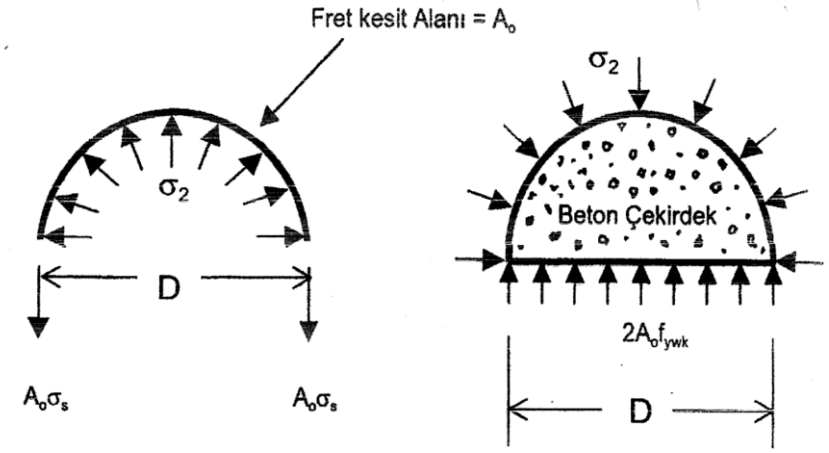
### 3.1.1. Fretli Kolonlarda Sargı Etkisi

Kolonlarda, enine donatının oluşturduğu sargı etkisi dayanım ve sünekliği arttırmaktadır. Eksenel yük altında poisson etkisiyle oluşan yanal deformasyon, sargı donatısı ile kısıtlanmasıyla, beton çekirdeğine uygulanan yanal basınç davranışta ki bu iyileşmeyi sağlanmaktadır. Dairesel fretli kolonlarda poisson etkisi ile oluşan yanal basınç, radyal yönde düzgün yayılı olduğundan, çözüm için "ince cidarlı boru analojisi" kullanılabilir (Ersoy, 1998).

Şekil 3.6'da gösterildiği gibi dairesel fretlerde ki toplam kuvvet $2A_o\sigma_s$'dir. Burada $A_o$, fret kesit alanıdır. Sınır durumda fret donatısı akma konumuna ulaşacağından $\sigma_s=f_{ywk}$ alınabilmektedir. Fret donatısının her iki ucunda oluşan kuvvetlerin toplamı $F_s=2.A_o.f_{ywk}$

olmakta ve bu kuvvetin, beton çekirdeğinde oluşan eşit yayılı basınçla karşılanacağı varsayılmıştır. $2.A_{o.}f_{ywk}$ kuvvetinin etkidiği alan, D.s'dir. Sargı etkisi nedeni ile çekirdek betonunda oluşan yanal basınç $\sigma_2$ ile gösterilirse, bu değer Denklem 3.2'de gösterilen formülden elde edilmektedir.

$$\sigma_2 = \frac{2A_o f_{ywk}}{Ds} \tag{3.2}$$




**Şekil 3.6.** Fret ve beton çekirdeğinin serbest cisim diyagramı(Ersoy, 1997)

Prof.Dr. Richart tarafından yapılan deneysel çalışmalarda, $\sigma_2$ altında beton basınç dayanımının büyük bir ölçüde arttığını gözlemlemiş ve artan beton dayanımı için Denklem 3.3'deki bağıntıyı önermiştir (Richart, 1930).

$$f_{cc} = f_{ck} + k_1\sigma_2 \tag{3.3}$$

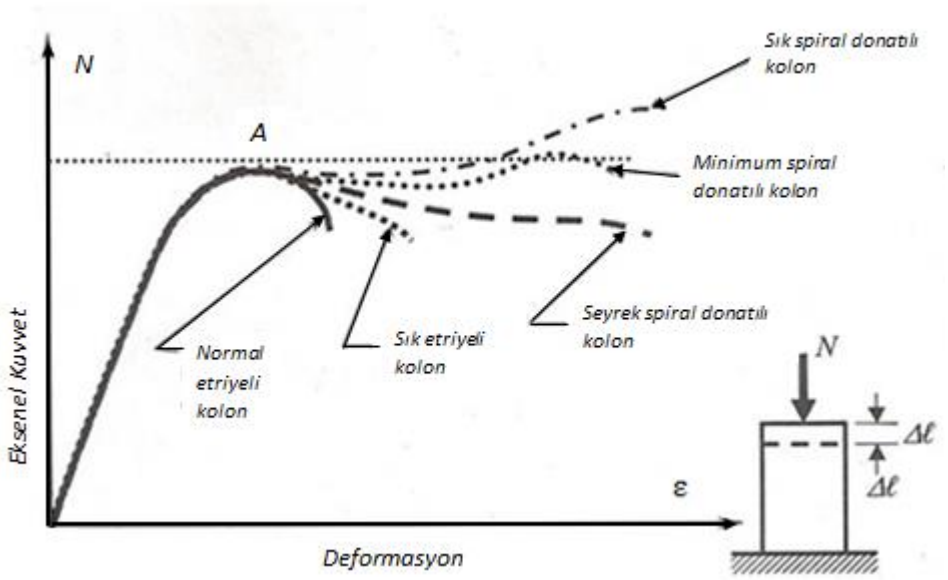
Kolon numunelerin boyutları Richart'ın deney eleman boyutlarına göre çok daha büyük olduğu için, boyut etkisinden dolayı $f_{ck}$ yerine $0.85f_{ck}$ yazmak daha doğru olacağı önerilmektedir (Saatçioğlu, 1992). Richard, $k_1$ katsayısının $\sigma_2$ ile değiştiğini, ancak yaklaşık $\sigma_2 \geq 10$ MPa olduğunda, bu katsayının sabit kaldığını gözlemlemiş ve $k_1$ değerini 4 olarak almıştır. Bu nedenden dolayı sargı nedeni ile dayanım artışı $4\sigma_2$ olarak varsayılmıştır.

Saatçioğlu (1992), geliştirdiği sargılı beton modelinde, gerçek değerleri kullanarak $k_1$'i Denklem 3.4'den elde etmiştir (Saatçioğlu, 1992).

$$k_1 = \frac{9.9}{(\sigma_2)^{0.17}} \quad , \qquad \sigma_{2=}\ \text{kgf/cm}^2 \tag{3.4}$$

Şekil 3.7'de eksenel kuvvet altında test edilen üç fretli kolonun, yük-deformasyon eğrileri gösterilmiştir (Ersoy, 1997). Fretli kolonların yük-deformasyon eğrilerinde iki farklı tepe noktası oluşmaktadır. İlk tepe noktası, artan gerilmeler altında kolonun kabuk

betonunda meydana gelen ezilme sonucu oluşmakta ve bu aşamadaki birim deformasyon değeri yaklaşık 0.002 olarak kabul edilmektedir.



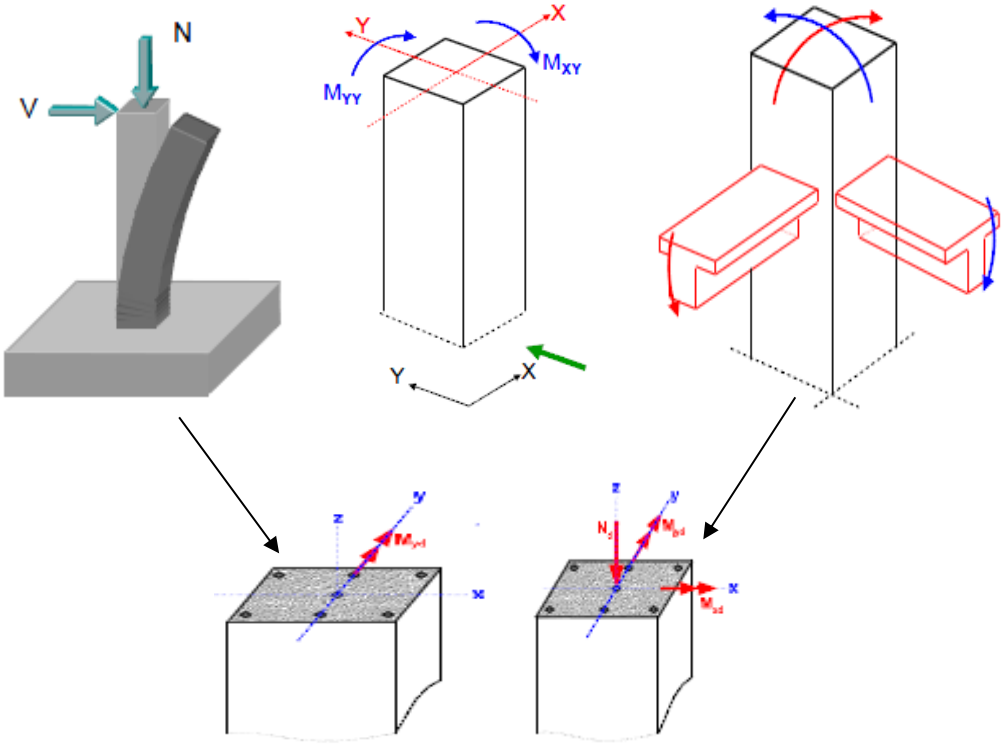

**Şekil 3.7.** Eksenel yük altında fretli kolon davranışı (Doğangün, 2014)

Birinci tepe noktasına kadar etriyeli ve fretli kolonların davranışları arasında hiçbir fark yoktur ve kesit ve donatı alanları aynı olduğu için taşıdıkları yük değerleri de aynıdır. Bu noktadan sonra etriyeli kolonlarda çelik ve beton sınır dayanımlarına ulaştığı için artan deformasyonlar altında taşıdıkları yük miktarı düşmekte ve kolon kırılmaya başlamaktadır. Fretli kolonlarda ise bu noktadan sonra kabuk betonunda meydana gelen ezilmeden dolayı kabuk betonu yitirilmekte ve sargı donatısı henüz etkisini gösteremediğinden kolonun kapasitesinde bir miktar kayıp oluşmaktadır. Ancak, çekirdek betonunda deformasyonun artması sonucu, sargı donatısı devreye girmekte ve sargı etkisinden dolayı kazanılan yanal basınç, kolonun çekirdek betonun dayanımını artırarak artan deformasyonlar altında yük taşımaya devam etmesini sağlamaktadır. Fretli kolonun kırılması birinci tepe noktasına oranla çok daha büyük deformasyonlar altında oluşan ikinci bir tepe noktasında meydana gelmektedir.

Birinci tepe noktasından sonra meydana gelen yük kaybı ve ikinci tepe noktasının konumu, kolon kesitinde bulunan fret donatısının oranına bağlıdır. İdeal bir sünek davranış için, artan deformasyonlar altında kapasitede önemli bir azalma olmaması gerekir. Bu yüzden, minimum fret hacimsel oranının değeri birinci ve ikinci tepe noktalarını aynı düzeyde olması göz önüne alınarak hesaplanmaktadır. Brüt beton alanının çekirdek alanına oranı ($A_c/A_{ck}$) çok küçük olduğu kolonlarda, kabuğun ezilmesi nedeniyle oluşan kapasite ki düşme çok belirgin olmamaktadır (Ersoy vd. 1997).

### 3.2. Kolonların Moment ve Eksenel Yük Altında Davranışı

Yüklerin kesitin bir simetri ekseni üzerinde etki etmesi durumunda tek eksenli eğilme, simetri eksenlerinin arasında bir yerden tesir etmesi durumunda çift eksenli eğilme söz konusu olur. Normal kuvvetin etkisi büyük, momentin etkisi küçük olduğu zaman süneklik azalmakta ve davranış gevrekleşmekte, bunun tam tersi durumda, sünek davranış elde edilmektedir. Şekil 3.8'de kolonlarda oluşan eğilme durumları gösterilmiştir.




**Şekil 3.8.** Kolonlarda tek ve çift eksenli eğilme durumları (Topçu, 2015)

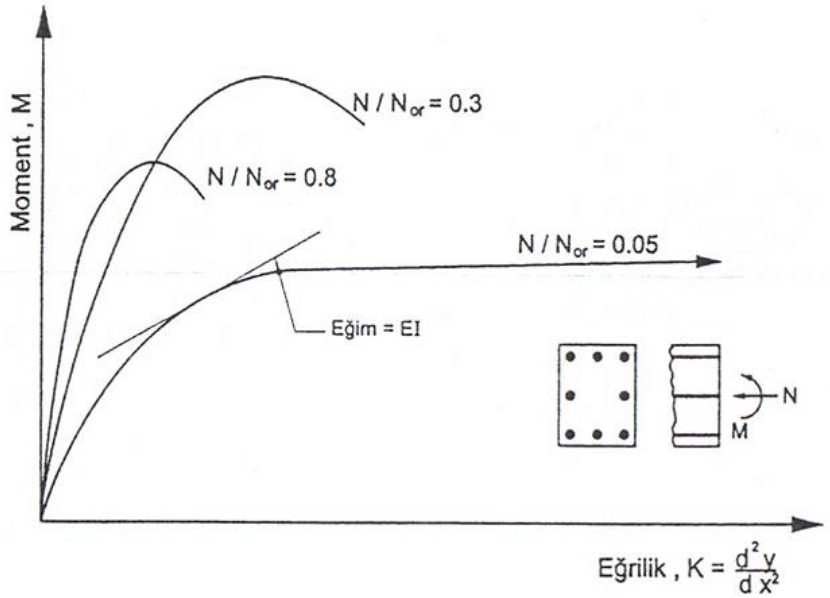
Eğilme ve eksenel yük altındaki bir kesitin davranışı, en sağlıklı biçimde, gerçek malzeme davranışını temel alarak hesaplanmış veya deneysel verilerden elde edilmiş moment-eğrilik ilişkilerinden izlenebilir (Canbay, 2008).

Birim dönem açısı olarak tanımlanan eğrilik, iki kesit arasındaki birim dönme açısı farkından veya doğrudan kesitteki birim deformasyondan yararlanarak hesaplanabilir (Denklem 3.5).

$$Eğrilik = \frac{d\phi}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} = K \quad \text{veya} \quad \kappa = \frac{\varepsilon_x}{y} = \frac{\varepsilon_{ci}}{c} \tag{3.5}$$

Kolonlar önemli boyutta eksenel yükü olan birer kiriştir. Eksenel yük düzeyi kolonun deprem davranışı üzerinde çok etkilidir. Şekil 3.9 eksenel yük düzeyleri (kolonun eksenel yükü / kolonun eksenel yük taşıma kapasitesi) farklı 3 kolonun moment-eğrilik ilişkilerini

göstermektedir. Eksenel yük düzeyi arttıkça kırılmaya karşılık gelen eğriliğin yani sünekliğin ikinci mertebe momentlerinin etkilerinden dolayı azaldığı açıkça görülmektedir.




**Şekil 3.9.** Eksenel yükün moment-eğrilik üzerine etkisi (Anonim, 2015a)

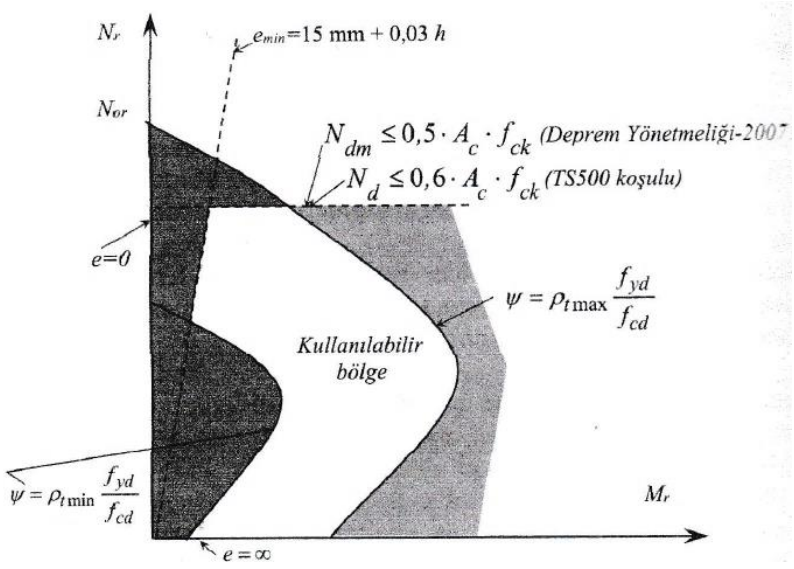
Moment-eğrilik eğrisinin plastik bölgelerinin altında kalan alan, kesitin enerji tüketebilme kapasitesini göstermektedir. Eğrilik süneklik katsayısı, kırılma anındaki eğriliğin veya dayanımda %15'lik kayba karşılık gelen eğriliğin, çekme donatısında akma meydana geldiği andaki eğriliğe oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlamaya göre, $N/N_{or}=0.05$ olan eğri sünektir ve plastik bölgede tükettiği enerji miktarı diğer eksenel yük seviyeleri farklı kolonlara göre fazladır. Diğer eğriler gevrek bir davranış sergilediği için süneklik katsayısı tanımı yapmak olası değildir. Deprem gibi ani olarak ortaya çıkan büyük enerjilerin tüketilebilmesi ve yapının ayakta kalabilmesi, ancak yapı elemanlarının plastik bölgede yeterli enerji tüketebilmeleri ile mümkündür. Bu yüzden, kesitin kapasitesinde önemli bir kayıp olamadan büyük deformasyonlara erişebilmesi, yani sünek davranış sergilemesi, deprem güvenliği açısından son derece önemlidir.

Kolonların sadece eksenel yüke göre tasarımına izin verilmez. Tasarım aşamasında kolona etkiyen moment eksantriste değeri kullanılarak elde edilen moment değerinden az olamaz (Denklem 3.6).

$$M_d = N_d \times e_{\min} \tag{3.6}$$

Kolonların davranışları için karşılıklı etkileşim diyagramı olarak adlandırılan moment-eksenel kuvvet diyagramları yol gösterici olmaktadır. Söz konusu diyagramlar belirli donatı düzenleri için kolonların taşıyabileceği moment ve eksenel kuvvet çifti için

çizilmektedir. Karşılıklı etkileşim diyagramı oluşturulurken taşıma gücü bağıntılarından yararlanıldığından bu eğri dayanım zarfı olarak da isimlendirilebilir. Bu yüzden, moment ve eksenel kuvvete göre belirlenen kesişim noktası bu eğri içinde kalıyorsa taşıma gücü açısından bir sorun yoktur demektir. Standart ve yönetmeliklerde söz konusu eğrilerin, kullanılabilecek alanlarıyla ilgili bazı kısıtlamalar getirilmiştir (Şekil 3.10).

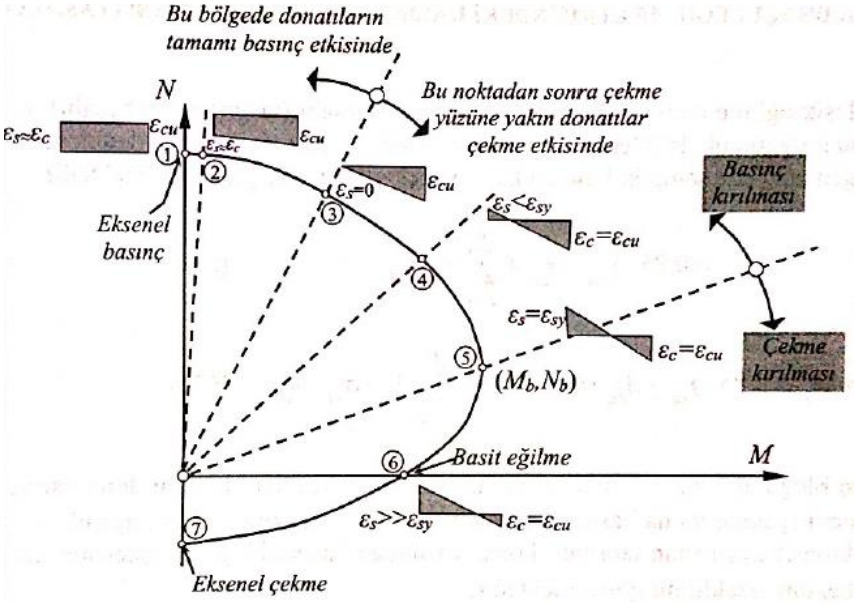



**Şekil 3.10.** Karşılıklı etki diyagramının yönetmeliklerde yasaklanan kısımları (Doğangün, 2014)

Yapılan deneysel çalışmalar ışığında, basit eğilme veya eğilme ile birlikte eksenel basınç taşıyan betonarme kesitlerin kırılma konumuna, başka bir deyişle moment taşıma kapasitelerine, en dış lifteki betonun ezilmesi ile ulaştıklarını göstermiştir (Canbay 2008). En dış basınç lifindeki beton, ezilme konumuna ulaşıldığı anda ($\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$), çekme donatısının akıp akmadığı, davranış açısından son derece önemlidir. Eğer çekme donatısı kırılma konumuna ulaşmadan akmışsa ($\varepsilon_s > \varepsilon_{sy}$ ve $\varepsilon_{c=} \varepsilon_{cu}$), kırılmaya çelik hâkimdir ve kırılma sünek bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu kırılma türü *Çekme Kırılması* olarak adlandırılır. Kırılma konumunda ($\varepsilon_c=\varepsilon_{cu}$), çekme donatısı henüz akma birim uzamasına ulaşmamışsa ($\varepsilon_s < \varepsilon_{sy}$), kırılmaya betonun özellikleri hâkim olur ve kırılma gevrek bir şekilde olmaktadır. Bu kırılma türü *Basınç Kırılması* olarak adlandırılır. Doğal olarak, çekme ve basınç kırılmaları arasında bir sınır durum olması gerekir. *Dengeli Kırılma* olarak adlandırılın bu sınır durumda, en dış lifteki betonun ezilmesi ($\varepsilon_c = \varepsilon_{cu}$) ile çekme donatısının akması ($\varepsilon_s = \varepsilon_{sy}$) aynı anda olmaktadır. Dengeli kırılma, donatı akmaya henüz başladığı anda oluştuğundan, gevrek bir kırılma türüdür.

Bileşik eğilme etkisi altındaki kolon kırılma konumuna basınç ve çekme kırılması biçiminde iki türde ulaşmaktadır. Kırılmanın türünü belirleyen en etken parametre ise

eksenel yük seviyesidir. Eksenel yük seviyesi dengeli durumdaki eksenel yük seviyesinden (yaklaşık olarak $N_b = 0.42 f_{ck} A_c$ ) düşükse, kırılmaya donatı hâkimiyetinde sünek bir biçimde meydana gelmektedir. İlk önce eğilme donatısı akmakta, daha sonra basınç bölgesindeki en dış lifteki beton ezilerek kırılma konumuna ulaşmaktadır. Eğer eksenel yük seviyesi dengeli durumdaki eksenel yük seviyesinden fazla ise, kırılma çekme donatısı akmadan basınç bölgesindeki betonun ezilmesiyle meydana gelir. Gevrek bir biçimde gerçekleşen bu davranışta, enerji tüketme yeteneği de son derece sınırlıdır. Bu kolonun davranışı ancak sık yerleştirilen enine donatı ile boyuna donatının burkulması bir miktar geciktirilerek iyileştirilebilir. Şekil 3.11'de bileşik eğilme altında kolonlarda oluşabilecek kırılmalar gösterilmiştir. Eksenel basınç kırılmasından eksenel çekme kırılmasına kadar kolonda meydana gelebilecek 7 farklı dış merkezliğe ait kolonda oluşan gerilme durumu karşılıklı etki diyagramı üzerinde gösterilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi dengeli dış merkezlikten daha küçük kolonlarda basınç kırılması, daha büyük dış merkezliğe sahip kolonlarda ise çekme kırılması meydana gelmektedir. Diğer taraftan maksimum moment dengeli kırılmanın meydana geldiği kesitte oluşmaktadır.



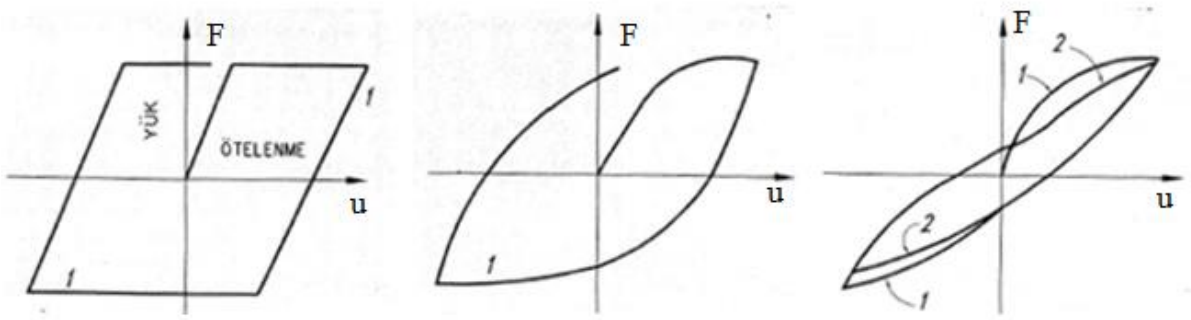

**Şekil 3.11.** Kolonlarda meydana gelebilecek kırılma çeşitleri (Doğangün, 2014)

### 3.3. Kolonların Tersinir Yükler Altında Davranışı

Deprem gibi yapıya etkiyen yatay yükler yapıda tersinir etkiler oluşturmaktadır. Bu durumda yapının taşıyıcı elemanlarında, ilk aşamada çekme gerilmeleri ile zorlanan bölümler bir sonraki aşamada basınç gerilmelerine maruz kalmaktadır. Çekme yükleri altında önce uzayan donatı, yükün yön değiştirmesi sonucunda basınç yükleri altında

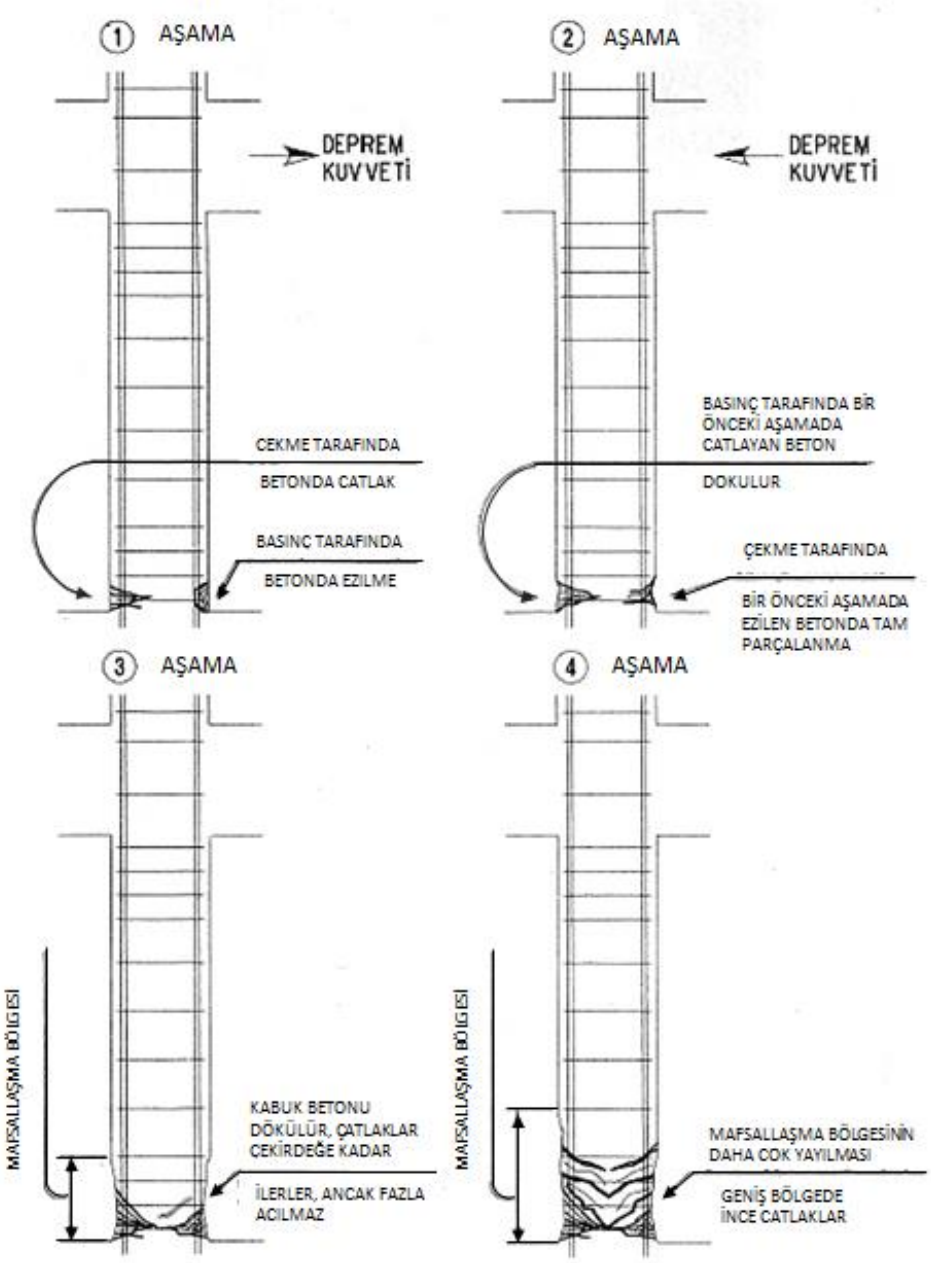
burkulmakta veya ilk başta çekme kuvveti altında çatlayan beton daha sonra basınç etkisi altında ezilebilmektedir. Bu yüzden kolon donatılırken iki uçta donatılar simetrik olacak şekilde yerleştirilerek yükün yön değiştirmesi durumu dikkate alınmaktadır.

Şekil 3.12'de ideal elasto-plastik davranış modeli ile çeşitli yapı elemanlarının histerisis eğrileri görülmektedir. İdeal elasto-plastik davranış modeli yapı elemanlarının doğrusal olmayan davranışın iki doğrulu olarak basit idealleştirilmesi olup, ikinci doğru yaklaşık olarak yatay alınmaktır. Bu modelde yükleme ve boşaltma eğrileri başlangıç doğrusuna paralel doğru parçalarından meydana gelmekte ve yatay olan doğru plastik yer değiştirmeyi göstermektedir. Kolon ve kiriş gibi yapı elemanlarında oluşan çatlaklar yükün yönü değiştiği zaman tekrar kapanıncaya kadar sınırlı bir enerji tüketilmektedir. En iyi enerji tüketim şeklinin Şekil 3.12(a)'da gösterilen ideal elasto-plastik davranışı olduğu kabulüne göre, yapı elemanları içinde enerji tüketiminin en fazla kirişte olacağı ideal elasto-plastik davranışa en yakın olmasından rahatlıkla anlaşılmaktadır. Diğer yapı elemanlarının enerji tüketen sünek eleman olarak tasarlanmaları zordur. Kolonda mafsallaşma yüksek süneklik oranlı fakat enerji tüketimi az olan bir davranıştır.




**a)** İdeal elasto- plastik davranış **b)** Kirişte plastik mafsal **c)** Kolonda plastik mafsal
**Şekil 3.12.** Değişik yapı elemanlarının histerisis eğrileri (Bayülke, 2001)

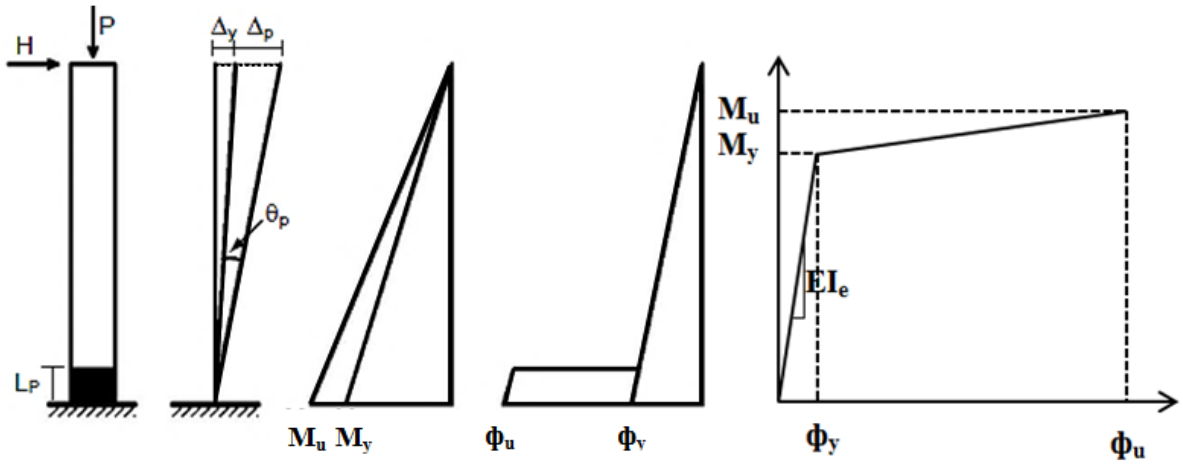
Kolonlardaki sınırlı enerji tüketiminin nedeni bu elemanların eksenel yük taşımalarından kaynaklanmaktadır. Eksenel yükü hiç olmayan kirişte yüksek enerji tüketimi elde edilirken, eksenel yükü olan diğer elemanlarda sünek ve enerji tüketen davranış kısıtlıdır. Kolonlarda tersinir yükler altında mafsallaşmanın gelişimi Şekil 3.13'de gösterilmiştir (Bayülke, 2001).




**Şekil 3.13.** Kolonlarda mafsallaşmanın gelişimi (Bayülke, 2001)

Yatay yükten meydana gelen eğilme momenti kolon alt ve üst uçlarını daha fazla zorlamaktadır. Kolonlarda basınç gerilmeleri etkin olduğu için, betonun yanal şekil değiştirmesinin sınırlandırılması ile hem basınç dayanımında hem de süneklikte önemli bir artış sağlamak mümkündür. Bu amaçla bu bölgelerde sargı donatısı sıklaştırması yapılmaktadır. Bu bölgelerde sık aralıklarla yerleştirilmiş etriyeler, boyuna donatının burkulmasını, çatlakların genişlemesini ve betonun parçalanarak dökülmesini engellemektedir. Ayrıca Şekil 3.14'de moment-eğrilik ilişkisi verilmiş olan ve H yüküne maruz kalan konsol kolonda, moment- eğriliğin kolon boyunca değişimi görülmektedir. Bu konsol kolona uygulanan H yatay yüküne ve bu yüke bağlı olarak moment değerlerinin

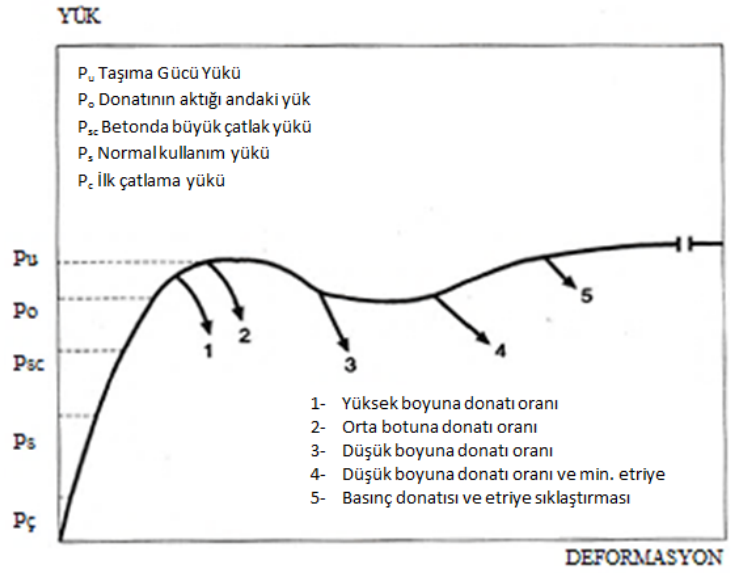
artması ile momentin daha büyük olduğu mesnet bölgelerinde ki çatlaklar, boyu $L_p$ (plastik mafsal boyu) kabul edilen bir bölgede yoğunlaşmaktadır. Bu bölgelerde çatlaklara bağlı olarak eğrilik belirgin biçimde artmakta ve dolayısıyla plastik dönmelerin belirli bir bölgede yoğunlaşması plastik mafsal kabulü olarak adlandırılmaktadır. Aşırı yatay yükten plastik mafsalın oluştuğu bu mesnete yakın bölgelerde, belirli bir normal kuvvet altında kesitte dönme meydana gelirken erişilen eğilme momenti değerinde önemli bir artış meydana gelmeden, sünek bir kesit davranışın oluşması amaçlanmaktadır.




**Şekil 3.14.** Konsol kolon için yığılı plastik mafsal modeli ve moment-eğrilik grafiğinin genel yapısı (Anonim, 2015b)

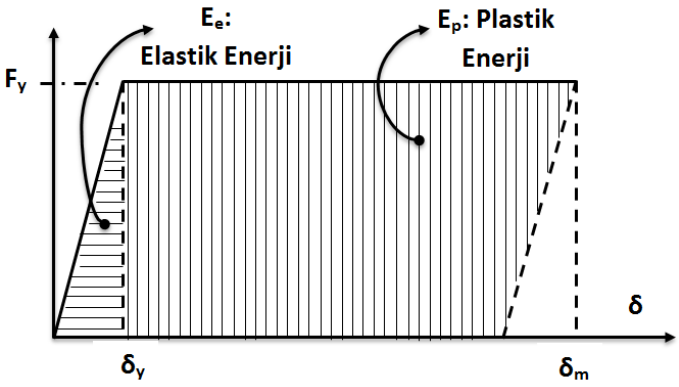
### 3.4. Betonarme Yapı Elemanlarının Yük-Deformasyon Özellikleri

Betonarme yapı elemanların sahip oldukları boyuna donatı ve enine donatı oranı, elemana etkiyen eksenel kuvvet gibi değişkenlere bağlı olarak yük - deformasyon özelliklerini etkilemektedir. Bu değişkenler kullanılarak istenilen özellikte yük – deformasyon eğrisi elde edilebilir. Betonarme bir eleman belli bir yük düzeyine kadar doğrusal elastik davranır. Daha sonra sahip olduğu boyuna donatı, enine donatı ve eksenel yük düzeyine göre kalıcı deformasyonlar yaparak, taşıdığı yük seviyesinde önemli bir kayıp olmaksızın kalıcı deformasyonunu artırarak yük taşıma fonksiyonunu sürdürebilir (Şekil 3.15).




**Şekil 3.15.** Çeşitli özelliklerde donatılmış fretli kolonların yük-deformasyon eğrileri (Bayülke, 2001)

Yük-deformasyon eğrisinin altında kalan alan yapılan işe eşittir. Bu alan betonarme elemanın enerji tüketme gücünü gösterir ve elastik ve plastik enerji tüketme olarak ikiye ayrılır (Şekil 3.16). Betonarme elemanların elastik enerji tüketme gücü azdır. Ancak plastik enerji tüketme gücünün gerekli donatı ayrıntılarının uygulanması ile büyük miktarlara çıkarılabileceği deneysel olarak kanıtlanmıştır. Süneklik ilerleyen bölümlerde detaylı olarak açıklanmıştır.

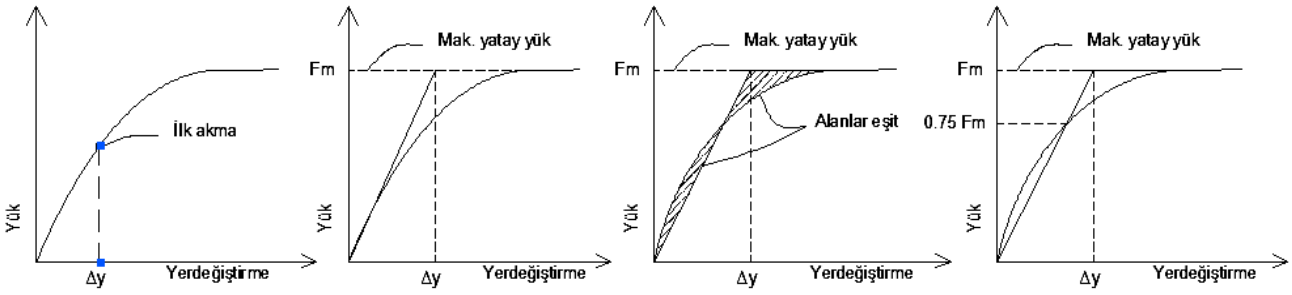



**Şekil 3.16.** Sünek bir elemanın yük-deformasyon ilişkisi: elastik ve plastik enerji tanımları

### 3.4.1.Akma Deplasmanının Belirlenmesi

Süneklik oranı hesaplanırken yük-deplasman eğrisinde akma noktası açık olarak görülemediği veya tam anlamıyla saptanamadığı için, akma deplasmanının (eğrilik, yer değiştirmesinin, dönmesinin) belirlenmesi belirsizliğe neden olmaktadır. Bu belirsizlik, malzemelerin nonlineer davranışından dolayı, betonarme kesitte farklı derinlikte bulunan boyuna donatıların farklı moment seviyelerinde akmaya ulaşmasından dolayı, değişik yük

seviyelerinde bir yapının farklı bölümlerinde oluşan plastik mafsallardan dolayı meydana gelmektedir. Bu yüzden, araştırmacılar tarafından akma deformasyonunun tahmini için çeşitli alternatif tanımlar kullanılmıştır. Bunlardan bazıları; ilk akma noktası deformasyonu (Şekil 3.17(a)), başlangıç noktasına çizilen teğet ile nominal dayanımın kesişimi (Şekil 3.17(b)), gerçek eğriyle aynı enerji tüketiminin gerçekleştiği ideal elasto-plastik modeldeki akma yer değiştirmesi (Şekil 3.17(c)) ve nominal dayanımın %75'ine çizilen sekant ile nominal dayanımın kesiştiği nokta olarak verilebilir (Priestley, 2000). Park (1988)'e göre, betonarme yapılar için en gerçekçi tanım, Şekil 3.17(d)'de verilen $0{,}75.F_y$ noktasına çizilen sekantın nominal dayanımla kesişmesi ile bulunan değerdir. Burada, elastik davranışın sonlarına doğru, çatlaklardan dolayı oluşan rijitlikteki azalma dikkate aldığı için ikincil bir rijitliğin tanımı yapılmaktadır.



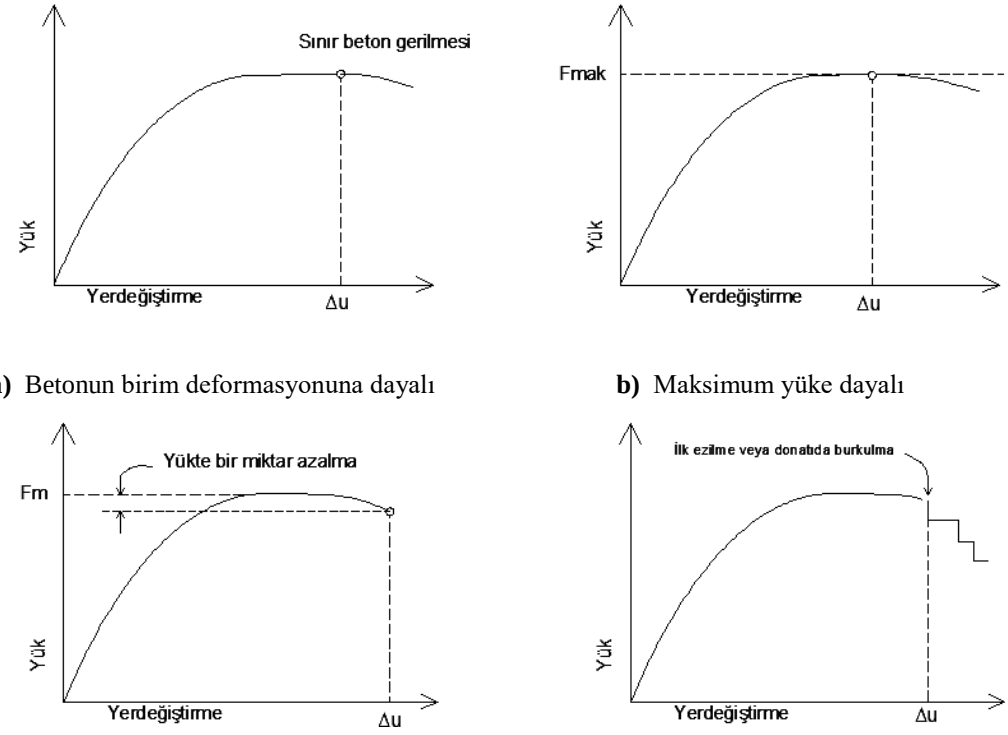

**a)** İlk akmaya göre **b)** Eşdeğer elasto- plastik akmaya göre **c)** Eşdeğer elasto-plastik enerji tüketimine göre **d)** Azaltılmış rijitliği göre elasto-plastik akma

**Şekil 3.17.** Akma deplasmanı için alternatif tanımlamalar

Bu araştırmada, fretli dairesel betonarme kolonların akma deplasmanı Şekil 3.17 (b)'de gösterilen eşdeğer elasto-plastik akma tanımı temel alınarak hesaplanmıştır.

### 3.4.2.Göçme Deplasmanın Belirlenmesi

Maksimum göçme deplasmanı araştırmacılar tarafından farklı varsayımlar kullanılarak tahmin edilmektedir. Maksimum göçme deplasmanı için kullanılan varsayımlardan birkaç tanesi Şekil 3.18'de gösterilmiştir.




**a)** Betonun birim deformasyonuna dayalı

**b)** Maksimum yüke dayalı

**c)** Maksimum yükten sonraki kayda değer yük taşıma kapasitesine dayalı

**b)** Donatının kopmasını veya burkulmasını dikkate alan

**Şekil 3.18.** Göçme deplasmanı için alternatif tanımlamalar

Şekil 3.18(a)'da betonun nihai bir basınç gerilmesine ulaşmasına karşılık gelen deplasman dikkate alınmaktadır. Şekil 3.18(b)'de maksimum yüke karşılık gelen deplasman dikate alınmaktadır. Şekil 3.18(c)'de yük taşıma kapasitesinde bir miktar düşüş yaşandıktan sonraki, deplasman (yükte ki azalma miktarı %15 veya %20 ) dikkate alınmaktadır. Şekil 3.18(d)'de betonda parçalanma veya boyuna donatıda burkulma oluştuğundaki deplasman dikkate alınmaktadır.

Maksimum göçme deplasmanı için en uygun tanımı düşünecek olursak; yapıların veya taşıyıcı elemanların yük-deplasman eğrisi incelendiğinde, çoğu dayanımda önemli bir azalma olmadan maksimum yükten sonraki seviyelerde (maksimum yük taşıma kapasitelerinden sonraki davranışları) belli bir miktar daha deformasyon kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Bunun için yük-deplasman eğrisinde maksimum yükten sonra bir miktar düşmeyi kabul etmek uygun olacaktır. Ayrıca, sargılı betonarme elemanların maksimum birim deformasyonu, sargısız bir betonun basınç bölgesindeki en uç lifde meydana gelen birim deformasyona karşılık gelmediği de aşikârdır. Bu yüzden, maksimum göçme deplasmanı için en gerçekçi tanım Şekil 3.18 (c) ve Şekil 3.18 (d)'de gösterilen tanımlamalardan hangisi ilk önce meydana gelirse, ilk oluşan kriterin değeri göçme deplasmanı olarak kabul edilmelidir (Park, 1988). Yapılan bu tez çalışmasında, Şekil

3.18(c)'de bahsedilen yöntem kullanılarak kolonların göçme deplasmanları hesaplanmıştır. Dayanımda ki kayıp miktarı da %15 olarak kabul edilmiştir.

### 3.5. Süneklik

Malzemenin, yapıyı oluşturan eleman kesitlerinin, ya da yapının kesit tesirlerinden dolayı oluşan enerjiyi, dayanımda önemli bir miktarda kayıp olmaksızın plastik deformasyonlarla şekil değiştirerek tüketme yeteneğine "süneklik" denir. Süneklik: malzeme sünekliği, kesit sünekliği veya eleman sünekliği olarak değişik seviyelerde tanımlanabilir.

#### 3.5.1. Malzeme Sünekliği

Malzeme açısından süneklik ifadesi şekil değiştirme bakımından ifade edilmektedir. Betonarmeyi oluşturan malzemelerden beton tek başına gevrek bir malzeme, çelik ise çekme etkisi altında sünek bir malzemedir. Bu iki malzemeyi bir araya getirerek oluşturulan betonarmenin sünek bir davranış sergilemesi için donatı düzenlemesi çok önemlidir. Betonarme çeliğin yük-deformasyon eğrisi Şekil 3.19'da gösterilmiştir ve Denklem 3.7'de gösterildiği gibi birim deformasyon sünekliği hesaplanmaktadır.




**Şekil 3.19.** Betonarme çeliğin birim deformasyon sünekliği

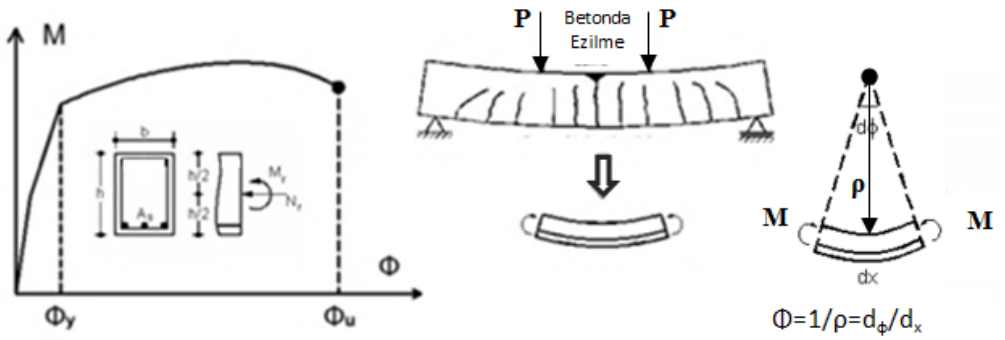
$$\mu_\varepsilon = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} > 1.0 \qquad (3.7)$$

#### 3.5.2. Kesit Sünekliği

Betonarme bir kiriş, kolon veya perde kesitinin sünekliği eğrilik cinsinden ifade edilmektedir. Bu durum için hesaplanan süneklik katsayısı da eğrilik süneklik katsayısı olarak ifade edilmektedir.

Betonarme bir kesite etkiyen kesit tesirlerine göre elemanda farklı parametreler süneklik için ön plana çıkmaktadır. Örneğin, betonarme bir kirişte süneklik için donatı oranı sınırlaması yapılırken, bileşik eğilme etkisine sahip bir elemanda donatı oranının yanında

eksenel yük seviyesi ve dış merkezlik de süneklik açısından önemli olmaktadır. Basit eğilme etkisindeki betonarme bir kirişin moment-eğrilik ilişkisi Şekil 3.20'de gösterilmiştir ve Denklem 3.8'de gösterildiği gibi kesit sünekliği hesaplanmaktadır.



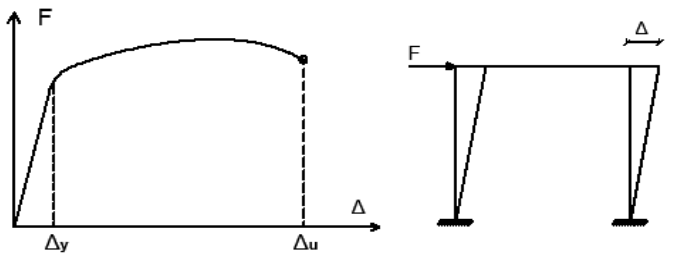

**Şekil 3.20.** Basit eğilme etkisindeki kiriş kesitinde moment-eğrilik bağıntısı

$$\mu_{\Phi} = \frac{\Phi_u}{\Phi_y} > 1.0 \qquad (3.8)$$

### 3.5.3. Eleman veya Sistem Sünekliği

Yapının bütününün veya bir elamanın sünekliği ötelenme (yer değiştirme) cinsinden ifade edilmektedir. Bu durumda tanımlanan süneklik oranıda deplasman süneklik katsayısı olarak adlandırılmaktadır.

Yapı veya yapıyı oluşturan elemanların sünek davranış sergilemeleri için deprem yönetmeliğinde boyut ve donatı düzenlemeleri olarak bazı koşullar getirilmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgeleri civarında etriye sıklaştırması yapılması, kolonların kirişlerden daha güçlü tasarlanmaları, kapasite tasarımı ile kesme kapasitesinin eğilme kapasitesinden daha yüksek tutulması donatılarda yeterli bindirme boylarının bırakılması vb. örnek olarak gösterilebilir. Yatay yük etkisindeki bir taşıyıcı sistemin yer değiştirme sünekliği Şekil 3.21'de gösterilmiştir ve Denklem 3.9'da gösterildiği gibi yer değiştirme sünekliği hesaplanmaktadır.




**Şekil 3.21.** Yer değiştirme sünekliği

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} > 1.0 \quad (3.9)$$

### 3.6. Kolonlarda Güç Tüketimi ve Kesme Güvenliği

Betonarme kolonlarda güç tüketimi kolonun en fazla zorlanan kesitlerinde oluşan plastik mafsallar sayesinde sağlanmaktadır. Bu bölgelerde yapılan etriye sıklaştırmaları sayesinde betonun yanal şekil değiştirmesi sınırlandırılarak hem basınç dayanımında hem de süneklikte önemli bir artış sağlanır. Böylece deprem zorlamaları altında plastik mafsalların oluşacağı bu bölgelerde belirli bir normal kuvvet değeri altında kesitte dönme meydana gelirken erişilen moment değerinde önemli bir değişiklik meydana gelmeden sünek kesit davranışın oluşması sağlanır.

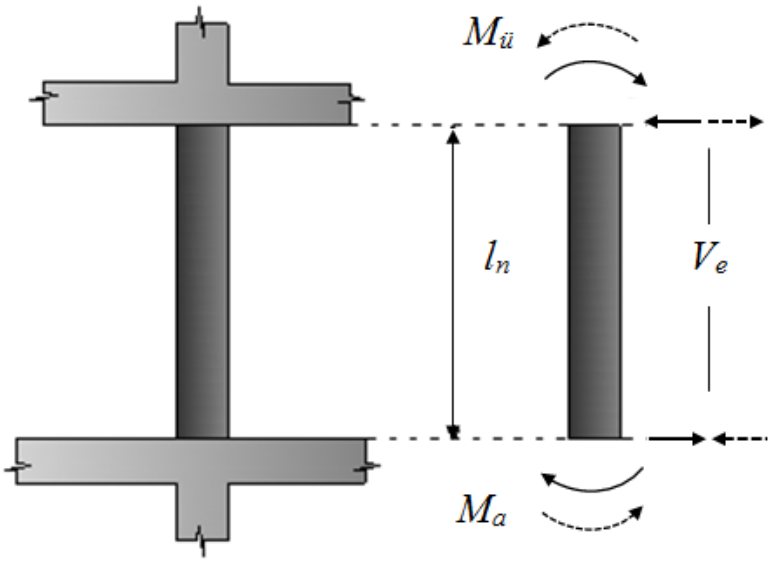
Kesme kuvveti taşıma gücünün aşılması ile ortaya çıkan davranış biçimi sünek bir davranış biçimi değildir. Bu yüzden, pekleşmeli moment dikkate alınarak hesaplanan kesme kuvveti sayesinde kolonun kesme kapasitesi artırılarak hasara eğilme davranışının hâkim olması istenir. Bu nedenle, tasarım deprem kuvvetinden daha büyük bir deprem kuvveti etkimesi durumunda ortaya çıkacak güç tükenmesinin sünek olabilmesi için elemanın kesme kuvveti dayanımının eğilme dayanımından daha fazla tutulması gerekir. Buna "Kapasite Tasarımı" denilmektedir. Kesme donatısı hesaplanırken, TDY-2007 tasarım kesme kuvvetine deprem kuvveti hâkimse, betonun katkısının sıfır olarak kabul edilmesini öngörmektedir. Bunun nedeni olarak, tersinir yüklemelerden dolayı aynı kesitte hem basınç hem de çekme gerilmeleri yüzünden betonda meydana gelecek ezilme veya parçalanmalar nedeniyle betonun ufalanması gösterilebilir.

Kolonlarda sünek bir davranış elde edebilmek için her ne kadar tasarım koşulları getirilse de, kolonun sahip olduğu eksenel yükten dolayı kolonlardaki güç tüketimi, kirişlere nazaran çok küçük seviyelerde ve sınırlı kalmaktadır. Bu yüzden deprem sırasında yapıya aktarılan enerjinin kolonlar yerine kiriş uçlarında tüketilmesi ile daha büyük miktarlarda enerji absorbe edilebileceği için, TDY-2007'de "kolonların kirişlerden güçlü olması koşulu" olarak adlandırılan ve Denklem 3.10 ile gösterilen bir koşul getirilmiştir.

$$(M_{ra} + M_{rü}) \geq 1.2(M_{ri} + M_{rj}) \quad (3.10)$$

Tasarımı yapılacak betonarme kolon için en elverişsiz yüklemeler ve yük birleşimleri dikkate alınarak gerçekleştirilen yapısal çözümlemeler sonucunda, kesme donatısı belirlenecek kolonda hesaplanan en büyük kesme kuvveti tasarım kesme kuvveti ($V_d$) olarak adlandırılır. Bu değer deprem bölgelerine inşa edilecek yapılardaki süneklik düzeyi yüksek

kolonlar için, taşıma güçlerine bağlı olarak belirlenen $V_e$ ile karşılaştırılarak kullanılmakta, diğer kolonlarda ise doğrudan kullanılmaktadır.




**Şekil 3.22.** Süneklik düzeyi yüksek kolonlar için kesme kuvveti

Süneklik düzeyi yüksek kolonların enine donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti olarak tanımlanan $V_e$, Denklem 3.11'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır (TDY-2007).

$$V_e = ( M_a + M_ü ) / \ell_n \qquad (3.11)$$

Denklem 3.10'un sağlandığı düğüm noktasına birleşen kirişlerin uçlarındaki *pekleşmeli taşıma gücü* momentlerinin toplamı olan $\sum M_p$ momenti Denklem 3.12'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\sum M_p = M_{pi} + M_{pj} \qquad (3.12)$$

Daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda,

$M_{pi} \cong 1.4\, M_{ri} \cong 1.4 A_{si} f_{yd} (d\text{-}d')$ ve $M_{pj} \cong 1.4\, M_{rj} = 1.4 A_{sj} f_{yd} (d\text{-}d')$ olarak alınabilir.

TDY-2007 yönetmeliğinde, kiriş kapasite momentleri toplamı $\sum M_p$ momentinin düğüm noktasında ki kolonlara dağıtılmasında, yapısal çözümlemede elde edilen hesap momentleri oranının esas alınması öngörülmektedir.

Hesaplanan kesme kuvveti $V_e$'nin, yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti $V_d$'den daha küçük olmaması ve ayrıca aşağıda Denklem (3.13) ve (3.14) ile verilen koşulları sağlaması öngörülmektedir.

$$V_e \le V_r \qquad (3.13)$$

$$V_e \le 0.22\, A_w\, f_{cd} \qquad (3.14)$$

Kolon enine donatısının $V_e$ kesme kuvvetine göre hesabında, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c$, TS 500-2000'e göre belirlenmektedir. Ancak, kolonların sarılma bölgelerindeki enine donatısı hesabında, deprem yüklerinden oluşan kesme kuvvetinin depremli durumdaki toplam kesme kuvvetinin yarısından daha büyük olması ($V_E \geq 0.5\ V_{d(G+Q+E)}$) ve aynı zamanda $N_d \leq 0.05\ A_c\ f_{ck}$ olması durumunda, betonun kesme dayanımına katkısı $V_c = 0$ alınmaktadır.

$$V_c = 0.80\ V_{cr} \tag{3.15}$$

$$V_{cr} = 0.65 \times f_{ctd} \times b_w \times d \times \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c}\right), \text{(TS 500-2000)} \tag{3.16}$$

Burada $N_d$, TS 500-2000'e göre yük katsayıları kullanılarak hesaplanan en büyük tasarım eksenel kuvvetidir ve $N_d$ basınçta da çekmede de pozitif alınmaktadır.

Betonarme bir kolonun kesme dayanımı ($V_r$), beton katkısı ($V_c$) ve kesme donatısının katkısından ($V_w$) oluştuğu kabul edilir. Dolayısıyla kesme kapasitesi Denklem 3.17 ile ifade edilebilir.

$$V_d \leq V_e \leq V_r$$

$$V_r \geq V_e$$

$$V_r = V_w + V_c \geq V_e \tag{3.17}$$

Denklem 3.17'de verilen bağıntıda, $V_w = (A_{sw} / s) .f_{ywd}.d$ ve $V_c = 0.80 V_{cr}$ yerine yazılırsa:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_e - 0.8 V_{cr}}{f_{ywd}.d} \tag{3.18}$$

denklemi elde edilir. Denklem 3.18'e göre fret adım aralığı belirlenen kolonun TDY-2007'de verilen, sarılma bölgelerindeki minimum hacimsel donatı oranını da sağlaması gerekmektedir. Fretli kolonlarda minimum hacimsel donatı oranı, $N_d \geq 0.20\ A_c\ f_{ck}$ olması durumunda Denklem 3.19'da verilen koşullardan elverişsiz olanı sağlayacak şekilde hesaplanmaktadır. $N_d \leq 0.20\ A_c\ f_{ck}$ olması durumda, Denklem 3.19'da verilen bağıntının en az 2/3'ü sarılma bölgelerinde minimum enine donatı olarak kullanılmaktadır.

$$\rho_s = \frac{4 \times A_0}{D \times s} \quad \Rightarrow \quad \rho_s \geq \begin{cases} 0{,}45\left[\dfrac{A_c}{A_{ck}} - 1\right]\dfrac{f_{ck}}{f_{ywk}} \\ 0{,}12\dfrac{f_{ck}}{f_{ywk}} \end{cases} \tag{3.19}$$

# 4. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

## 4.1. Giriş

Yapay sinir ağları (YSA) ile insanoğlu ilk defa 1940'lı yılların başında Warren McCulloch ve Walter Pitts tarafından oluşturulan ilk yapay sinir ağı modeli sayesinde tanışmıştır. Bu yıllarda YSA ile yapılan çalışmalar temel tıp bilimi üzerinde odaklanmasına rağmen, son yıllarda birçok bilim dalı tarafından araştırma konusu haline gelmiştir. YSA'nın diğer disiplinler tarafından benimsenmesi veya yapılan çalışmalara konu olmasının başlıca etken nedeni olarak, farklı yapılardaki ve formlardaki verileri hızlı bir şekilde algılama ve tanımlama üzerine gösterdiği başarı sayesinde, klasik tekniklerle çözümü zor olan problemler için alternatif bir çözüm modeli sunması gösterilebilir.

YSA'nın gelişim sürecine baktığımız zaman 1970'ler öncesi ve sonrası diye iki süreç halinde incelemek daha doğrudur. 1970 yıllara kadar yapılan çalışmalarda istenilen sonuçlar elde edilememiş ve yeterli bir gelişim sağlanamadığı için YSA üzerindeki ilgi giderek azalmaya başlamıştır. Bu yıllarda, Minsky ve Papert'in yayınladıkları kitapta geçen süreçte, YSA'da karşılaşılan sorunları ele alınarak, bazı konuların YSA ile çözümünün olmadığını iddia etmesi ve YSA'nın tüm eksik yönlerini (dezavantajları) bu kitapta anlatılması üzerine, kitap ve kitabın ana fikri bazı bilim adamları tarafından kabul görüp desteklenmiştir.

YSA'nın temelini oluşturan bu yıllardan sonra, sayıları yeterince az olan YSA savunucuları yürüttükleri sessiz araştırmalar sayesinde, 1980'li yılların başlarında Kohonen ve Anderson tarafından eğiticisiz ağların öğrenimi ve Hopfield tarafından doğrusal olmayan ağların geliştirilmesiyle çalışmalar yeniden hız kazanmaya başlamıştır. Günümüzde gelinen bilgisayar teknolojisi sayesinde, YSA yazılımsal ve donanımsal anlamda gelişimini sürdürmekte ve YSA üzerinde yapılan çalışmalar birçok disiplinde hızla devam etmektedir.

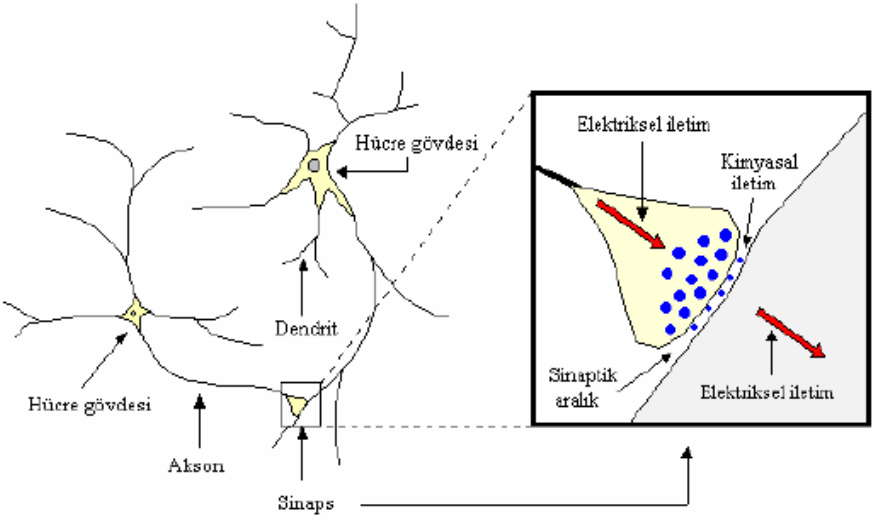
İnsanların sinir sistemini taklit ederek geliştirilen YSA, basit bir nöron hücresine benzer bir çalışma sistemi üzerine kurulan beynin bilgisayar ve matematik modellemesidir. Olayları öğrenme ve karar verme prensibi üzerine kurulan bu sistem, çözümü zor olan karmaşık problemlerin veya yetersiz bilginin işlenmesi, tahmin edilmesi noktasında, öğrendiklerine göre sonuç verme yeteneği sayesinde, güvenli bir şekilde kullanılmakta ve uygulamalarda karmaşık problemlere çözüm üreten bir model

olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada öğrenme, tecrübe ve yetenek anlamında kullanılabilir. Yani, öğrenme yetisi doğumdan itibaren kazanılan tecrübeler sayesinde, nöronlar arası snaptik bağlantıların kendini ayarlaması veya yeni bağların oluşturmasıyla sağlanır ve öğrenme gerçekleşir. Bu özellik YSA'da da benzer şekilde işlemektedir. Ağırlıklı bağlantılar aracığıyla birbirine bağlanan işlem elemanlarına girdi ve çıktı verilerinin işlenmesiyle, eğitme algoritmasının bu verileri kullanarak bağlantılı ağırlıkları belli bir yakınsamaya kadar tekrar tekrar düzenlemesi sayesinde (yani örnekler aracılığıyla tecrübe etmesi sağlanarak) eğitme yoluyla öğrenme işlemi gerçekleştirilir. Bu özelliğinden dolayı, YSA'nın kısa zamanda kullanım alanı genişlemiş ve bilgisayar sistemleri üzerine üstünlüğünü kanıtlamasını sağlamıştır.

### 4.2. YSA'nın Genel Tanımı

YSA, biyolojik sinir sisteminden esinlenerek geliştirilen ve insan beynini yaptığı temel işlemleri belirli bir yazılımla oluşturmayı hedefleyen mantıksal olarak programlanmış bir mekanizma olarak düşünülebilir. Bilgisayar ortamında oluşturulan bu yapay zekâ sayesinde, beynin yaptığı işlemleri yapmaya çalışan, karar veren, sonuç üretebilen, eksik veri durumunda eldeki veriler yardımıyla sonuca ulaşan, öğrenen, hatırlayan bir algoritma YSA olarak isimlendirilir (Dere 1997).

YSA, biyolojik sinir ağlarından modellenmiş oldukları için, öncelikle biyolojik sinir sisteminin yapısına bakılarak onun çalışma sisteminin anlaşılması gerekmektedir. Biyolojik sinir ağı, sinir hücrelerinin (nöronların) bir araya gelmesinden meydana gelir. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, tipik bir sinir hücresi 4 ana bölmeden oluşmaktadır. Bunlar, soma adı verilen hücre gövdesi, bir ucunda bir grup liflere benzeyen ve bağlı bulunduğu sinir hücresinden veya diğer organlardan bilgiler (sinyaller) getiren "dentrit" bağlantı elemanları, bir ucu sinir hücresine bağlı olup diğer ucunda snapsler bulunan ve hücrede toplanan sinyalleri snapslere aktaran "aksonlar", aksonlardan aldığı sinyali yeni bir sinir hücresine aktaran "snaps'lardir.




**Şekil 4.1.** Biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri (Anonim, 2015c)

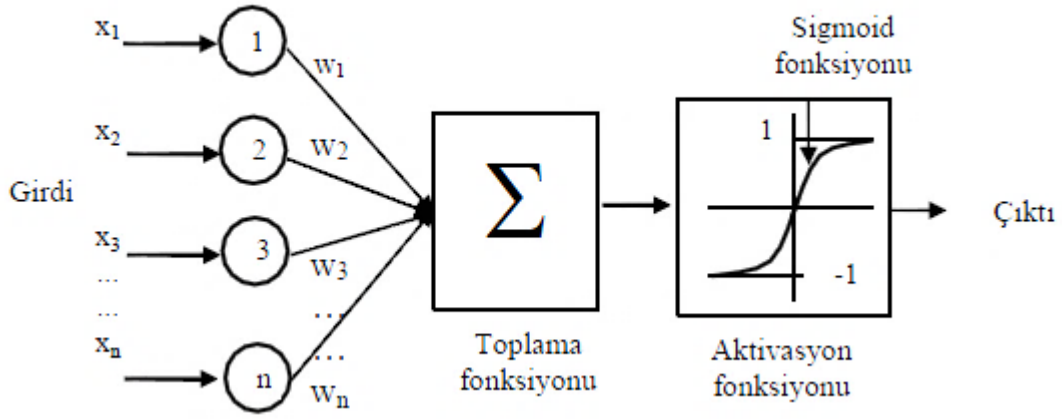
Bir biyolojik sinir hücresinin model alınarak oluşturulan yapay sinir hücreleri de girdi katmanı, çıktı katmanı, gizli katman, aktivasyon fonksiyonu olmak üzere dört ana bölümden meydana gelmektedir. Yapay sinir hücresi ile biyolojik sinir hücresi ile olan benzerliği Tablo 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.1.** Biyolojik sinir hücresi ile yapay sinir hücresinin karşılaştırılması

| Biyolojik Sinir Sistemi | Yapay Sinir Ağları |
|---|---|
| Nöron | İşlemci elemanı |
| Dentrit | Toplama Fonksiyonu |
| Hücre Gövdesi | Transfer Fonksiyonu |
| Aksonlar | Sinir Çıkışı |
| Sinapslar | Ağırlıklar |

Mühendislikte temel bir YSA hücresi, biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahip olup, dış ortamdan alınan verileri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlayan, girişlerin toplamı iç eşik değerini aştığında bu ağırlıkların girişe olan etkisini belirleyerek, çıkış üreten bir işlem elemanı olarak tarif edilmektedir. Burada ki ağırlıklar girilen tüm yeni veriler için güncellenmektedir ve nörona bağlanmaktan kasıt ise toplam fonksiyonu aracılığıyla girişlerle bu girişe karşılık gelen ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Elde edilen bu sonuç aktivasyon fonksiyonundan geçerek işlem süresince

net çıkışı hesaplar ve bu işlemin aynı zamanda nöron çıkışını oluşturur. Genel olarak aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Nöronun matematiksel modeli Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



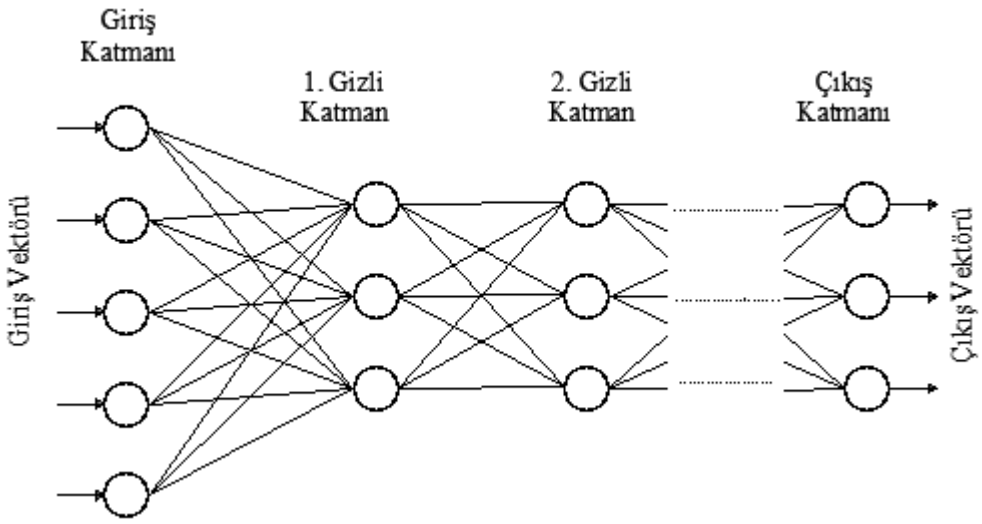

**Şekil 4.2.** Temel bir YSA hücresi (Anonim, 2015d)

### 4.3. YSA'nın Yapısı

Katmanların her biri içinde birbirinden bağımsız nöronlara sahiptir. Nöronların aynı doğrultu boyunca bir araya gelerek katmanları, katmanların sahip olduğu nöronlar da birbirleriyle bağlantılar aracılığıyla bir araya gelmeleri yapay bir nöron hücresini oluşturmaktadır.

Tipik bir YSA'nın genel mimari yapısı Şekil 4.3'de gösterildiği üzere üç ana katmandan meydana gelmektedir. Bunlar, dış dünyadan ağa eğitilmek üzere bilginin sunulduğu giriş katmanı, girdi katmanından aldığı bilgiyi işleyerek çıktı katmanı ile olan ilişkiyi bulan bir veya birden fazla katmandan meydana gelebilen gizli katman ve eğitim sonucunda elde edilen bilgiyi dış dünyaya gönderen işlem elemanlarının oluşturduğu çıkış katmanı olmak üzere üç ana katmandan oluşmaktadır.

YSA'nın düğümleri ve bağlantıları çok değişik biçimlerde bir araya getirilebilir. Ağlar bu düğüm ve bağlantı mimarilerine göre isimlendirilir.



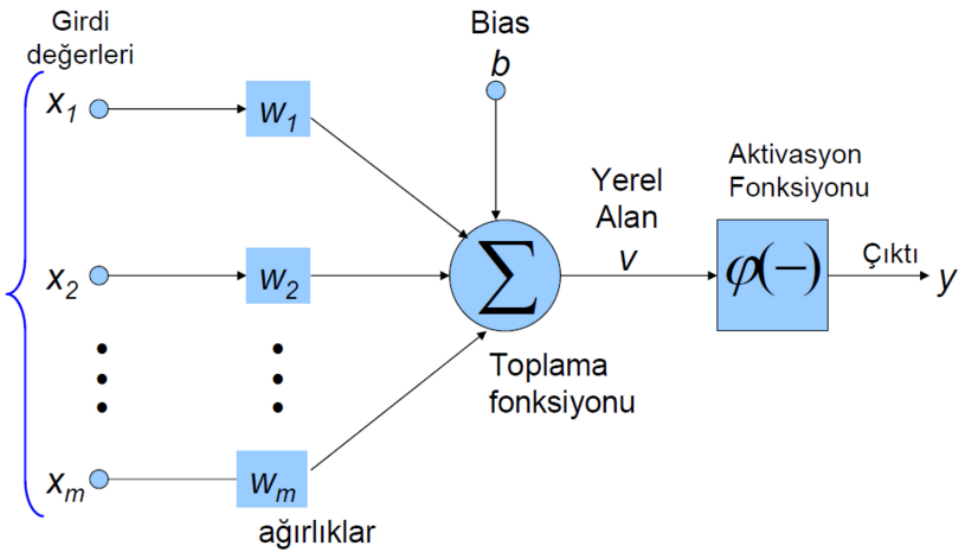

**Şekil 4.3.** Çok katmanlı bir YSA örneği

- **Giriş Katmanı:** YSA modeline girdi olarak tanıtılacak bilgilerin algılandığı tabakadır. Bu katmanında, girdi verisi kadar hücre bulunmaktır ve girdiler herhangi bir işleme tabi tutulmadan gizli katmana iletilmektedir. Bu katmandaki tüm hücreler gizli katman nöronlarına bağlıdır.
- **Gizli Katman:** Bu katmanda, girdi katmanından alınan bilgilerin gizli katman ve çıkış katmanı arasında ki ağırlıklarla çarpılarak bir sonraki katmana aktarılırlar. Bu katmandaki nöron sayısı ağdan ağa farklılık gösterebilir ve giriş ile çıkış katmanı nöron sayısından bağımsız bir şekilde deneme yanılma yolu ile seçilir. Benzer şekilde gizli katman sayısı da ağın en iyi şekilde çalışabileceği bir sayıda seçilmektedir.
- **Çıkış Katmanı:** Çıkış katmanında ki sinirler de kendisine gelen bu girişleri toplayarak gelen girdiye uygun olarak üretilen çıktı değerlerini, temsil eder. Çıktı katmanındaki düğüm sayısı birden fazla olabilir ve bu katmandaki her bir nöronun bir adet çıktı değeri vardır.

### 4.4. YSA'nın Elemanları

Biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahip olan, YSA hücresinin nöron modeli Şekil 4.4'de görüldüğü üzere, birebirlerine aşamalı olarak bağlı ve beraber çalışabilen hücrelerinden meydana gelmektedir. Bu, en küçük ve temel bilgi işleme birimi olan YSA'daki tüm nöronlar, bir veya birden fazla girdi alırlar ve tek bir çıktı değeri verirler. Bir yapay sinir hücresi temel olarak girişler, ağırlıklar, toplama

fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve hücre çıkışından olmak üzere 5 bileşenden oluşmaktadır.




**Şekil 4.4.** Bir işlem elemanın yapısı (Anonim, 2015e)

Dış ortamdan veya diğer hücrelerden alınan girdiler, ağırlıklarla çarpılarak hücreye bağlanır. Toplama fonksiyonu ile net girdi hesaplanarak, aktivasyon fonksiyonundan geçirilmesiyle net çıktı hesaplanır. Bu işlemle aynı zamanda hücrenin çıkışı hesaplanmış olur.

### 4.4.1. Girdiler

YSA hücresine eğitilmek üzere dış dünyadan veya diğer bir hücreden verilen ($x_1$, $x_{2...}x_m$) bilgidir. Ağın eğitilmesi için verilen bu bilgiler âdeti kadar giriş katmanı nörona sahip olur.

### 4.4.2. Ağırlıklar

Ağırlıklar ($w_1$, $w_{2...}w_m$), hücreler arasındaki bağlantının sayısal değerini ifade etmekte olup, hücreye gelen bilgilerin değerini ve hücre üzerindeki değerini gösterirler. Her bir girişin kendine ait ağırlığa sahip olup, sürekli değişken değerler alırlar. Öğrenme esnasında girdi ile çıktı arasındaki ilişkiyi yakalayabilmek için sürekli olarak değişen ağırlıklar, pozitif, negatif veya sıfır olabilirler. Ağırlığın büyük veya küçük olması o ağın yapay sinire güçlü bağlanması veya ağırlığın önemini belirlemez.

### 4.4.3. Toplama Fonksiyonu

Toplama fonksiyonu, nörona ağırlıklarla çapılarak gelen girdileri birleştirerek, hücrenin net girdisini hesaplayan fonksiyondur. Girdi ve ağırlıklar, aktivasyon fonksiyonuna gitmeden önce birçok bütünleştirme seçeneği vardır ama genel olarak girdi ve ağırlık çarpılmak suretiyle elde edilen değer aktivasyon fonksiyonuna gönderilir. Toplama fonksiyonunda yaygın olarak kullanılan türleri mevcuttur ve toplama fonksiyonunu belirlemek için herhangi bir formül olmadığı için tasarımcı deneme yanılma yolu ile fonksiyon türüne karar vermek zorundadır. Yaygın olarak kullanılan toplama fonksiyonları Tablo 4.2'de özetlenmiştir.

**Tablo 4.2.** Kullanılan toplama fonksiyonları

| **İsim** | **Formül** | **Açıklama** |
|---|---|---|
| Toplam | $Net = \sum_{i=1}^{N} X_i \times W_i$ | Ağırlık değerleri girdiler ile çarpıldıktan sonra toplanarak net girdi değeri hesaplanır. |
| Çarpım | $Net = \prod_{i=1}^{N} X_i \times W_i$ | Ağırlık değerleri girdilerle çarpıldıktan sonra bulunan değerler birbirleriyle çarpılarak net girdi hesaplanır. |
| Maksimum | $Net_i = Max\ (X_i * W_i)$ | N adet girdi içinde girdi değerleri ile ağırlıklar çarpıldıktan sonra içlerindeki en büyük değer net girdidir. |
| Minimum | $Net_i = Min\ (X_i * W_i)$ | N adet girdi içinde girdi değerleri ile ağırlıklar çarpıldıktan sonra içlerindeki en küçük değer net girdidir. |
| Çoğunluk | $Net = \sum_{i=1}^{N} Sgn(X_i \times W_i)$ | N adet girdi içinde girdi değerleri ile ağırlıklar çarpıldıktan pozitif ve negatif olanların sayısı bulunur. Büyük olan sayı hücrenin net girdisi olarak kabul edilir. |
| Kümülatif toplam | $Net = Net(eski) + \sum_{i=1}^{N} (X_i \times W_i)$ | Hücreye gelen bilgiler ağırlıklı olarak toplanır ve daha önce hesaplanan değerle yeni değer toplanarak net girdi hesaplanır. |

### 4.4.4. Aktivasyon Fonksiyonu

Toplama fonksiyonundan hesaplanan çıktı değeri, aktivasyon fonksiyonunda girdi olarak kullanılır. Bu fonksiyon hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirler. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyondur ve toplama fonksiyonunda olduğu gibi ağda bulunan nöronların hepsi aynı fonksiyon olması gerekmez. Yaygın olarak kullanılan fonksiyonlar lineer fonksiyonu, step fonksiyonu ve sigmoid fonksiyonudur. Toplama ve aktivasyon fonksiyonu seçilirken ağdaki değerlere ve yapısına bakılarak tercih edilir. Örneğin, değerlerimizin hepsi pozitif ve 0 ile 1 arasındaysa sigmoid fonksiyonunun kullanılması daha uygun bir sonuç verecektir. En çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonları Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.3.** En sık kullanılan transfer fonksiyonları

| | |
|---|---|
| **Sigmoid Fonksiyonu** | $f(net) = \frac{1}{1+e^{-x}}$ |
| **Lineer Fonksiyon** | $f(x) = x$ |
| **Step Fonksiyon** | $f(x) = \begin{cases} 1 & x>eşik \text{ değeri} \\ 0 & x\leq eşik \text{ değeri} \end{cases}$ |
| **Eşik Mantıksal Fonksiyon** | $f(x) = \begin{cases} 0 & x<0 \\ x & 0< x<1 \\ 1 & x \geq 1 \end{cases}$ |
| **Hiperbolik Tanjant Fonksiyon** | $f(x) = \frac{e^{x} - e^{-x}}{e^{x} + e^{-x}}$ |
| **Sinüs Fonksiyon** | f(x) = sinx |

### 4.4.5. Çıktılar

Aktivasyon fonksiyonundan çıkan değer hücrenin çıktı değeri olmaktadır ve hücrenin birçok girdi değeri olmasına rağmen tek bir çıktı değeri vardır. Bu değer ister dış dünyaya çıktı değeri olarak sunulabilir, isterse tekrar ağın içinde başka bir hücreye girdi elemanı olarak gönderilebilir.

## 4.5. YSA'nın Sınıflandırılması

YSA'da meydana gelen çeşitliliğin temel nedeni olarak, bağlantı yapısı, öğrenme yöntemi, gizli tabaka sayısı ve kullanılan mimari özelliğe göre tasarımcı

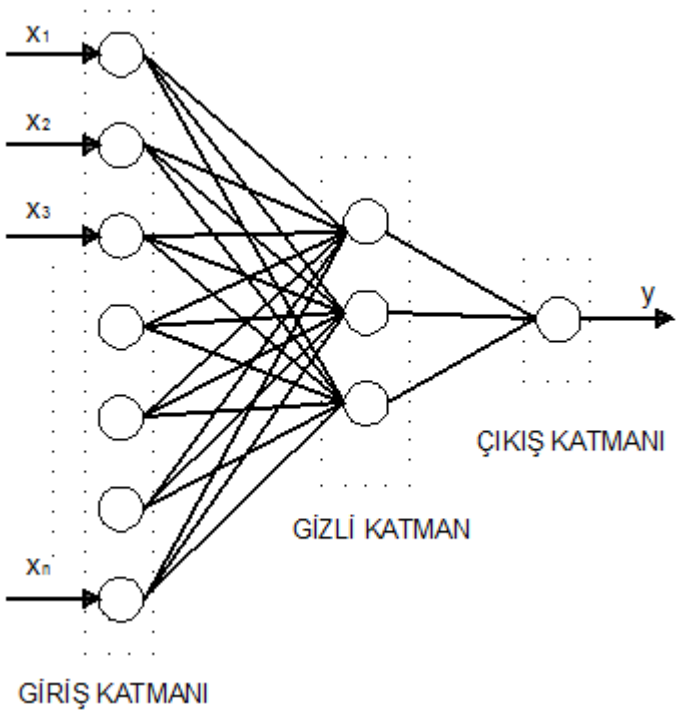
tarafından oluşturulan YSA modelleri farkındalık gösterdiğini söyleyebiliriz. Genel olarak incelendiğinde, yapay nöronları üç ana gruba göre sınıflandırma yapabiliriz. Bunlardan ilki, ağın yapısına göre ileri beslemeli ağlar ve geri beslemeli ağlar olarak sınıflandırılabilir. İkinci ölçüt olarak ağın öğrenme şekline göre, danışmanlı öğrenme ve danışmansız öğrenme iki grup halinde inceleyebiliriz. Son olarak ağda kullanılan veriye göre sınıflandırılmaktadır.

### 4.5.1. YSA'nın Yapılarına Göre Sınıflandırılması

YSA'yı oluşturan nöronların, birbiriyle olan bağlantıların yapısı ağın yapısını belirlemektedir. Ağın eğitimi sırasında sinir hücresi istenilen çıktıyı oluşturmak için sürekli ağırlıkları güncellemesi gerekmektedir ve oluşan hatanın değeri sıfıra ulaşana kadar nöronlar arası bağ gücü sürekli algoritma tarafından değiştirilir. Bu şekilde işlem elamanı oluşan hata değerini ve verilerin ağ içesindeki nöronlarda nasıl bir döngü içinde hareket edecekleri ağın yapısına göre değişmektedir. Yapay bir sinir hücresinde bulunan nöronların birbirleriyle bağlanış şekline göre ileri ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılır.

#### 4.5.1.1. İleri Beslemeli Ağlar

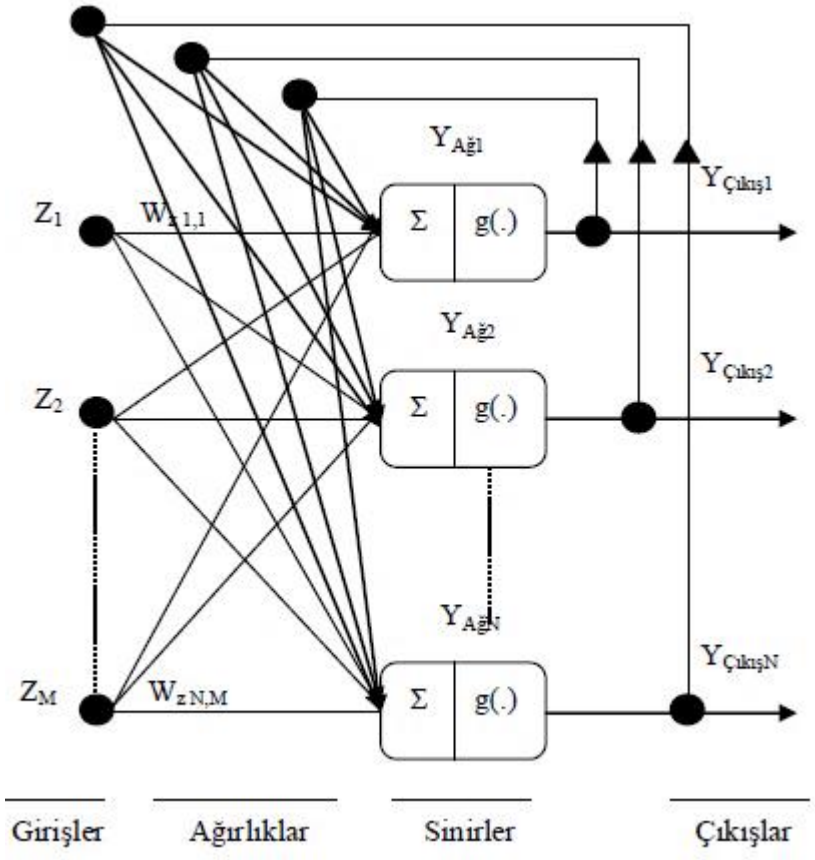
İleri beslemeli ağlarda nöronlar girişten çıkışa doğru katmanlar halinde bulunarak, tabakalar halinde giriş, gizli ve çıkış katmanı halinde isimlendirilmektedir. Bir katmanda bulunan nöron sadece kendinden sonra gelen katmandaki nöronlarla arasında ağırlıklarla bağ kurmakta ve bilgi akışı girişten çıkış katmanına doğru ilerlemektedir. YSA'da en çok kullanılan ağ modeli olup girilen veriye kendi içlerinde bir döngü olamadığı için gecikme yaşanmadan hızlı bir şekilde çıktı verisi üretmektedirler. Şekil 4.5'de çok katmanlı ileri beslemeli tipik bir YSA modeli gösterilmiştir.




**Şekil 4.5.** İleri beslemeli tipik bir YSA mimarisi

#### 4.5.1.2. Geri Beslemeli Ağlar

Geri beslemeli ağ mimarisinde ileri beslemeli sinir hücrelerindeki gibi sadece kendisinden sonra gelen katmanda bulunan hücrelere, hücre çıktısı girdi verisi olarak verilmez. Bu ağdaki bir nöron çıktıyı hem kendi katmanında bulunan nöronlara, hem de kendinden önce veya sonraki katmanda bulunan nöronlara girdi verisi olarak dağıtabilir. Bu yapısından dolayı geri beslemeli ağlar doğrusal olmayan dinamik bir davranış sergilemektedirler ve ileri beslemeli ağlardan farklı olarak dinamik bir hafızaya sahiptirler. Bu ağlara geri besleme özelliği kazandıran bağlantıların bağlanış türlerine göre farklı davranışta ve yapıda geri beslemeli YSA elde edilir. Hopfield, Jordan, Elman ağları bu türde ağlara örnek olarak gösterilebilir. Şekil 4.6'da geri beslemeli tipik bir YSA modeli gösterilmiştir.




**Şekil 4.6.** Geri beslemeli tipik bir YSA mimarisi

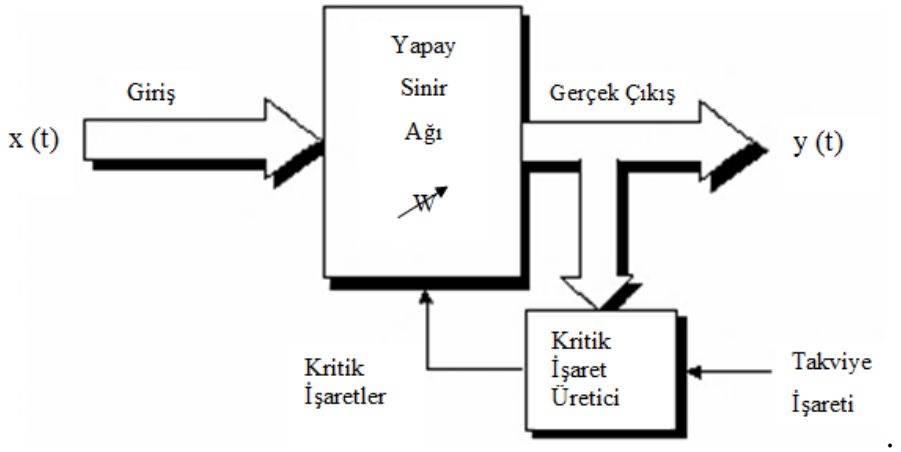
### 4.5.2. YSA'nın Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması

YSA'da öğrenme olayı, ağırlıkların istenilen sonucun elde edilene kadar sürekli kendini güncellenmesiyle meydana gelmektedir. Bu olayı insan beyninin duyu organlarıyla algıladığı davranışları yorumlayıp, yaşadıkça bu olaylar karşısında tecrübe kazanmasıyla gösterdiği tepkilere benzetebilir. YSA'da da bu işlem eğitim sayesinde dış dünyadan aldığı veriyi kullanarak öğrenme yetisine, yani tecrübeye dönüştürülür. Kazanılan bu tecrübe sayesinde de, girişler aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bir tepki çıkışı üretilir. Ağlar eğitilirken örnek sayısı ne kadar çok olursa alınacak olan tepkilerde o derece doğruya daha yakın olur. YSA'da öğrenme algoritmalarına göre, genel olarak iki sınıf altında gruplandırabilir. Bunlar, denetimli (danışmalı) öğrenme ve denetimsiz (danışmansız) öğrenme olarak adlandırılır.

#### 4.5.2.1. Denetimli (Danışmanlı) Öğrenme

YSA'ya belli bir örnekler kümesi sunularak, ağın bu örnekler sayesinde tecrübe, deneyim kazanması aracılığıyla öğrenme olayı gerçekleştirilir. Bunun için veri seti ağa

sunulurken giriş değerlerin yanında çıkış değerleri de verilir. Ağa verilen giriş değerleri için ürettiği çıkış değerleri, ilk başta kullanıcı tarafından girilen çıkış değerlere eğitim başında belirlenen hata değerine ulaşıncaya kadar ağırlıkları güncellenerek değiştirir. Ağırlıkların güncellenmesi hata payına göre düzenlenir. Hedef çıktı ile ağın ürettiği çıktı değerleri arasındaki fark hesaplanarak, her bir nörona düşen hata payı bulunur. Daha sonra her nöron kendine gelen ağırlıkları güncelleyerek ağ tekrar eğitilir. Hata istenilen seviyeye ulaşıncaya kadar eğitim devam eder ve bağlantılardaki ağırlıklar daha iyi çıktıyı üretmek için tekrar düzenlenir. Hata düzeyi istenilen seviyeye ulaştıktan sonra, ağ öğrenmeyi tamamlamış olur ve ağırlıkların güncellenmesi işlemi biter. Giriş verileriyle çıkış verileri arasındaki ilişkiyi kavrayan ağ artık kendine sunulacak olan farklı örnekler için doğru sonuçlar elde vermeye başlar. Danışmanlı eğitime geri yayılım algoritması olarak, çok katmanlı perceptronlar ve delta kuralı örnek olarak verilebilir. Şekil 4.7'de danışmanlı öğrenme yapısı gösterilmiştir.

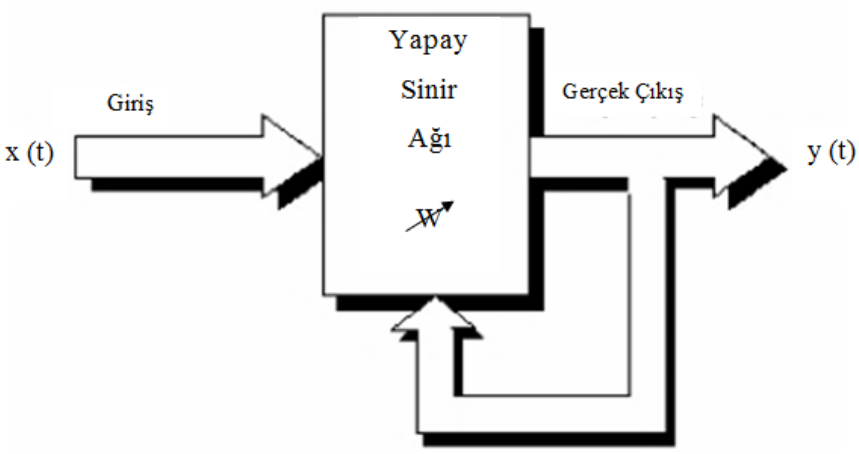



**Şekil 4.7.** Danışmanlı öğrenme yapısı (Öztemel, 2003)

### 4.5.2.2. Danışmansız Öğrenme

Danışmansız eğitimde, ağın öğrenmesine yardımcı olacak bir öğretmen veya danışman yoktur. Bu algoritmada eğitim için verilen girdiye karşılık öğrenme kurallarını kendi kendine geliştirir ve üretilen çıkış değerleri için istenen çıkış değeri olmadığından hata değeri hesaplanmaz. Yani öğrenme için ağa sadece girdi bilgileri girilerek sonuç bilgisi alınır. Hata değeri hesaplanmadığından denetimli öğrenmeye göre çok daha hızlıdır ve basit algoritmalara sahiptir. Bu öğrenme şekline örnek olarak

Grossberg öğrenme, Hebbian öğrenme, Kohonen özörgütlemeli öğrenme ağı gösterilebilir. Şekil 4.8'de danışmansız öğrenme yapısı gösterilmiştir.




**Şekil 4.8.** Danışmansız öğrenme yapısı (Öztemel, 2003)

### 4.5.3. YSA'nın Başlıca Öğrenme Kuralları

YSA'nın eğitimi sırasında kullanılan birçok öğrenme kuralı vardır. Bu kuralların ilki ve en çok bilineni 1949 yılında Donald Hebb en basit haliyle yazdığı kitapta tanıtılmıştır. Daha sonra ortaya çıkan öğrenme kurallarının çoğu buna bağlı olarak geliştirilmiş ve ilk teklif eden kişinin ismini almıştır. YSA için sunulan öğrenme kuralları doğal olandan çok daha basit ve bu konu araştırmalara açıktır. Önemli öğrenme kurallarından birkaç tanesine aşağıda örnek olarak verilmiştir.

#### 4.5.3.1. Hebb Kuralı

Ortaya atılan ilk öğrenme kuralı olmakla beraber, diğer öğrenme kurallarının bulunmasına ve gelişmesine önderlik etmiştir. Temel olarak çalışma sistemi, aralarında bilgi alışverişi olan nöronların değerleri aktifse (aynı işarete sahipse), bu iki nöron arasında ki bağ kuvvetlendirilmeli, değilse bağlantı değerlerinin zayıflatılması prensibine dayanmaktadır. Bağ kuvvetlendirme veya zayıflatılması işlemi önceden belirlenen bir büyüklük ve işaret değiştirilmesiyle sağlanmaktadır.

#### 4.5.3.2. Hopfield Kuralı

Hebb kuralına benzer bir çalışma sistemi vardır. Bu kuralda, arasında bilgi alışverişi olan nöronların her ikisinin de işareti aktifse veya pasifse, aralarında

kurdukların bağın değeri öğrenme oranı katsayısı kadar artırılır veya azaltılır. Hebb kuralında 1 olan öğrenme katsayısı, Hopfield kuralında 0 ile 1 arasında kullanıcı tarafından deneme yanılma yoluyla seçilmektedir.

#### 4.5.3.3. Delta Kuralı

Hebb kuralının daha gelişmiş hali olan Delta kuralı, en çok tercih edilen öğrenme kurallarının başında gelmektedir. Bu kural ağda üretilen çıkış değeri ile hedeflenen çıkış değeri arasındaki hatayı minimize etmek için ilk başta rastgele verilen ağırlık değerlerinin değiştirilmesi fikrine dayanır. Hatalar en son katmandan ilk katmana doğru birbirine bağlı olan nöronlar arasında bağlantı gücüne göre ağırlıklara dağıtılır. Buna hataların geriye doğru dağıtılması anlamına gelen geri besleme işlemi denilmektedir. Ağırlıkların güncelleme işlemi ortalama kare hatalarının kabul edilebilir seviyeye inmesiyle sonlandırılır. Bu kuralda amaç üretilen değer ile hedeflenen değer arasındaki farkın karelerinin ortalamasını azaltmayı amaçladığı için, en küçük ortalamalar karesi olarak da adlandırılır. Bu tür öğrenme ile eğitilen YSA'ya ileri beslemeli geri yayılımlı YSA olarak isimlendirilir.

#### 4.5.3.4. Kohonen Kuralı

Bu kural 1988 yılında biyolojik sinir sistemlerindeki öğrenme kurallarından esinlenerek geliştirilmiş denetimsiz bir öğrenme kuralıdır. Denetimsiz olarak eğitimini gerçekleştirdiği için bu tür öğrenme kuralına sahip olan ağlarda bir çıkış veri setine ihtiyaç duyulmaz. Bu kurala göre ağda bulunan hücreler ağırlıklarını değiştirebilmek için birbirleriyle bir yarış içindedirler ve en büyük çıktıyı veren hücre ağın kazanan hücresi olmaktadır. Yarışın kazanan hücresi yani en büyük çıktıyı veren hücre ağırlıklarını değiştirmeye hak kazanmakta ve kazanan hücreyle bağlantısı olan komşu hücrelerin de ağırlıklarını güncellemesine izin verilmektedir. Böylece kazanan hücreye komşu olan hücreler ağırlıkların yenilenmesiyle işin içine tekrar girerken, kazanan hücreye komşu olmayanlar bu olaydan hiç etkilenmezler.

### 4.6. Normalizasyon

YSA'da, girdi ve çıktı verilerine bazı ön hazırlık işlemleri uygulayarak ağın eğitimi daha verimli hale getirilebilir. Çünkü kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının eksen verileri [-1,1] arasında değiştiği için veri setinde aşırı salınımlar bulunan

örneklerin ağ modellerine olumsuz yönde bir etki oluşturabilir. Ağ giriş işlem fonksiyonları, ham veri setine normalizasyon uygulamadan ağ kullanımı daha iyi bir forma dönüştürebilmesi çok daha yavaş olabilir. Bu yüzden, normalleştirme işlemi ham verilere uygulanması ve bu verilerin eğitim için uygun bir veri setine dönüştürülmesi olumlu bir etkiye sahiptir. Böylece hem veri setinde bulunan büyük değerlerin bir araya toplanarak kümeleşmesi, baskın hale dönüşmesi engellenmiş olacak, hem de yapılan bu sıkıştırma işlemi sayesinde kullanılacak olan öğrenme fonksiyonunda başarısı artmış olacaktır. Normalizasyon işleminde farklı teknikler kullanılabilir. Literatürde birçok veri normalizasyon tekniği vardır. Bunlardan bazılarını Medyan, Minimum kuralı, Maksimum kuralı, Sigmoid ve Z-Score olarak sıralayabiliriz (Jayalakshmi ve Santhakumaran, 2011). Normalizasyon işleminde kullanıcı eğitim sırasında kullanacağı aktivasyon fonksiyonunun eksen değerlerine göre [0,1] veya [-1,1] olacak şekilde bir normalizasyon tekniği seçmelidir.

Tezde kullanılan veri seti [0,1] arasında bir ölçeklendirme işlemine tabi tutulmuştur. Bunun için min-max normalizasyon yöntemi tercih edilerek, aşağıda Denklem 4.1'de verilen formülle ölçeklendirme işlemi yapılmıştır.

$$x' = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{4.1}$$

Bu eşitlikte;

x'= Normalize edilmiş veriyi

$x_i$ = Girdi değerini

$x_{max}$ = Girdi seti içinde yer alan en büyük sayıyı

$x_{min}$ = Girdi seti içinde yer alan en küçük sayıyı

ifade etmektedir.

# 5. VERİ SETİNİN OLUŞTURULMASI

Bu bölümde farklı mühendislik özelliklerine sahip fretli kolonların moment, kesme ve süneklik kapasitelerinin belirlenmesine yönelik, YSA yaklaşımı ile oluşturulan modellerin geliştirilmesi işlemi anlatılmıştır. Tezin kurgusu gereği, söz konusu akıllı sistemi kullanabilmek için ilk başta veri seti oluşturulmuştur. Veri seti PEER laboratuvarında farklı araştırmacılar tarafından yapılan deneylerle oluşturulan veri tabanından elde edilmiştir. Bu veri tabanı sayesinde elde edilen 79 adet fretli kolon deney elemanlarına ait deneysel özellikler: kolon kesiti ve yüksekliği, boyuna ve enine donatı mekanik özellikleri ve oranları, betonun mekanik özelliği, eksenel yük oranı, pas payı gibi özellikler dikkate alınarak elde edilen kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile akma ve göçme konumundaki deplasman büyüklerinden elde edilen deplasman süneklik değerleri EK-1'deki gibi düzenlenmiş ve 79 deney elemanından rastgele seçilen 50 deney elemanı YSA algoritmasının eğitim setini, geriye kalan 29 deney elemanı da test setini oluşturmuştur. Çalışmada ayrıca, yine literatürden derlenen 7 adet fretli kolon deney elemanına sahip bir doğrulama seti oluşturulmuştur. Yapılan deneylerde kolonların genellikle eğilme+kesme (kesmeli eğilme) etkisi altında kırıldığı, çok az bir kısmının kesmeden dolayı kapasitesine ulaştığı görülmüştür.

## 5.1. Veri Setinin Hazırlanması

### 5.1.1. Girdiler

Girdiler, problemin değişkenleri olan kolon özelliklerinden çıkış katmanındaki değerleri temsil eden 9 parametreden oluşmaktadır. Bu katmandaki girdi verilerin seçimini en aza indirgeyebilmek ve sütunların arası değerlerde homojenliği sağlamak amacıyla kolon alanı yerine çapı ve pas payı, eksenel yük yerine eksenel yük oranı, boyuna ve enine donatı alanı yerine oranları gibi işlemlerden geçirilerek giriş parametreleri oluşturulmuştur. Tablo 5.1'de kullanılan giriş parametreleri ve sayısal değişim aralıkları gösterilmiştir.

YSA'da transfer fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılacağı için girdi ve çıktı katmanındaki veriler Başlık 4.6'da anlatılan normalizasyon tekniği ile 0 ve 1 arasında normalize edilmiştir. Bu işlem için Denklem (5.1)'de gösterilen formül kullanılmıştır. Tablo 5.2'de eğitim ve test veri seti YSA'ya girilmek üzere normalize edilmiştir.

$$x' = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{5.1}$$

**Tablo 5.1.** Giriş parametreleri ve değişim aralıkları

| No | Simge | Giriş Parametreleri | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|
| 1 | D | Çap (mm) | 152 | 1520 |
| 2 | d' | Pas payı (mm) | 9,7 | 60,3 |
| 3 | L | Kolon etkili boyu (mm) | 570 | 9140 |
| 4 | $f_c$ | Beton basınç dayanımı (MPa) | 23,1 | 90 |
| 5 | $f_y$ | Boyuna donatının akma dayanımı (MPa) | 296 | 507,5 |
| 6 | $\rho_t$ | Boyuna donatı oranı (%) | 0,52 | 5,57 |
| 7 | $f_{yw}$ | Enine donatı akma dayanımı (MPa) | 300 | 1000 |
| 8 | $\rho_s$ | Hacimsel enine donatı oranı (%) | 0,13 | 3,43 |
| 9 | $N/N_o$ | Eksenel yük oranı | 0,08 | 0,42 |

**Tablo 5.2.** Eğitim ve test giriş veri setinin normalizasyonu

| No | D | d' | L | $f_c$ | $f_y$ | $\rho_l$ | $f_{yw}$ | $\rho_s$ | $N/N_o$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0268 | 0,2152 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0400 | 0,1152 | 0,1600 |
| 2 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0268 | 0,2108 | 0,0000 | 0,5307 | 0,0400 | 0,1152 | 0,1600 |
| 3 | 0,1813 | 0,2036 | 0,0268 | 0,1121 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0229 | 0,1152 | 0,1600 |
| 4 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0268 | 0,1196 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0400 | 0,1909 | 0,1600 |
| 5 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0035 | 0,1046 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0400 | 0,1152 | 0,1600 |
| 6 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0268 | 0,0957 | 0,7187 | 0,5307 | 0,1029 | 0,0758 | 0,1600 |
| 7 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0268 | 0,0837 | 0,7187 | 0,5307 | 0,1029 | 0,2697 | 0,5600 |
| 8 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0502 | 0,1016 | 0,7187 | 0,5307 | 0,1029 | 0,2697 | 0,5600 |
| 9 | 0,1813 | 0,2233 | 0,0268 | 0,1211 | 0,7187 | 0,5307 | 0,0457 | 0,2697 | 0,5600 |
| 10 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0035 | 0,0822 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0400 | 0,2697 | 0,3600 |
| 11 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0268 | 0,1958 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0371 | 0,2697 | 0,3600 |
| 12 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0268 | 0,1584 | 0,6052 | 0,5386 | 0,0371 | 0,1152 | 0,1600 |
| 13 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0268 | 0,1749 | 0,6619 | 0,2772 | 0,0371 | 0,1152 | 0,1600 |
| 14 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0268 | 0,1540 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0371 | 0,1152 | 0,3600 |

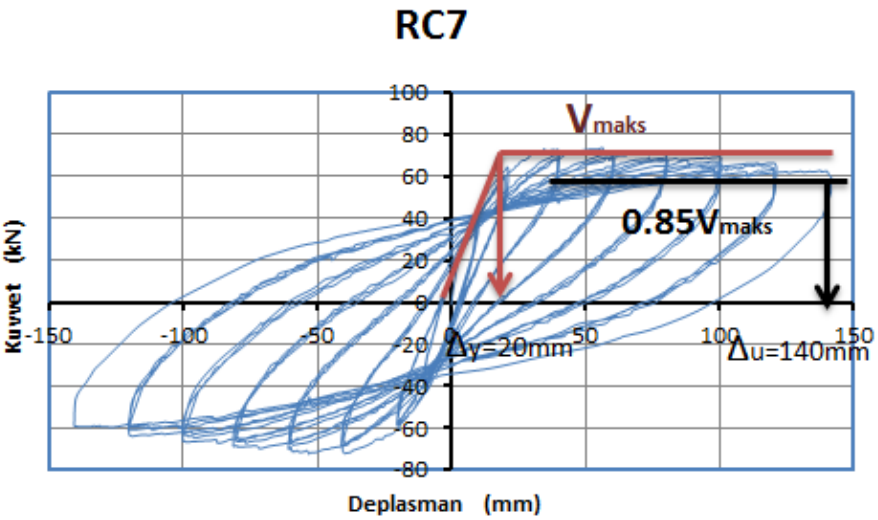
| No | D | d' | L | $f_c$ | $f_y$ | $\rho_l$ | $f_{yw}$ | $\rho_s$ | $N/N_o$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 15 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0502 | 0,1674 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0371 | 0,1152 | 0,3600 |
| 16 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0035 | 0,1779 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0371 | 0,1152 | 0,3600 |
| 17 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0035 | 0,1689 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0371 | 0,0758 | 0,3600 |
| 19 | 0,1813 | 0,2233 | 0,0268 | 0,1375 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0457 | 0,1909 | 0,1600 |
| 20 | 0,1813 | 0,2036 | 0,0268 | 0,1495 | 0,6619 | 0,5307 | 0,0143 | 0,1939 | 0,1600 |
| 21 | 0,1813 | 0,2036 | 0,0268 | 0,2227 | 0,6005 | 0,5307 | 0,0000 | 0,3909 | 0,5400 |
| 22 | 0,1813 | 0,1640 | 0,0268 | 0,2078 | 0,8463 | 0,5307 | 0,0571 | 0,1030 | 0,9400 |
| 23 | 0,0000 | 0,0099 | 0,0665 | 0,1704 | 0,7187 | 1,0000 | 0,4571 | 0,4000 | 0,6400 |
| 24 | 0,0000 | 0,0099 | 0,0000 | 0,1704 | 0,7187 | 1,0000 | 0,4571 | 0,4000 | 0,6400 |
| 25 | 0,0000 | 0,0099 | 0,0000 | 0,1704 | 0,7187 | 1,0000 | 0,4571 | 0,4000 | 0,8600 |
| 26 | 1,0000 | 0,9684 | 1,0000 | 0,1898 | 0,8463 | 0,2911 | 0,2757 | 0,1515 | 0,3000 |
| 27 | 1,0000 | 1,0000 | 0,4667 | 0,1674 | 0,8463 | 0,2911 | 0,1929 | 0,4121 | 0,3000 |
| 28 | 0,0716 | 0,0040 | 0,0210 | 0,0149 | 0,7092 | 0,2891 | 0,2014 | 0,3879 | 0,3600 |
| 29 | 0,0716 | 0,0040 | 0,0210 | 0,0000 | 0,7092 | 0,2891 | 0,2014 | 0,3879 | 0,5800 |
| 30 | 0,0716 | 0,0000 | 0,1085 | 0,0344 | 0,7092 | 0,2891 | 0,2514 | 0,1667 | 0,3600 |
| 31 | 0,0716 | 0,0040 | 0,0210 | 0,0194 | 0,7092 | 0,2891 | 0,2014 | 0,3879 | 0,3600 |
| 32 | 0,0716 | 0,0040 | 0,0210 | 0,0179 | 0,7092 | 0,2891 | 0,2014 | 0,3879 | 0,5600 |
| 33 | 0,0716 | 0,0000 | 0,1085 | 0,0030 | 0,7092 | 0,2891 | 0,2514 | 0,1667 | 0,3800 |
| 34 | 0,1118 | 0,0949 | 0,0936 | 0,0882 | 0,7187 | 0,3010 | 0,1914 | 0,2455 | 0,3400 |
| 35 | 0,1118 | 0,0949 | 0,0936 | 0,1854 | 0,7187 | 0,3010 | 0,1914 | 0,2455 | 0,3400 |
| 36 | 0,1118 | 0,0949 | 0,0936 | 0,1450 | 0,7187 | 0,3010 | 0,1914 | 0,2455 | 0,3400 |
| 37 | 0,1118 | 0,0949 | 0,0936 | 0,1450 | 0,7187 | 0,3010 | 0,1914 | 0,2455 | 0,3400 |
| 38 | 0,1118 | 0,0949 | 0,0936 | 0,1405 | 0,7187 | 0,3010 | 0,1914 | 0,2455 | 0,3400 |
| 39 | 0,1118 | 0,0949 | 0,0936 | 0,0583 | 0,7187 | 0,3010 | 0,1914 | 0,2455 | 0,3600 |
| 40 | 0,1118 | 0,0949 | 0,0936 | 0,0583 | 0,7187 | 0,3010 | 0,1914 | 0,2455 | 0,3600 |
| 41 | 0,1118 | 0,0949 | 0,0936 | 0,0583 | 0,7187 | 0,3010 | 0,1914 | 0,2455 | 0,3600 |
| 42 | 0,3348 | 0,1221 | 0,0402 | 0,1031 | 0,7849 | 0,0000 | 0,0871 | 0,0455 | 0,2800 |
| 43 | 0,3348 | 0,1221 | 0,0402 | 0,1031 | 0,7849 | 0,1030 | 0,0871 | 0,0121 | 0,2800 |
| 44 | 0,3348 | 0,3569 | 0,3606 | 0,2691 | 0,7518 | 0,4238 | 0,1629 | 0,2303 | 0,4600 |
| 45 | 0,2230 | 0,2976 | 0,0397 | 0,2272 | 0,6217 | 0,3743 | 0,1860 | 0,3061 | 0,7800 |
| 46 | 0,2230 | 0,2976 | 0,0397 | 0,2436 | 0,6217 | 0,3743 | 0,1860 | 0,3061 | 0,4600 |
| 47 | 0,2230 | 0,3291 | 0,0397 | 0,1779 | 0,8142 | 0,9287 | 0,1920 | 0,7788 | 0,4600 |
| 48 | 0,2230 | 0,2976 | 0,0397 | 0,1809 | 1,0000 | 0,3743 | 0,2117 | 0,2182 | 0,0000 |
| 49 | 0,2230 | 0,3291 | 0,0397 | 0,1779 | 0,8993 | 0,9287 | 0,1920 | 0,8818 | 0,8200 |
| 50 | 0,2230 | 0,4043 | 0,3601 | 0,2018 | 0,8558 | 0,6139 | 0,2071 | 0,2394 | 0,7600 |
| 51 | 0,2230 | 0,4043 | 0,3601 | 0,2526 | 0,8558 | 0,6139 | 0,1957 | 0,1424 | 0,7000 |
| 52 | 0,2230 | 0,4043 | 0,3601 | 0,2317 | 0,8558 | 0,6139 | 0,2071 | 0,2394 | 0,7200 |
| 53 | 0,3345 | 0,2476 | 0,2180 | 0,1181 | 0,7847 | 0,1921 | 0,4382 | 0,1727 | 0,3000 |
| 54 | 0,3345 | 0,2476 | 0,5025 | 0,1181 | 0,7847 | 0,1921 | 0,4382 | 0,1727 | 0,3000 |
| 55 | 0,3345 | 0,2476 | 0,6448 | 0,1181 | 0,7847 | 0,1921 | 0,4382 | 0,1727 | 0,3000 |
| 56 | 0,3345 | 0,2476 | 0,2180 | 0,1181 | 0,7847 | 0,0455 | 0,4382 | 0,1727 | 0,3000 |
| 57 | 0,3345 | 0,2476 | 0,2180 | 0,1181 | 0,7847 | 0,4871 | 0,4382 | 0,1727 | 0,3000 |

| No | D | d' | L | $f_c$ | $f_y$ | $\rho_l$ | $f_{yw}$ | $\rho_s$ | $N/N_o$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 58 | 0,3345 | 0,3731 | 0,1469 | 0,1704 | 0,6869 | 0,4376 | 0,4382 | 0,2303 | 0,3400 |
| 59 | 0,3345 | 0,3731 | 0,5025 | 0,1704 | 0,6869 | 0,4376 | 0,4382 | 0,2303 | 0,3400 |
| 60 | 0,3345 | 0,3731 | 0,6448 | 0,1704 | 0,6869 | 0,4376 | 0,4382 | 0,2303 | 0,3400 |
| 61 | 0,3275 | 0,4043 | 0,1435 | 0,1241 | 0,7187 | 0,2772 | 0,1871 | 0,1242 | 0,2600 |
| 62 | 0,3275 | 0,4043 | 0,1435 | 0,1719 | 0,7187 | 0,2772 | 0,1871 | 0,1242 | 0,2400 |
| 63 | 0,3275 | 0,4043 | 0,1435 | 0,1480 | 0,7801 | 0,2772 | 0,1914 | 0,2061 | 0,2400 |
| 64 | 0,0716 | 0,0800 | 0,1254 | 0,6263 | 0,5816 | 0,5465 | 1,0000 | 0,4273 | 0,7800 |
| 65 | 0,0716 | 0,0800 | 0,1254 | 1,0000 | 0,5816 | 0,5465 | 1,0000 | 0,4273 | 1,0000 |
| 66 | 0,0716 | 0,0850 | 0,1254 | 1,0000 | 0,5816 | 0,5465 | 0,4000 | 0,4909 | 1,0000 |
| 67 | 0,0716 | 0,1176 | 0,1254 | 1,0000 | 0,5816 | 0,5465 | 0,1714 | 0,4879 | 1,0000 |
| 68 | 0,0716 | 0,0800 | 0,1254 | 1,0000 | 0,5816 | 0,5465 | 1,0000 | 0,4273 | 0,5800 |
| 69 | 0,0716 | 0,0800 | 0,1254 | 1,0000 | 0,5816 | 0,5465 | 1,0000 | 0,4273 | 1,0000 |
| 70 | 0,0716 | 0,0800 | 0,1254 | 1,0000 | 0,5816 | 0,5465 | 0,1714 | 1,0000 | 1,0000 |
| 71 | 0,2602 | 0,2294 | 0,1113 | 0,4948 | 0,8227 | 0,0931 | 0,2214 | 0,0000 | 0,4200 |
| 72 | 0,2602 | 0,2294 | 0,1113 | 0,4963 | 0,8227 | 0,0931 | 0,2214 | 0,0000 | 0,3800 |
| 73 | 0,2602 | 0,2294 | 0,1113 | 0,5067 | 0,8227 | 0,0931 | 0,2214 | 0,0000 | 0,3600 |
| 74 | 0,2602 | 0,2294 | 0,1113 | 0,4425 | 0,8227 | 0,0931 | 0,2214 | 0,0000 | 0,3800 |
| 75 | 0,3345 | 0,2476 | 0,2180 | 0,2108 | 0,7849 | 0,1921 | 0,4382 | 0,1727 | 0,4000 |
| 76 | 0,3345 | 0,2476 | 0,2180 | 0,2108 | 0,7849 | 0,1921 | 0,4382 | 0,0667 | 0,2800 |
| 77 | 0,3345 | 0,2036 | 0,3602 | 0,1420 | 0,0903 | 0,4000 | 0,0737 | 0,0121 | 0,5400 |
| 78 | 0,1860 | 0,1040 | 0,1498 | 0,2003 | 0,7683 | 0,1287 | 0,5593 | 0,1212 | 0,1600 |
| 79 | 0,1860 | 0,0146 | 0,0557 | 0,1839 | 0,7683 | 0,1287 | 0,5593 | 0,0394 | 0,1600 |

### 5.1.2. Çıktılar

Çıktı katmanındaki işlem elemanı sayısı problemin tanımı gereği oluşmaktadır. Bu çalışmada dört farklı ağ mimarisi oluşturulmuştur. Bu ağ mimarileri $YSA_1$, $YSA_2$, $YSA_3$, $YSA_4$ olarak isimlendirilmiştir. $YSA_1$ modelinin çıkış katmanında üç nörona sahiptir ve fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile süneklikleri aynı anda tahmin edilmektedir. $YSA_2$, $YSA_3$, $YSA_4$ ağ mimarileri tek çıkış nöronuna sahiptir ve sırasıyla moment taşıma kapasitesi, kesme kuvveti taşıma kapasitesi ve kesit sünekliği tahmin edilmektedir. Fretli kolonların moment ve kesme kuvveti kapasiteleri deneysel sonuçlardan elde edilmiştir. Süneklik kapasiteleri ise, kolonlara ait yük-deplasman eğrilerinden, Şekil 3.17(b)'ye göre akma deplasmanları, Şekil 3.18(c)'ye göre de göçme deplasmanları belirlenerek, Denklem (3.8)'e göre hesaplanmıştır. Şekil 5.1'de RC7 numunesine ait yük-deplasman eğrisinden akma ve göçme deplasmanlarının belirlenişi gösterilmiştir. Çıktı katmanındaki verilerin değişim

aralıkları, eğitim ve test verisinin normalizasyonlu değerleri sırasıyla Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'de gösterilmiştir.




**Şekil 5.1.** RC7 kolonun yük-deplasman eğrisi

**Tablo 5.3.** Çıkış parametreleri ve değişim aralıkları

| No | Simge | Çıkış Parametreleri | Minimum Değer | Maksimum Değer |
|---|---|---|---|---|
| 1 | M | Moment (kN-m) | 22 | 14500 |
| 2 | V | Kesme (kN) | 14 | 2968 |
| 3 | μ | Süneklik | 1,23 | 14,04 |

**Tablo 5.4.** Eğitim ve test çıkış veri setinin normalizasyonu

| No | $M_{max}$ | $V_{max}$ | μ | Kullanım Amacı |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,016162 | 0,103927 | 0,045277 | Eğitim |
| 2 | 0,010568 | 0,069397 | 0,355972 | Eğitim |
| 3 | 0,014436 | 0,093094 | 0,053084 | Test |
| 4 | 0,016784 | 0,107312 | 0,02498 | Eğitim |
| 5 | 0,014712 | 0,127962 | 0,001561 | Test |
| 6 | 0,014021 | 0,090386 | 0 | Eğitim |
| 7 | 0,02452 | 0,145904 | 0,120219 | Test |
| 8 | 0,026178 | 0,118483 | 0,164715 | Eğitim |
| 9 | 0,024106 | 0,143196 | 0,081967 | Eğitim |
| 10 | 0,020652 | 0,173324 | 0 | Eğitim |
| 11 | 0,023691 | 0,142857 | 0,250585 | Test |

| No | $M_{max}$ | $V_{max}$ | μ | Kullanım Amacı |
|---|---|---|---|---|
| 12 | 0,015955 | 0,102234 | 0,176425 | Eğitim |
| 13 | 0,011189 | 0,073121 | 0,380172 | Eğitim |
| 14 | 0,018304 | 0,114421 | 0,062451 | Eğitim |
| 15 | 0,020583 | 0,10088 | 0,136612 | Test |
| 16 | 0,019823 | 0,166215 | 0,082748 | Eğitim |
| 17 | 0,016853 | 0,143196 | 0,046838 | Test |
| 18 | 0,014228 | 0,09174 | 0,131148 | Eğitim |
| 19 | 0,016853 | 0,107989 | 0,256831 | Test |
| 20 | 0,017268 | 0,110697 | 0,261514 | Eğitim |
| 21 | 0,025694 | 0,15132 | 0,419984 | Eğitim |
| 22 | 0,026937 | 0,160799 | 0,213115 | Eğitim |
| 23 | 0 | 0 | 0,265418 | Eğitim |
| 24 | 0,000138 | 0,007786 | 0,368462 | Test |
| 25 | 0,000138 | 0,007448 | 0,312256 | Eğitim |
| 26 | 0,917116 | 0,431618 | 0,326308 | Eğitim |
| 27 | 1 | 1 | 0,346604 | Eğitim |
| 28 | 0,001934 | 0,015234 | 0,806401 | Test |
| 29 | 0,002832 | 0,019973 | 0,692428 | Eğitim |
| 30 | 0,002417 | 0,006093 | 0,379391 | Test |
| 31 | 0,002003 | 0,016588 | 0,68306 | Eğitim |
| 32 | 0,002901 | 0,021327 | 0,714286 | Test |
| 33 | 0,002072 | 0,005416 | 0,419984 | Eğitim |
| 34 | 0,006424 | 0,020311 | 0,363778 | Test |
| 35 | 0,0067 | 0,021327 | 0,479313 | Eğitim |
| 36 | 0,006769 | 0,022004 | 0,693208 | Test |
| 37 | 0,005871 | 0,01828 | 0,472287 | Eğitim |
| 38 | 0,006354 | 0,02065 | 0,615144 | Test |
| 39 | 0,006285 | 0,020311 | 0,50039 | Eğitim |
| 40 | 0,005595 | 0,01828 | 0,501952 | Test |
| 41 | 0,006009 | 0,019634 | 0,455894 | Eğitim |
| 42 | 0,023691 | 0,128301 | 1 | Test |
| 43 | 0,035571 | 0,191266 | 0,327869 | Eğitim |
| 44 | 0,088272 | 0,09174 | 0,409055 | Test |
| 45 | 0,035088 | 0,176371 | 0,36612 | Eğitim |
| 46 | 0,033085 | 0,167908 | 0,488681 | Eğitim |
| 47 | 0,058572 | 0,301625 | 0,374707 | Eğitim |
| 48 | 0,022241 | 0,131686 | 0,450429 | Eğitim |
| 49 | 0,065824 | 0,319228 | 0,5363 | Test |
| 50 | 0,036055 | 0,029452 | 0,446526 | Eğitim |
| 51 | 0,042616 | 0,037238 | 0,163934 | Test |
| 52 | 0,040682 | 0,034868 | 0,359875 | Eğitim |
| 53 | 0,047382 | 0,086324 | 0,490242 | Test |

| No | $M_{max}$ | $V_{max}$ | μ | Kullanım Amacı |
|---|---|---|---|---|
| 54 | 0,049938 | 0,039269 | 0,342701 | Eğitim |
| 55 | 0,040199 | 0,022343 | 0,552693 | Test |
| 56 | 0,029079 | 0,053487 | 0,693208 | Eğitim |
| 57 | 0,079983 | 0,146919 | 0,348946 | Eğitim |
| 58 | 0,069623 | 0,172986 | 0,671351 | Eğitim |
| 59 | 0,065824 | 0,053487 | 0,700234 | Test |
| 60 | 0,078602 | 0,048409 | 0,505074 | Eğitim |
| 61 | 0,049385 | 0,126269 | 0,286495 | Test |
| 62 | 0,05201 | 0,134394 | 0,380172 | Eğitim |
| 63 | 0,054773 | 0,141842 | 0,506635 | Test |
| 64 | 0,008012 | 0,013879 | 0,629196 | Eğitim |
| 65 | 0,009739 | 0,014218 | 0,313817 | Eğitim |
| 66 | 0,00967 | 0,013879 | 0,189696 | Eğitim |
| 67 | 0,009117 | 0,014557 | 0,334114 | Eğitim |
| 68 | 0,008081 | 0,015234 | 0,624512 | Test |
| 69 | 0,009394 | 0,013879 | 0,191257 | Eğitim |
| 70 | 0,012295 | 0,019296 | 0,705699 | Test |
| 71 | 0,032187 | 0,091063 | 0,255269 | Eğitim |
| 72 | 0,029977 | 0,089709 | 0,307572 | Test |
| 73 | 0,027697 | 0,083277 | 0,334114 | Eğitim |
| 74 | 0,027145 | 0,080569 | 0,448087 | Test |
| 75 | 0,055878 | 0,089032 | 0,248244 | Eğitim |
| 76 | 0,047935 | 0,082938 | 0,361436 | Test |
| 77 | 0,059884 | 0,065335 | 0,357533 | Eğitim |
| 78 | 0,00746 | 0,018957 | 0,418423 | Eğitim |
| 79 | 0,010775 | 0,05281 | 0,370023 | Eğitim |

Eğitim sonucunda YSA'dan elde edilen moment, kesme ve süneklik değerleri normalize edilmiş durumlarıdır. Bu değerleri gerçek değerlerle karşılaştırma yapmak için Denklem (5.2) bağıntısıyla dönüşüm yapılmıştır.

$$x_i = x' \times (x_{\max} - x_{\min}) + x_{\min} \tag{5.2}$$

## 5.2. YSA Mimarilerinin Oluşturulması ve Eğitilmesi

Betonarme fretli kolonların düşey ve yatay yükler altında moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile deplasman sünekliklerinin belirlenebilmesi için kullanılacak olan YSA mimarisinin belirlenmesi ve sonuca optimum sürede ulaşılması çalışmanın doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Bunun için girdi ve çıktı

katmanındaki işlem elemanı sayıları problemin geometrisine bağlı olarak, gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayıları deneme-yanılma yolu ile belirlenerek sonuca ulaşılmıştır. Giriş katmanında nöron sayısı betonun mekanik özelliklerinin içeren 9 adet parametre ile belirlenmiş, çıktı katmanında nöron sayısı ise oluşturulan YSA modelleri arasında farkındalık göstererek dört farklı YSA mimarisi oluşturulmuştur. $YSA_1$ isimli modelin eğitim sonucunda kolonun moment ve kesme kuvveti taşıma kapasitesi ile kesit sünekliği, $YSA_2$ modelinin eğitimi sonucunda moment kapasitesi, $YSA_3$ modelinin eğitimi sonucunda kesme kuvveti taşıma kapasitesi, $YSA_4$ modelinde de kesit sünekliğinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Tüm YSA modellerinin gizli katman sayıları 1'den 3'e, gizli katmandaki nöron sayıları 2'den 50'ye kadar artımsal artırılarak en düşük eğitim ve test hatalarının bulunduğu değerlerde, optimum gizli düğüm ve gizli düğüm hücre sayıları elde edilmiştir. Bu işlemler gerçekleştirilirken momentum, öğrenme katsayısı ve iterasyon değeri sabit tutulmuştur. Gizli katman sayısı ve gizli katman hücre sayıları belirlendikten sonra iterasyon sayısı için öğrenmenin bittiği ve hataların minimum olduğu optimum değerlere kadar değiştirilerek eğitim aşaması tamamlanmıştır.

MATLAB programında eğitim için ağ tipi olarak hatayı geriye yayma özelliği olan ve ağ parametrelerinin ağırlık ve bias değerlerini güncelleyebilen ileri beslemeli geri yayılım algoritmaları kullanılmıştır. Tüm YSA modellerinin eğitimi sırasında kullanılan 12 farklı ağ eğitim fonksiyonları açıklamalarıyla birlikte aşağıda gösterilmiştir.

BFG (Broyden- Fletcher- Goldfarb-Shanno): BFGS quasi-Newton yöntemine göre ağırlık ve bias değerlerini güncelleştiren bir ağ eğitim fonksiyonudur. Hafıza ihtiyacı fazla olmasına rağmen sonuca çabuk ulaşan bir algoritmadır.

BR (Bayesian Regularization) : Levenberg-Marquardt optimizasyonuna göre ağırlık ve bias değerlerini güncelleştiren bir eğitim fonksiyonudur. Ağırlıkların ve hataların karesinin minimize ettikten sonra daha genelleştirilmiş bir ağ oluşturduğu için daha doğru kombinasyonu belirler.

CGB (Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts) : Powell-Beale eşlenik gradyan algoritmasına göre ağırlık ve bias değerlerini güncelleştiren bir eğitim fonksiyonudur. Hafıza ihtiyacı oldukça fazladır. Sonuca hızlı yakınsar.

CGF (Fletcher-Powell Conjugate Gradient ): Fletcher-Reeves eşlenik gradyan geri yayılım algoritmasına göre ağırlık ve bias değerlerini güncelleştiren bir eğitim fonksiyonudur. Hafıza ihtiyacı azdır.

CGP (Polak-Ribiere Conjugate Gradient ): Polak-Ribiere eşlenik gradyan geri yayılım algoritmasına göre ağırlık ve bias değerlerini güncelleştiren bir eğitim fonksiyonudur. Hafıza ihtiyacı fazladır ama bazı problemler için yakınsama hızı etkileyicidir.

GD (Gradient Descent) : Gradient-Descent göre ağırlık ve bias değerlerini güncelleştiren geri yayılım fonksiyonudur.

GDM (Gradient Descent with Momentum) : Momentum kullanan Gradient-Descent göre ağırlık ve bias değerlerini güncelleştiren geri yayılım fonksiyonudur. GD'den hızlıdır. Arttırmalı öğrenme içinde kullanılabilir.

GDX ( Variable Learning Rate Gradient Descent) : Momentumla beraber değişken öğrenme oranını da kullanarak ağırlık ve bias değerlerini güncelleyen bir eğitim fonksiyonudur.

GDA (Gradient Descent with Adaptive Learning) : Adaptif öğrenme oranı ile gradyan inişe göre ağırlık ve bias değerlerini güncelleştiren geri yayılım fonksiyonudur. Yavaş cevap verir ve artırmalı öğrenmede kullanılır.

LM (Levenberg-Marquardt) : Levenberg-Marquardt algoritmasıdır. Öğrenme kümesi çok büyükse hafıza kümesini azaltan bir parametreye sahip olduğu için algoritmalar içinde en hızlısıdır.

OSS (One Step Secent): Tek adım sekant geri yayılım algoritmasıdır. Eşleştirilmeli gradyan metotları ile Quasi-Newton metodunun birleşimi ile oluşturulmuştur.

SCG (Scaled Conjugate Gradient) : Ölçeklendirilmiş eşleştirmeli gradyan geri yayılım algoritmasıdır. Eşleştirmeli gradyan algoritmaları arasında yol haritasına gerek duymayan tek algoritmadır.

### 5.2.1. $YSA_1$ Modeli

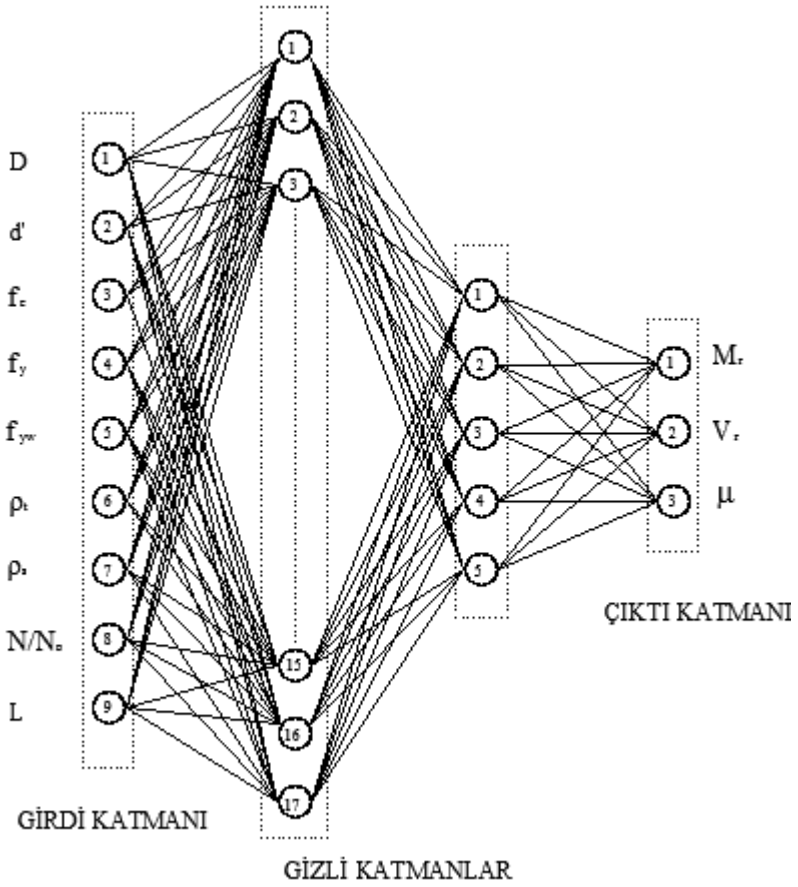
$YSA_1$ modelinin gizli katman sayısı ve gizli katmandaki işlem elemanı sayılarını belirlemek için kullanılan deneme-yanılma yöntemi sırasında öğrenme, momentum ve iterasyon değerleri sabit tutularak ilk önce gizli katman ve gizli katman işlem elemanı sayıları belirlenmiştir. Daha sonra iterasyon sayısı değiştirilerek en düşük eğitim ve test hatasına sahip ağ mimarisi oluşturulmuştur. YSA modellerinin performansları da $R^2$(determinasyon katsayısı) ile değerlendirilmiştir. $YSA_1$ modelinin ağ mimarisi Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

$YSA_1$ modelinin iki adet gizli katmana ve ilk gizli katmanda 17, ikinci gizli katman da 5 adet nöron sayısı ile 100000 iterasyon sonucunda optimum değerler elde edilmiştir. Eğitim sırasında performans fonksiyonu olarak; beklenen değer ile tahmin edilen değer arasındaki hata kareler ortalamasına (MSE), transfer fonksiyonu olarak; gizli katmanlarda geniş girdi aralığını ele alma özelliğine sahip ve değerler arası yumuşak bir geçiş sağlayan sigmoid fonksiyonu, çıktı katmanında purelin fonksiyonu kullanılmıştır. Adaptif öğrenme fonksiyonu olarak; beklenen çıktı ile ağın ürettiği çıktı arasındaki hatanın kareler ortalamasını minimuma indirmeyi amaçlayarak kendini uyarlayan delta kuralı kullanılmıştır.

**Tablo 5.4.** Optimum $YSA_1$ Parametreleri

| **$YSA_1$ Ağ Parametreleri** | **G.K Sayısı** | **G.K Düğüm Sayısı** | **İterasyon Sayısı** | **Öğrenme Süresi (sn)** | **Öğrenme Oranı** | **Momentum Katsayısı** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 17-5 | 100000 | 288 | 10 | 0,01 |

G.K= Gizli Katman




**Şekil 5.2.** $YSA_1$ modelinin ağ mimarisi

### 5.2.2. $YSA_2$ Modeli

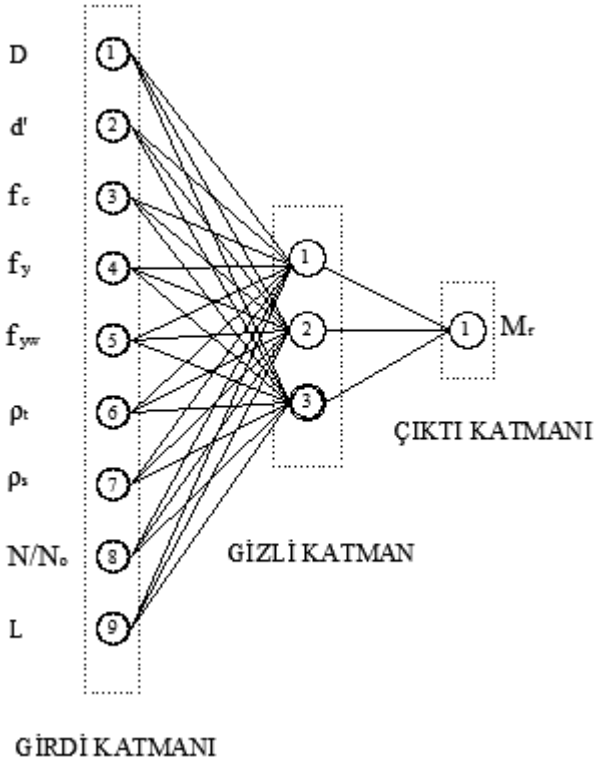
$YSA_2$ modelinin gizli katman sayısı ve gizli katmandaki işlem elemanı sayılarını belirlemek için kullanılan deneme-yanılma yöntemi sırasında öğrenme, momentum ve iterasyon değerleri sabit tutularak ilk önce gizli katman ve gizli katman işlem elemanı sayıları belirlenmiştir. Ağ mimarisi belirlendikten sonra iterasyon sayısı değiştirilerek en düşük eğitim ve test hatasına sahip ağ mimarisi performansı $R^2$ ile değerlendirilmiştir. $YSA_2$ modelinin ağ mimarisi Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

$YSA_2$ modelinde bir adet gizli katman sayısına ve 3 adet gizli katman hücre sayısı ile 5000 iterasyon sonucunda optimum değerler elde edilmiştir. Eğitim sırasında performans fonksiyonu olarak; beklenen değer ile tahmin edilen değer arasındaki hata kareler ortalamasına (MSE), transfer fonksiyonu olarak; gizli katmanında sigmoid fonksiyonu, çıktı katmanında purelin fonksiyonu kullanılmıştır. Adaptif öğrenme fonksiyonu olarak; beklenen çıktı ile ağın ürettiği çıktı arasındaki hatanın kareler ortalamasını minimuma indirmeyi amaçlayarak kendini uyarlayan delta kuralı kullanılmıştır.

**Tablo 5.5.** Optimum $YSA_2$ Parametreleri

| **$YSA_2$ Ağ Parametreleri** | **G.K Sayısı** | **G.K Düğüm Sayısı** | **İterasyon Sayısı** | **Öğrenme Süresi (sn)** | **Öğrenme Oranı** | **Momentum Katsayısı** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 3 | 5000 | 10 | 10 | 0,01 |

G.K= Gizli Katman




**Şekil 5.3.** $YSA_2$ modelinin ağ mimarisi

### 5.2.3. $YSA_3$ Modeli

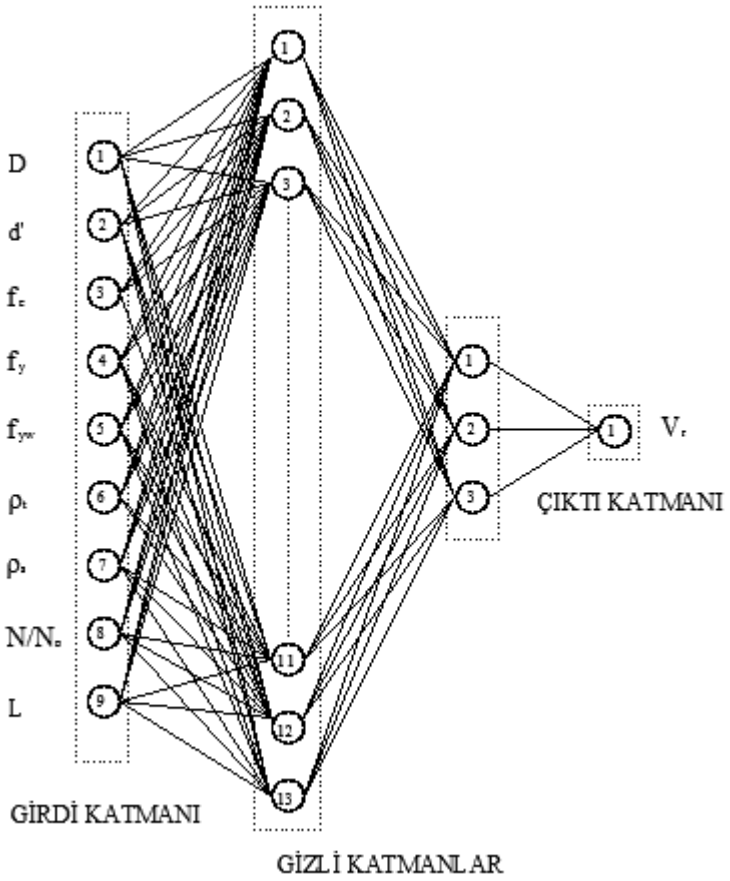
$YSA_3$ modelinin gizli katman sayısı ve gizli katmandaki işlem elemanı sayılarını belirlemek için kullanılan deneme-yanılma yöntemi sırasında öğrenme, momentum ve iterasyon değerleri sabit tutularak ilk önce gizli katman ve gizli katman işlem elemanı sayıları belirlenmiştir. Ağ mimarisi belirlendikten sonra iterasyon sayısı değiştirilerek en düşük eğitim ve test hatasına sahip ağ mimarisi performansı $R^2$ ile değerlendirilmiştir. $YSA_3$ modelinin ağ mimarisi Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

$YSA_3$ modelinde iki adet gizli katman sayısından, ilk gizli katmanda 13, ikinci gizli katmanda 3 hücre sayısı ile 38000 iterasyon sonucunda optimum değerler elde edilmiştir. Eğitim sırasında performans fonksiyonu olarak; beklenen değer ile tahmin edilen değer arasındaki hata kareler ortalamasına (MSE), transfer fonksiyonu olarak; 1. ve 2. gizli katmanda sigmoid fonksiyonu, çıktı katmanında purelin fonksiyonu kullanılmıştır. Adaptif öğrenme fonksiyonu olarak; beklenen çıktı ile ağın ürettiği çıktı arasındaki hatanın kareler ortalamasını minimuma indirmeyi amaçlayarak kendini uyarlayan delta kuralı kullanılmıştır.

**Tablo 5.5.** Optimum $YSA_3$ Parametreleri

| $YSA_3$ Ağ Parametreleri | G.K Sayısı | G.K Düğüm Sayısı | İterasyon Sayısı | Öğrenme Süresi (sn) | Öğrenme Oranı | Momentum Katsayısı |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 | 13-3 | 38000 | 70 | 10 | 0,01 |

G.K= Gizli Katman




**Şekil 5.4.** $YSA_3$ modelinin ağ mimarisi

### 5.2.4. $YSA_4$ Modeli

$YSA_4$ modelinin ağ mimarisi Şekil 5.5'de gösterilmiştir. $YSA_5$ modelinin gizli katman sayısı ve gizli katmandaki işlem elemanı sayıları diğer modellerin kurulmasında anlatılan işlem adımları tekrarlanarak belirlenmiştir ve ağ mimarisi belirlendikten sonra iterasyon sayısı değiştirilerek en düşük eğitim ve test hatasına sahip ağ mimarisi performansı $R^2$ ile değerlendirilmiştir.

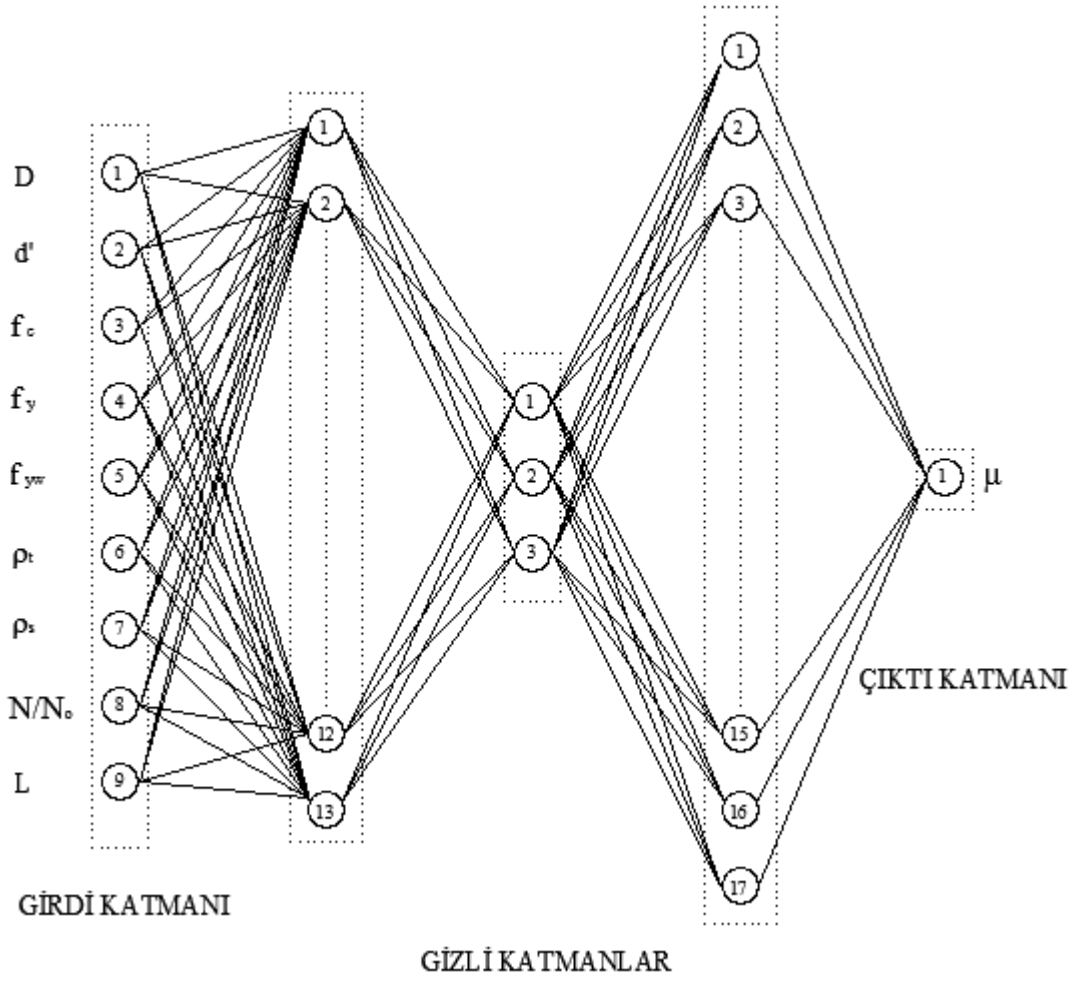
$YSA_4$ modelinde üç adet gizli katman sayısından, ilk gizli katmanda 13, ikinci gizli katmanda 3, üçüncü gizli katmanda 17 adet hücre sayısı ile 5000 iterasyon

sonucunda optimum değerler elde edilmiştir. Eğitim sırasında performans fonksiyonu olarak; beklenen değer ile tahmin edilen değer arasındaki hata kareler ortalamasına (MSE), transfer fonksiyonu olarak; gizli katmanlarda sigmoid fonksiyonu, çıktı katmanında purelin fonksiyonu kullanılmıştır. Adaptif öğrenme fonksiyonu olarak; beklenen çıktı ile ağın ürettiği çıktı arasındaki hatanın kareler ortalamasını minimuma indirmeyi amaçlayarak kendini uyarlayan delta kuralı kullanılmıştır.

**Tablo 5.6.** Optimum $YSA_4$ Parametreleri

| **$YSA_3$ Ağ Parametreleri** | **G.K Sayısı** | **G.K Düğüm Sayısı** | **İterasyon Sayısı** | **Öğrenme Süresi (sn)** | **Öğrenme Oranı** | **Momentum Katsayısı** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | 13-3-17 | 5000 | 15 | 10 | 0,01 |

G.K= Gizli Katman




**Şekil 5.5.** $YSA_4$ modelinin ağ mimarisi

### 5.3. YSA Modellerinin Test Edilmesi ve Sayısal Sonuçlar

Kurulan YSA modellerinin analiz performanslarını değerlendirmek amacıyla kullanılan birçok ölçüt bulunmaktadır. Gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki hata değeri $e(t) = T_{gerçek} - T_{tahmin}$ şeklinde basit hata terimi temel alınarak hesaplanmaktadır (Tuskan, 2012). Her bir değer için elde edilen hata değerlerinin toplamının, veri sayısına bölümünden de ortalama hata değeri elde edilmektedir. Ortalama hata değeri de doğruluk ölçütlerinin temelini, yani standart sapmayı hesaplamak için kullanılmaktadır. Tahmin doğruluğunu ölçmek için literatürde kullanılan birçok ölçüt vardır. Bu çalışmada literatürde en çok kullanılan performans ölçüt değerleri olan:

- Belirlilik Katsayısı ($R^2$),
- Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE),
- Ortalama Mutlak Hata (MAE),
- Ortalama Yüzde Mutlak Hata (MAPE),
- Test Hatası,

değerlerine bakılacaktır.

Belirlilik katsayısı bağımlı değişkenlerin bağımsız değişkenleri ifade etme gücüdür ve oluşturulan modelin gerçeğe en yakın sonucu verip vermediğini değerlendirmek için kullanılır. $R^2$ değerinin artması standart hatanın azaldığını ve bu değerin 1'e yaklaştıkça gözlenen değerlerin regresyon doğrusu etrafında saçıldığını göstermektedir. YSA modellerinin kurulurken seçilen gizli katman ve gizli katmandaki işlem elemanı sayılarının belirlenmesinde, $R^2$ değerinin 1'e yakın olması ve ayrıca eğitim ve test $R^2$ değerlerinin de birbirine yakınlığı dikkate alınarak ağ mimarisinin performansı değerlendirilmiştir (Garip, 2011). Buradan kurulan YSA modelleri uyumunun iyi olup olmadığı hakkında fikir edinilmiştir. Regresyon doğrusunun y=ax+e şeklinde ifade edilen denklemindeki e'de hata terimini ifade etmekte olup gözlem noktalarının ilişkiyi açıklayan doğrudan ne kadar saptığını göstermektedir.

Diğer hata varyansını ifade eden RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası istatistiki değerlerinin de model uyumu için düşük değerde olması gerekmektedir. Lewis (2002), MAPE değerleri %10'un altında olan modelleri "çok iyi", %10 ile %20 arasında olan değerleri "iyi", %20 ile %50 arasında olan modelleri "kabul edilebilir", %50'nin altında olan değerleri "hatalı veya yanlış" olarak gruplamıştır (Turhan 2013). Buradan hareketle

modeller hakkında performans değerlendirilmesi yapılacaktır. Bu ölçütlerin formülleri aşağıda verilmiştir (Yakut, 2014).

$$R^2 = 1 - \left( \frac{Hata \text{ Kareler Toplamı}}{Genel \text{ Kareler Toplamı}} \right) \tag{5.3}$$

$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^{P} (t_i - o_i)^2}{\sum o_i^2 - \frac{(\sum o_i)^2}{P}} \right) \tag{5.4}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{P} (t_i - o_i)^2}{P}} \tag{5.5}$$

$$MAE = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^{P} |t_i - o_i| \tag{5.6}$$

$$MAPE = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^{P} \frac{|t_i - o_i|}{o_i} \times 100 \tag{5.7}$$

$$Test\ Hatası(\%) = \left( \frac{\sum_{i=1}^{P} |t_i - o_i|}{m \times n} \right) \times 100 \tag{5.8}$$

Burada:

- P= Test veri sayısı
- o = Tahmin edilen değeri
- t = Hedeflenen değeri
- m= Test veri sayısı
- n= YSA'nın çıktı katmanındaki eleman sayısını

ifade etmektedir. Sınıflama doğruluğu ise Denklem 5.9'dan elde edilmiştir (Arslan, 2010).

Sınıflama Doğruluğu (%)=100-Test Hatası (5.9)

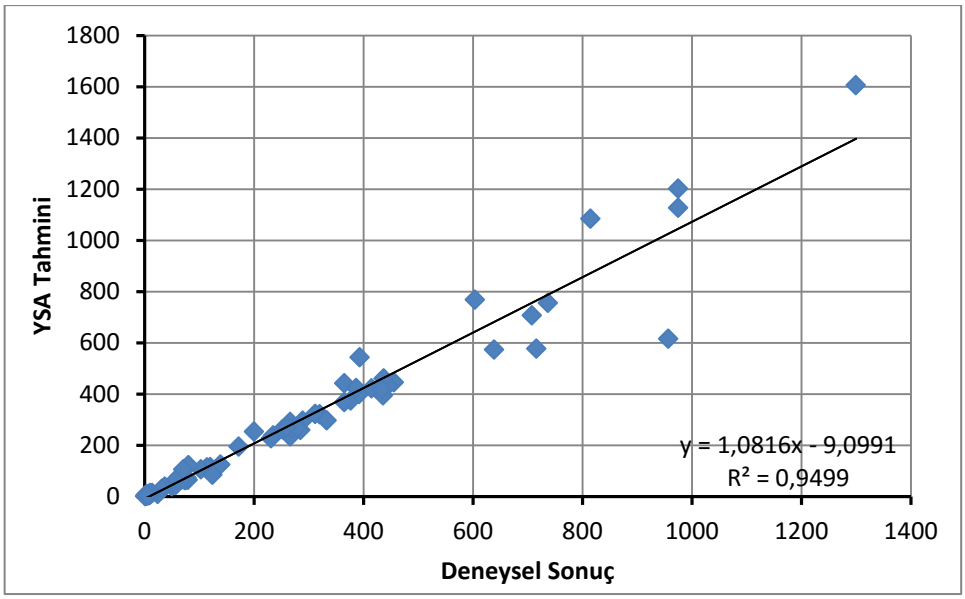
### 5.3.1. $YSA_1$ Modeli Sonuçları

Fretli dairesel kolonların $YSA_1$ modeli ile eğitimi sonucunda elde edilen moment, kesme ve süneklik değerleri, Denklem 5.2'de verilen formül ile denormalizasyon işleminden geçirilerek elde edilen gerçek değerler ve hata yüzdesi Tablo 5.7'de gösterilmiştir. Bu değerler 12 farklı ileri beslemeli geri yayılım algoritmasından en uygun değerler elde edilen (en büyük $R^2$ değerine sahip) SCG

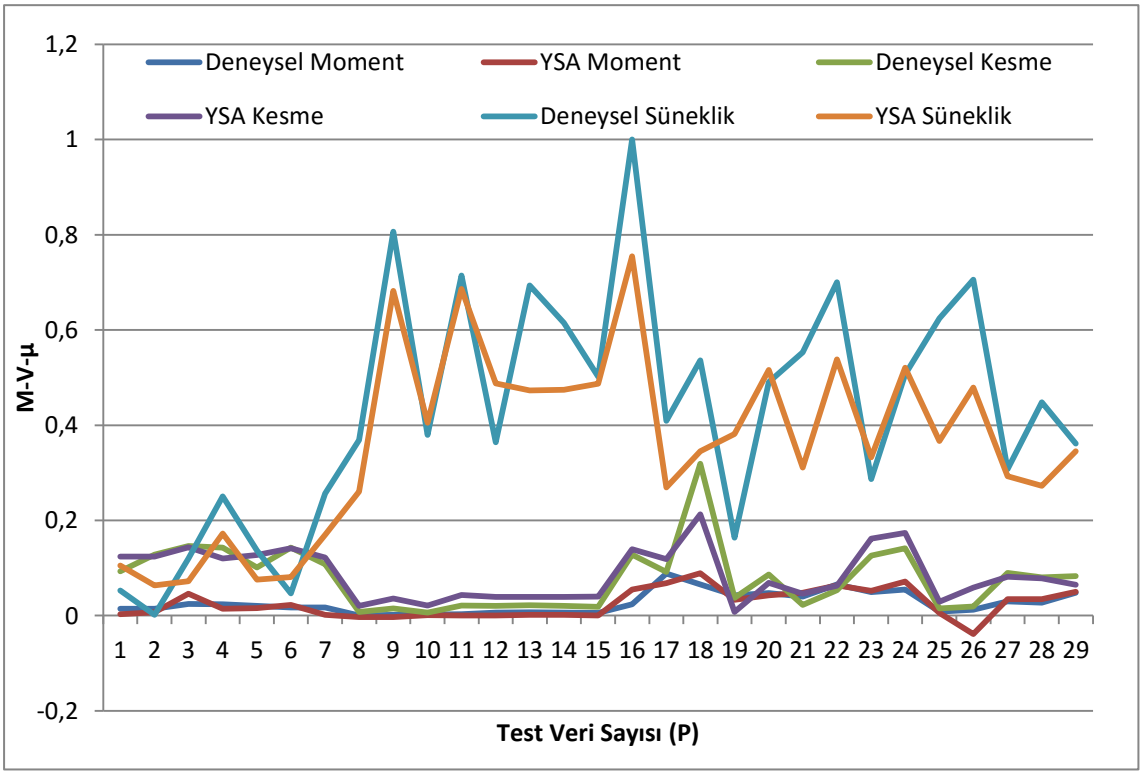
algoritmasının test sonucu değerleridir. Şekil 5.6' da SCG algoritmasının gözlenen ve öngörülen değerlerine ait dağılım diyagramı, Şekil 5.7'de tahmin edilen değerler ile gerçek değerlerin grafiksel gösterimi yer almaktadır. $YSA_1$'in tahmin değerlerinin deneysel sonuçlara oldukça yakın sonuçlar verdiği Tablo 5.7'de görülmektedir.

**Tablo 5.7.** Test veri setinin deneysel sonuçları ile $YSA_1$ modelinin SCG eğitim fonksiyonuna ait tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

| No | Deneysel Sonuç | | | YSA | | | Hata Yüzdesi (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M (kN-m) | V (kN) | μ | M (kN-m) | V (kN) | μ | M | V | μ |
| 3 | 231 | 289 | 1,91 | 226,67 | 295,18 | 3,36 | 1,88 | 2,14 | 76,04 |
| 5 | 235 | 392 | 1,25 | 237,75 | 399,55 | 0,42 | 1,17 | 1,92 | 66,34 |
| 7 | 377 | 445 | 2,77 | 374,39 | 434,28 | 1,90 | 0,69 | 2,41 | 31,41 |
| 11 | 365 | 436 | 4,44 | 367,24 | 394,67 | 4,55 | 0,61 | 9,48 | 2,55 |
| 15 | 320 | 312 | 2,98 | 319,74 | 322,19 | 2,90 | 0,08 | 3,26 | 2,72 |
| 17 | 266 | 437 | 1,83 | 290,30 | 460,62 | 1,53 | 9,13 | 5,40 | 16,38 |
| 19 | 266 | 333 | 4,52 | 233,60 | 297,06 | 5,83 | 12,18 | 10,79 | 28,99 |
| 24 | 24 | 37 | 5,95 | 8,54 | 38,44 | 4,79 | 64,40 | 3,90 | 19,50 |
| 28 | 50 | 59 | 11,56 | 38,52 | 68,07 | 9,98 | 22,96 | 15,37 | 13,63 |
| 30 | 57 | 32 | 6,09 | 44,22 | 28,91 | 6,36 | 22,43 | 9,67 | 4,45 |
| 32 | 64 | 77 | 10,38 | 76,85 | 72,45 | 10,22 | 20,07 | 5,91 | 1,57 |
| 34 | 115 | 74 | 5,89 | 105,03 | 63,19 | 7,37 | 8,67 | 14,61 | 25,17 |
| 36 | 120 | 79 | 10,11 | 114,21 | 63,90 | 7,36 | 4,82 | 19,11 | 27,22 |
| 38 | 114 | 75 | 9,11 | 113,48 | 63,73 | 7,36 | 0,45 | 15,02 | 19,19 |
| 40 | 103 | 68 | 7,66 | 105,22 | 65,75 | 7,35 | 2,16 | 3,31 | 4,08 |
| 42 | 365 | 393 | 14,04 | 441,78 | 542,71 | 13,38 | 21,04 | 38,09 | 4,70 |
| 44 | 1300 | 285 | 6,47 | 1605,59 | 259,42 | 6,35 | 23,51 | 8,98 | 1,80 |
| 49 | 975 | 957 | 8,1 | 1201,65 | 615,40 | 6,10 | 23,25 | 35,69 | 24,66 |
| 51 | 639 | 124 | 3,33 | 572,81 | 84,02 | 6,93 | 10,36 | 32,25 | 108,12 |
| 53 | 708 | 269 | 7,51 | 706,27 | 267,46 | 4,37 | 0,24 | 0,57 | 41,78 |
| 55 | 604 | 80 | 8,31 | 767,30 | 121,87 | 5,87 | 27,04 | 52,34 | 29,34 |
| 59 | 975 | 172 | 10,2 | 1126,74 | 194,51 | 8,28 | 15,56 | 13,09 | 18,78 |
| 61 | 737 | 387 | 4,9 | 755,66 | 422,58 | 4,64 | 2,53 | 9,19 | 5,37 |
| 63 | 815 | 433 | 7,72 | 1084,00 | 417,30 | 5,60 | 33,01 | 3,63 | 27,52 |
| 68 | 139 | 59 | 9,23 | 124,43 | 67,25 | 6,41 | 10,48 | 13,99 | 30,57 |
| 70 | 200 | 71 | 10,27 | 252,49 | 105,94 | 12,55 | 26,24 | 49,22 | 22,21 |
| 72 | 456 | 279 | 5,17 | 445,48 | 267,45 | 5,21 | 2,31 | 4,14 | 0,68 |
| 74 | 415 | 252 | 6,97 | 421,31 | 261,91 | 5,25 | 1,52 | 3,93 | 24,69 |
| 76 | 716 | 259 | 5,86 | 576,53 | 267,63 | 4,16 | 19,48 | 3,33 | 29,05 |
| Ortalama Hata Yüzdesi | | | | | | | 13,3888 | 13,4746 | 24,4312 |
| Test Hatası (%) | | | | | | | | 3,997 | |
| Sınıflama Doğruluğu (100-Test Hatası) | | | | | | | | 96,003 | |




**Şekil 5.6.** $YSA_1$ modelinin SCG eğitim algoritmasına ait dağılım diyagramı




**Şekil 5.7.** $YSA_1$ modelinin SCG eğitim fonksiyonuna ait tahmin değerleri ile gerçek değerlerin grafiksel gösterimi

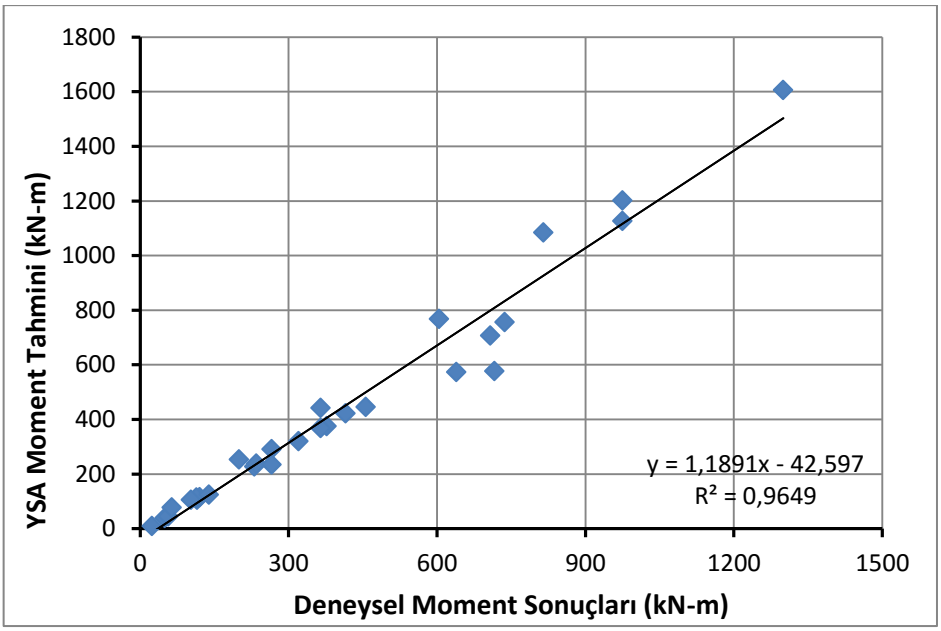
YSA modellerinin performanslarını değerlendirmek için kullanılan $R^2$, RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası sonuçları $YSA_1$ modeli için Tablo 5.8'de gösterilmiştir. Sonuçlara göre, $YSA_1$ modelinin 12 farklı eğitim algoritması için $R^2$ değerleri 0,16 ile

0,9499 arasında elde edilmiştir. $R^2$ değeri en yüksek ve RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası değerleri en düşük olan SCG algoritmasıyla kurulan ağ modelinin fretli kolonların moment, kesme ve kesit sünekliği kapasitelerini elde etmede oluşturulan modeller arasında en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Duyarlılık analizi sonucu $R^2$ değeri %94.99 olarak gerçekleşmesi, toplam değişimin %94.99'u kurulan modelle, yani bağımsız veya bağımlı değişkenler tarafından belirlendiğini, %5.01'in tesadüfen meydana geldiğini veya dikkate alınmayan başka değişkenlerce oluştuğunu göstermektedir. Lewis'in yaptığı gruplandırmaya göre, MAPE değerinin %26.24 olarak bulunması model tahminlerinin kabul edilebilir seviyede olduğunu göstermektedir. Özetle, fretli kolonların moment, kesme ve kesit süneklik kapasitelerini deneysel sonuçlarla elde edilen verilerle, $YSA_1$ modelinden elde edilen tahmin sonuçları Şekil 5.7'de karşılaştırılmış ve YSA'nın %94.99'luk yeterli bir hassasiyetle başarılı olduğu görülmüştür.

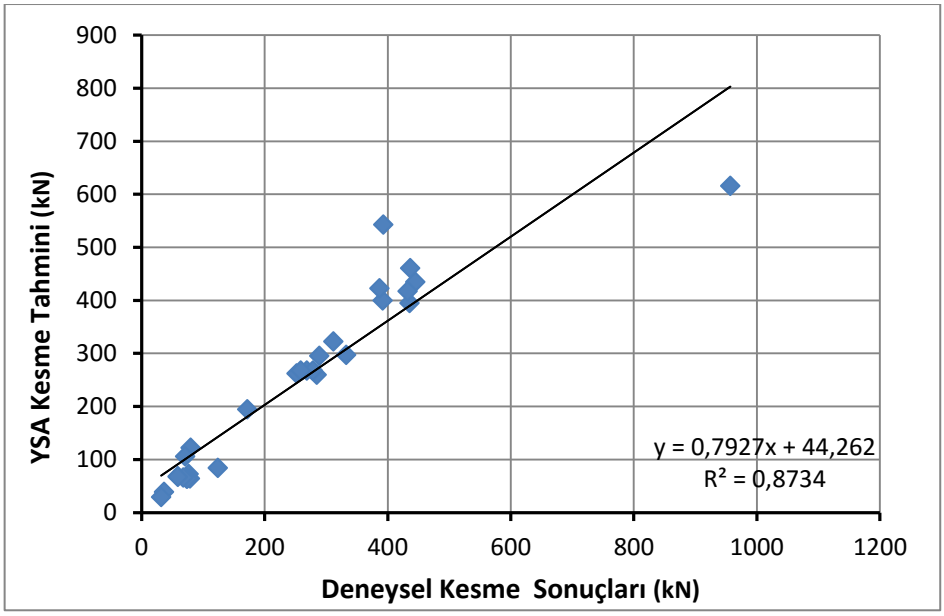
**Tablo 5.8.** $YSA_1$ modelinin analiz sonucunda elde edilen ölçüt değerleri

| **YSA eğitim algoritmaları** | **YSA1 Modeli Sonuçları** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | R2 | RMSE | Test Hatası | MAE | MAPE |
| BFG | 0,56 | 0,1634 | 6,8755 | 0,0688 | 0,4448 |
| BR | 0,62 | 0,1646 | 6,1362 | 0,0614 | 0,397 |
| CGB | 0,76 | 0,1279 | 6,0782 | 0,0608 | 0,3932 |
| CGF | 0,7355 | 0,1316 | 5,2706 | 0,0527 | 0,341 |
| CGP | 0,8339 | 0,0971 | 4,5147 | 0,0451 | 0,2921 |
| GD | 0,8232 | 0,1109 | 6,7409 | 0,0674 | 0,4361 |
| GDM | 0,8235 | 0,1139 | 6,735 | 0,0673 | 0,4357 |
| GDA | 0,9076 | 0,081 | 4,7145 | 0,0471 | 0,305 |
| GDX | 0,8393 | 0,0971 | 4,8004 | 0,048 | 0,3106 |
| LM | 0,1664 | 0,3967 | 12,357 | 0,1236 | 0,7995 |
| OSS | 0,4804 | 0,2789 | 8,4137 | 0,0841 | 0,5443 |
| **SCG** | **0,9499** | **0,0776** | **4,0562** | **0,0406** | **0,2624** |

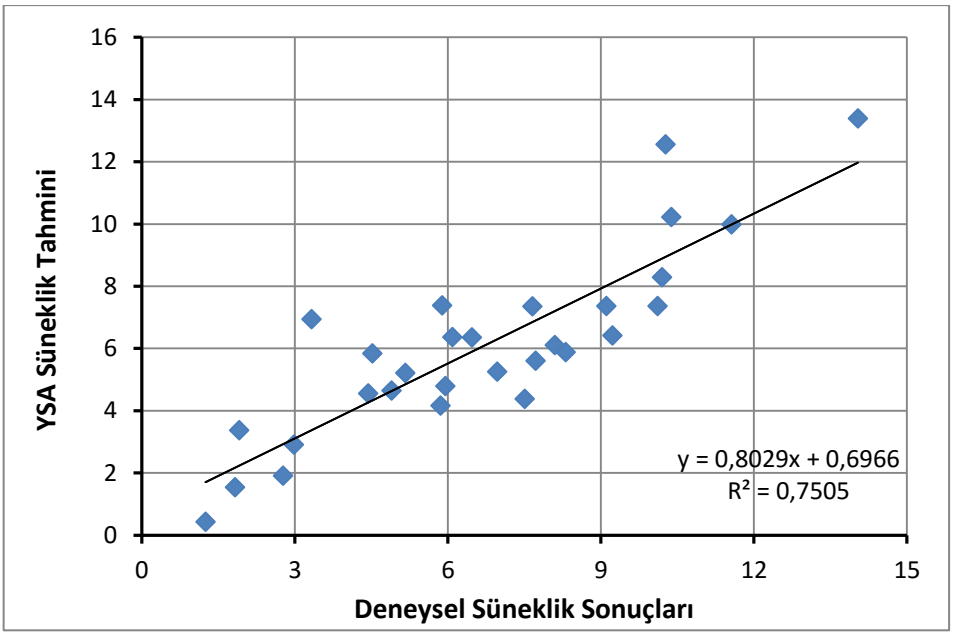
$YSA_1$ modelinin moment, kesme ve süneklik tahmin değerleri dağılım diyagramları Şekil 5.8, Şekil 5.9, Şekil 5.10'da ayrı bir şekilde gösterilmiştir. Bu şekillerden, $YSA_1$ modelinin ağ performansı üzerinde çıkış parametrelerin ayrı ayrı etkisi görülmektedir.




**Şekil 5.8.** $YSA_1$ modelinin moment tahmin değerleriyle deneysel sonuçların karşılaştırılması




**Şekil 5.9.** $YSA_1$ modelinin kesme tahmin değerleriyle deneysel sonuçların karşılaştırılması




**Şekil 5.10.** $YSA_1$ modelinin süneklik tahmin değerleriyle deneysel sonuçların karşılaştırılması

Dağılım diyagramlarından görüldüğü üzere, moment kapasitesi için $R^2$=%96.49, kesme kuvveti taşıma kapasitesi için $R^2$= % 87.34, kesit süneklik kapasitesi için $R^2$= %75.05 olarak gerçekleşmiştir. Test veri seti hazırlanırken kolonların kırılma tipi bakımından bir gruplandırma yapılmadığı ve deneyler sırasında kolonların büyük bir çoğunluğunda hasar eğilmeden dolayı meydana geldiği için YSAı'in moment kapasitesi tahmin değerleri, kesme kuvveti taşıma kapasitesi tahmin değerine göre daha elverişli sonuçlar vermesi doğaldır. Süneklik değerinin diğer iki çıkış parametrenin yakınsama seviyesine ulaşamaması da, akma ve göçme deplasmanlarının belirlenmesinde tercih edilen yöntemin etkisi olabileceği düşünülmektedir.

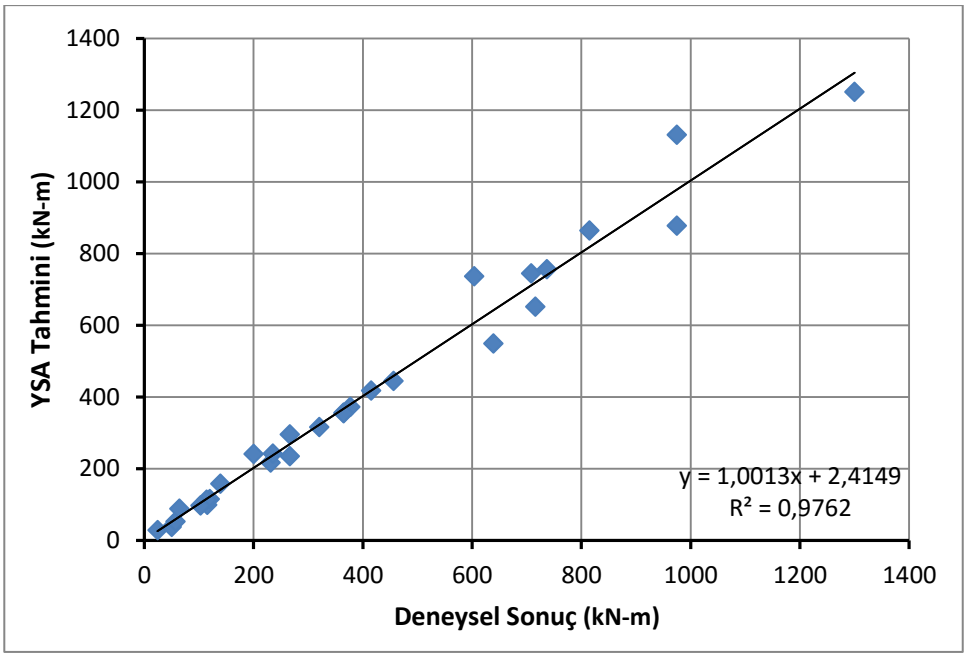
### 5.3.2. $YSA_2$ Modeli Sonuçları

Fretli dairesel kolonların $YSA_2$ modeli ile eğitimi sonucunda elde edilen moment değerleri denormalizasyon işleminden geçirilerek bulunan gerçek değerlerle, hata yüzdesi hesaplamaları Tablo 5.9'da gösterilmiştir. Bu değerler 12 farklı ileri beslemeli geri yayılım algoritmasından en uygun değerler elde edilen (en büyük $R^2$ değerine sahip) SCG algoritmasının test sonucu değerleridir. Şekil 5.11'de SCG algoritmasının gözlenen ve öngörülen değerlerine ait dağılım diyagramı, Şekil 5.12'de tahmin edilen değerler ile gerçek değerlerin grafiksel gösterimi yer almaktadır. Hata yüzdesi değerleri

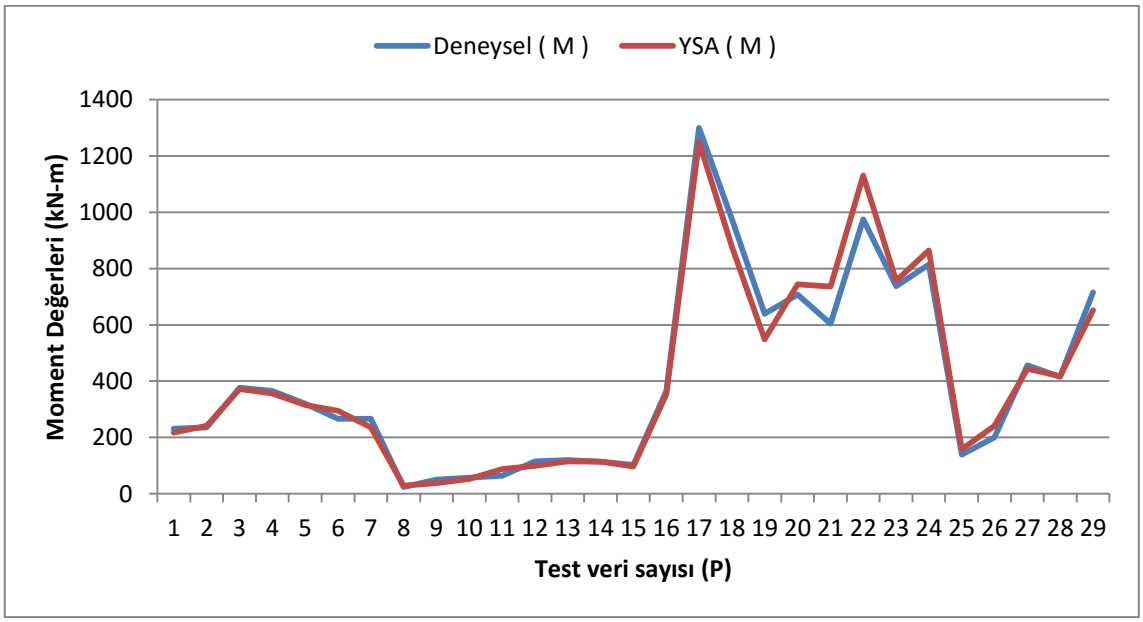
0.55 ile 37.45 arasında değişmekte olup %99.78'lik bir sınıflama doğruluğu oranı elde edilmiştir.

**Tablo 5.9.** Test veri setinin deneysel sonuçları ile $YSA_2$ modelinin SCG eğitim fonksiyonuna ait tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

| No | Deneysel Sonuç | YSA | Hata Yüzdesi (%) |
|---|---|---|---|
| | M (kN-m) | M (kN-m) | |
| 3 | 231 | 216,90 | 6,11 |
| 5 | 235 | 241,42 | 2,73 |
| 7 | 377 | 372,04 | 1,32 |
| 11 | 365 | 355,81 | 2,52 |
| 15 | 320 | 315,39 | 1,44 |
| 17 | 266 | 294,96 | 10,89 |
| 19 | 266 | 235,02 | 11,65 |
| 24 | 24 | 28,37 | 18,22 |
| 28 | 50 | 37,25 | 25,51 |
| 30 | 57 | 52,96 | 7,08 |
| 32 | 64 | 87,96 | **37,45** |
| 34 | 115 | 98,77 | 14,11 |
| 36 | 120 | 114,60 | 4,50 |
| 38 | 114 | 113,37 | **0,55** |
| 40 | 103 | 97,20 | 5,63 |
| 42 | 365 | 354,22 | 2,95 |
| 44 | 1300 | 1249,92 | 3,85 |
| 49 | 975 | 877,55 | 9,99 |
| 51 | 639 | 548,87 | 14,10 |
| 53 | 708 | 743,95 | 5,08 |
| 55 | 604 | 736,32 | 21,91 |
| 59 | 975 | 1130,63 | 15,96 |
| 61 | 737 | 756,27 | 2,61 |
| 63 | 815 | 864,01 | 6,01 |
| 68 | 139 | 158,15 | 13,78 |
| 70 | 200 | 241,15 | 20,58 |
| 72 | 456 | 444,13 | 2,60 |
| 74 | 415 | 417,74 | 0,66 |
| 76 | 716 | 651,88 | 8,95 |
| Ortalama Hata Yüzdesi | | | 9,61 |
| Test Hatası | | | 0,2268 |
| Sınıflama Doğruluğu (100-Test Hatası) | | | 99,7732 |




**Şekil 5.11.** $YSA_2$ modelinin SCG eğitim algoritmasına ait moment dağılım diyagramı




**Şekil 5.12.** $YSA_2$ modelinin SCG eğitim fonksiyonuna ait tahmin değerleri ile gerçek değerlerin grafiksel gösterimi

YSA modellerinin performanslarını değerlendirmek için kullanılan $R^2$, RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası gibi ölçüt parametreleri $YSA_2$ modeli için Tablo 5.10'da gösterilmiştir. Sonuçlara göre, $YSA_2$ modelinin 12 farklı eğitim algoritması için $R^2$ değerleri 0,5033 ile 0,9762 arasında değişmektedir. $R^2$ değeri en yüksek ve RMSE,

MAE, MAPE, Test Hatası değerleri en düşük olan SCG algoritmasıyla kurulan ağ modelinin fretli kolonların moment kapasitelerini tahmin etmek için oluşturulan modeller arasında en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Duyarlılık analizi sonucu $R^2$ değeri %97.62'lik bir hassasiyetle $YSA_2$ modelinin moment kapasitesini öngörmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Lewis'in yaptığı gruplandırmaya göre, MAPE değerinin %29.54 olarak bulunması model tahminlerinin kabul edilebilir seviyede olduğunu göstermektedir. Özetle, fretli kolonların moment kapasitesi deneysel sonuçlar ile tahmin edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür (Şekil 5.12).

**Tablo 5.10.** $YSA_2$ modelinin analiz sonucunda elde edilen ölçüt değerleri

| **YSA eğitim algoritmaları** | **$YSA_2$ Modeli Sonuçları** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | R2 | RMSE | Test Hatası | MAE | MAPE |
| BFG | 0,9585 | 0,0046 | 0,301 | 0,003 | 0,3922 |
| BR | 0,9295 | 0,0071 | 0,3765 | 0,0038 | 0,4905 |
| CGB | 0,5033 | 0,0163 | 1,1232 | 0,0112 | 1,4633 |
| CGF | 0,7449 | 0,013 | 1,0191 | 0,0102 | 1,3276 |
| CGP | 0,8465 | 0,0089 | 0,6544 | 0,0065 | 0,8525 |
| GD | 0,7355 | 0,0132 | 0,9261 | 0,0093 | 1,2066 |
| GDM | 0,6706 | 0,0199 | 1,3473 | 0,0135 | 1,7552 |
| GDA | 0,8494 | 0,0088 | 0,7283 | 0,0073 | 0,9489 |
| GDX | 0,8469 | 0,009 | 0,5523 | 0,0055 | 0,7195 |
| LM | 0,9576 | 0,0047 | 0,2762 | 0,0028 | 0,3598 |
| OSS | 0,8091 | 0,0099 | 0,5685 | 0,0057 | 0,7406 |
| **SCG** | **0,9762** | **0,0035** | **0,2268** | **0,0023** | **0,2954** |

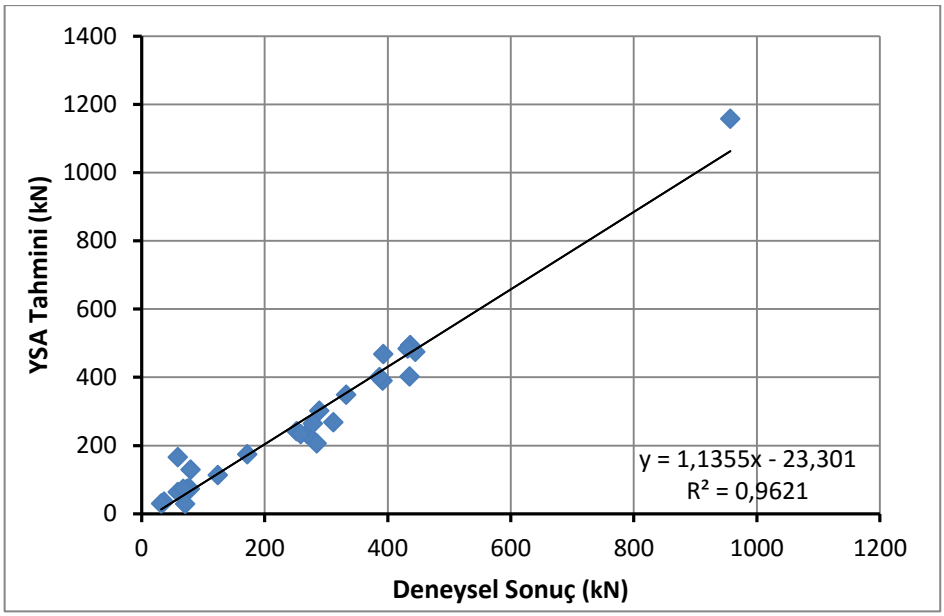
### 5.3.3. $YSA_3$ Modeli Sonuçları

Fretli dairesel kolonların $YSA_3$ modeli ile eğitimi sonucunda elde edilen kesme değerleri denormalizasyon işleminden geçirilerek bulunan gerçek değerlerle, hata yüzdesi hesaplamaları Tablo 5.11'de gösterilmiştir. Bu değerler 12 farklı ileri beslemeli geri yayılım algoritmasından en uygun değerler elde edilen (en büyük $R^2$ değerine sahip) SCG algoritmasının test sonucu değerleridir. Şekil 5.13'de SCG algoritmasının gözlenen ve öngörülen değerlerine ait dağılım diyagramı, Şekil 5.14'de tahmin edilen değerler ile gerçek değerlerin grafiksel gösterimi yer almaktadır. Hata yüzdesi değerleri

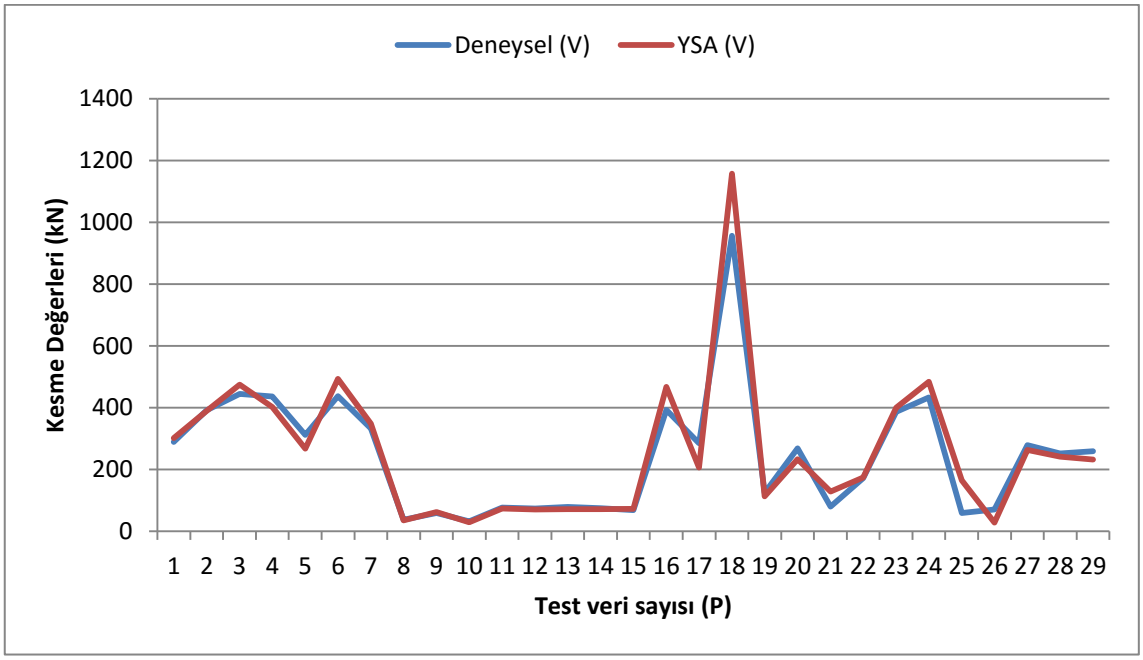
0.63 ile 179.67 arasında değişmekte olup %98.92'lik bir sınıflama doğruluğu oranı elde edilmiştir.

**Tablo 5.11.** Test veri setinin deneysel sonuçları ile $YSA_3$ modelinin SCG eğitim fonksiyonuna ait tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

| **No** | **Deneysel Sonuç** | **YSA** | **Hata Yüzdesi (%)** |
|---|---|---|---|
| | V (kN) | V (kN) | |
| 3 | 289 | 301,68 | 4,39 |
| 5 | 392 | 389,54 | **0,63** |
| 7 | 445 | 474,61 | 6,65 |
| 11 | 436 | 401,71 | 7,86 |
| 15 | 312 | 267,79 | 14,17 |
| 17 | 437 | 493,48 | 12,93 |
| 19 | 333 | 347,89 | 4,47 |
| 24 | 37 | 34,95 | 5,53 |
| 28 | 59 | 62,62 | 6,14 |
| 30 | 32 | 29,14 | 8,93 |
| 32 | 77 | 73,37 | 4,71 |
| 34 | 74 | 71,05 | 3,99 |
| 36 | 79 | 72,09 | 8,74 |
| 38 | 75 | 71,93 | 4,09 |
| 40 | 68 | 72,41 | 6,49 |
| 42 | 393 | 467,95 | 19,07 |
| 44 | 285 | 206,12 | 27,68 |
| 49 | 957 | 1157,28 | 20,93 |
| 51 | 124 | 113,07 | 8,82 |
| 53 | 269 | 233,78 | 13,09 |
| 55 | 80 | 128,72 | 60,90 |
| 59 | 172 | 174,15 | 1,25 |
| 61 | 387 | 400,10 | 3,39 |
| 63 | 433 | 483,64 | 11,69 |
| 68 | 59 | 165,00 | **179,67** |
| 70 | 71 | 28,43 | 59,96 |
| 72 | 279 | 263,73 | 5,47 |
| 74 | 252 | 241,44 | 4,19 |
| 76 | 259 | 232,56 | 10,21 |
| Ortalama Hata Yüzdesi | | | **18,14** |
| Test Hatası | | | **1,0791** |
| Sınıflama Doğruluğu (100-Test Hatası) | | | **98,9209** |




**Şekil 5.13.** $YSA_3$ modelinin SCG eğitim algoritmasına ait kesme değerleri dağılım diyagramı




**Şekil 5.14.** $YSA_3$ modelinin SCG eğitim fonksiyonuna ait tahmin değerleri ile gerçek değerlerin grafiksel gösterimi

YSA modellerinin performanslarını değerlendirmek için kullanılan $R^2$, RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası gibi ölçüt parametreleri $YSA_3$ modeli için Tablo 5.12'da gösterilmiştir. Sonuçlara göre, $YSA_3$ modelinin 12 farklı eğitim algoritması için $R^2$ değerleri 0,2336 ile 0,9621 arasında değişmektedir. $R^2$ değeri en yüksek ve RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası değerleri en düşük olan SCG algoritmasıyla kurulan ağ

modelinin fretli kolonların kesme kapasitelerini tahmin etmek için oluşturulan modeller arasında en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Duyarlılık analizi sonucu $R^2$ değeri %96.21'lik bir hassasiyetle $YSA_3$ modelinin kesme kuvveti taşıma kapasitesini öngörmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Lewis'in yaptığı gruplandırmaya göre, MAPE değerinin %47,95 olarak bulunması model tahminlerinin kabul edilebilir seviyede olduğunu göstermektedir. Özetle, fretli kolonların kesme kuvveti taşıma kapasitesi deneysel sonuçlar ile tahmin edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür (Şekil 5.14).

**Tablo 5.12.** $YSA_3$ modelinin analiz sonucunda elde edilen ölçüt değerleri

| **YSA eğitim algoritmaları** | **YSA3 Modeli Sonuçları** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | R2 | RMSE | Test Hatası | MAE | MAPE |
| BFG | 0,2336 | 0,0658 | 2,7932 | 0,0279 | 1,2208 |
| BR | 0,5614 | 0,0505 | 2,0629 | 0,0206 | 0,9016 |
| CGB | 0,7381 | 0,035 | 1,3454 | 0,0135 | 0,5884 |
| CGF | 0,9403 | 0,0171 | 1,0106 | 0,0101 | 0,4417 |
| CGP | 0,9557 | 0,0143 | 0,8838 | 0,0088 | 0,3863 |
| GD | 0,5603 | 0,0444 | 3,4828 | 0,0348 | 1,5222 |
| GDM | 0,545 | 0,0452 | 3,52 | 0,0352 | 1,5384 |
| GDA | 0,504 | 0,0469 | 2,055 | 0,0205 | 0,8981 |
| GDX | 0,4567 | 0,0492 | 1,9289 | 0,0193 | 0,843 |
| LM | 0,7011 | 0,0473 | 2,5542 | 0,0255 | 1,1163 |
| OSS | 0,8551 | 0,0285 | 1,3489 | 0,0135 | 0,5895 |
| **SCG** | **0,9621** | **0,0178** | **1,0791** | **0,011** | **0,4795** |

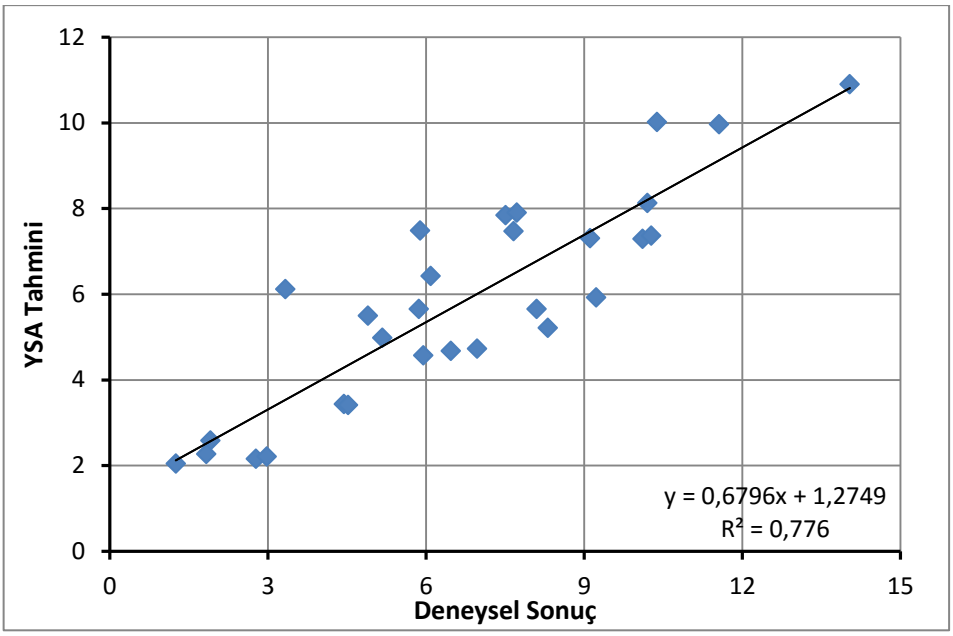
### 5.3.4. $YSA_4$ Modeli Sonuçları

Fretli dairesel kolonların $YSA_4$ modeli ile eğitimi sonucunda elde edilen kesit süneklik değerleri denormalizasyon işleminden geçirilerek bulunan gerçek değerlerle, hata yüzdesi hesaplamaları Tablo 5.13'de gösterilmiştir. Bu değerler 12 farklı ileri beslemeli geri yayılım algoritmasından en uygun değerler elde edilen (en büyük $R^2$ değerine sahip) SCG algoritmasının test sonucu değerleridir. Şekil 5.15'de SCG algoritmasının gözlenen ve öngörülen değerlerine ait dağılım diyagramı, Şekil 5.16'da tahmin edilen değerler ile gerçek değerlerin grafiksel gösterimi yer almaktadır. Hata

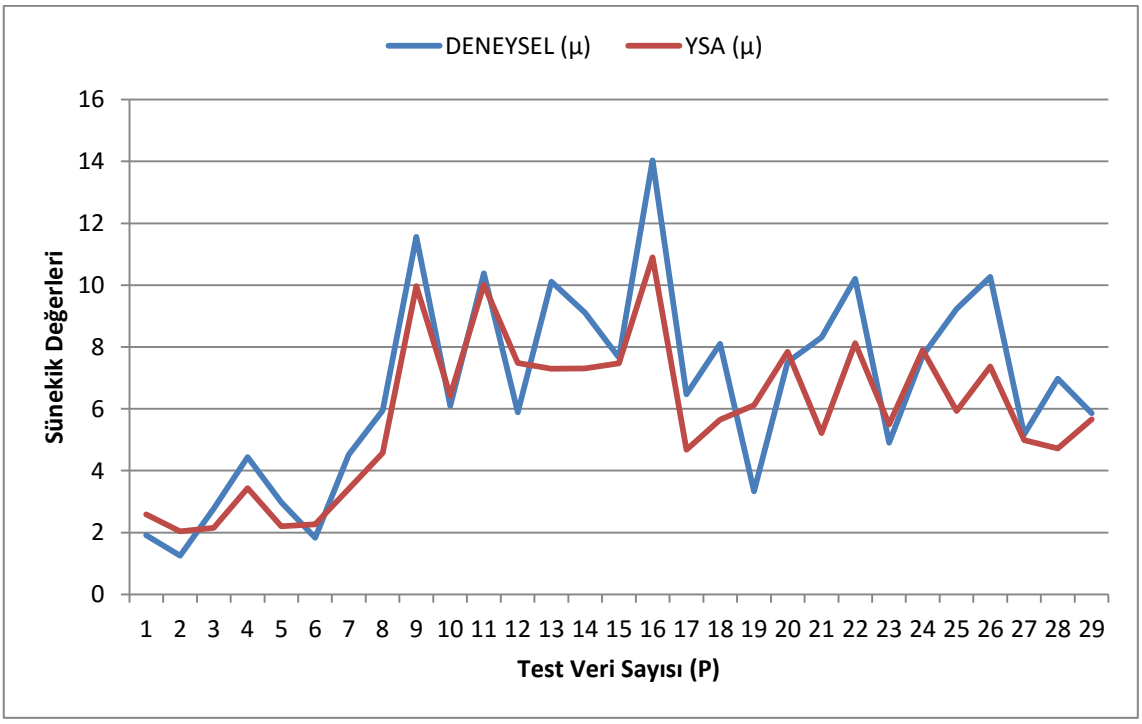
yüzdesi değerleri 2.33 ile 83.71 arasında değişmekte olup %89.023'lük bir sınıflama doğruluğu oranı elde edilmiştir.

**Tablo 5.13.** Test veri setinin deneysel sonuçları ile $YSA_4$ modelinin SCG eğitim fonksiyonuna ait tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

| No | Deneysel Sonuç | YSA | Hata Yüzdesi (%) |
|---|---|---|---|
| | μ | μ | |
| 3 | 1,91 | 2,58 | 35,09 |
| 5 | 1,25 | 2,04 | 63,26 |
| 7 | 2,77 | 2,15 | 22,32 |
| 11 | 4,44 | 3,44 | 22,63 |
| 15 | 2,98 | 2,20 | 26,07 |
| 17 | 1,83 | 2,27 | 23,84 |
| 19 | 4,52 | 3,41 | 24,59 |
| 24 | 5,95 | 4,57 | 23,17 |
| 28 | 11,56 | 9,96 | 13,80 |
| 30 | 6,09 | 6,42 | 5,46 |
| 32 | 10,38 | 10,02 | 3,49 |
| 34 | 5,89 | 7,48 | 27,04 |
| 36 | 10,11 | 7,29 | 27,86 |
| 38 | 9,11 | 7,30 | 19,83 |
| 40 | 7,66 | 7,47 | 2,49 |
| 42 | 14,04 | 10,90 | 22,36 |
| 44 | 6,47 | 4,68 | 27,72 |
| 49 | 8,1 | 5,65 | 30,22 |
| 51 | 3,33 | 6,12 | **83,71** |
| 53 | 7,51 | 7,84 | 4,42 |
| 55 | 8,31 | 5,21 | 37,27 |
| 59 | 10,2 | 8,13 | 20,34 |
| 61 | 4,9 | 5,49 | 12,09 |
| 63 | 7,72 | 7,90 | **2,33** |
| 68 | 9,23 | 5,93 | 35,81 |
| 70 | 10,27 | 7,37 | 28,28 |
| 72 | 5,17 | 4,98 | 3,63 |
| 74 | 6,97 | 4,72 | 32,25 |
| 76 | 5,86 | 5,66 | 3,48 |
| Ortalama Hata Yüzdesi | | | **23,62** |
| Test Hatası | | | **10,977** |
| Sınıflama Doğruluğu (100-Test Hatası) | | | **89,023** |




**Şekil 5.15.** $YSA_4$ modelinin SCG eğitim algoritmasına ait süneklik değerleri dağılım diyagramı




**Şekil 5.16.** $YSA_4$ modelinin SCG eğitim fonksiyonuna ait tahmin değerleri ile gerçek değerlerin grafiksel gösterimi

YSA modellerinin performanslarını değerlendirmek için kullanılan $R^2$, RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası gibi ölçüt parametreleri $YSA_4$ modeli için Tablo 5.14'da gösterilmiştir. Sonuçlara göre, $YSA_4$ modelinin 12 farklı eğitim algoritması için $R^2$

değerleri 0,2338 ile 0,776 arasında değişmektedir. $R^2$ değeri en yüksek ve RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası değerleri en düşük olan SCG algoritmasıyla kurulan ağ modelinin fretli kolonların kesit süneklik kapasitelerini tahmin etmek için oluşturulan modeller arasında en uygun model olduğu tespit edilmiştir. Duyarlılık analizi sonucu $R^2$ değeri %77.6 bir hassasiyetle $YSA_4$ modelinin kesit sünekliğini öngörmede başarılı olduğunu söylenemez. Lewis'in yaptığı gruplandırmaya göre, MAPE değerinin %88.51 olarak bulunması model tahminlerinin hatalı veya yanlış seviyede olduğunu göstermektedir. Özetle, fretli kolonların kesit sünekliği deneysel sonuçlar ile tahmin edilen değerlerin birbirleriyle olan izdüşümlerinin çok yakın olduğu görülememiştir (Şekil 5.16).

**Tablo 5.14.** $YSA_4$ modelinin analiz sonucunda elde edilen ölçüt değerleri

| **YSA eğitim algoritmaları** | **$YSA_4$ Modeli Sonuçları** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | R2 | RMSE | Test Hatası | MAE | MAPE |
| BFG | 0,4302 | 0,2418 | 17,287 | 0,1729 | 1,394 |
| BR | 0,6032 | 0,1822 | 13,169 | 0,1317 | 1,0619 |
| CGB | 0,3551 | 0,274 | 16,954 | 0,1695 | 1,3672 |
| CGF | 0,2338 | 0,2765 | 16,082 | 0,1608 | 1,2968 |
| CGP | 0,6467 | 0,1591 | 12,336 | 0,1234 | 0,9947 |
| GD | 0,3932 | 0,2043 | 14,968 | 0,1497 | 1,207 |
| GDM | 0,0811 | 0,2521 | 19,972 | 0,1997 | 1,6104 |
| GDA | 0,4802 | 0,1928 | 13,475 | 0,1348 | 1,0866 |
| GDX | 0,4739 | 0,1911 | 13,47 | 0,1347 | 1,0862 |
| LM | 0,5123 | 0,1791 | 13,729 | 0,1373 | 1,1071 |
| OSS | 0,5688 | 0,1649 | 13,334 | 0,1333 | 1,0752 |
| **SCG** | **0,776** | **0,1365** | **10,977** | **10,98** | **0,8851** |

## 5.4. Doğrulama Seti

Çalışmanın bu bölümünde, eğitimi ve testi gerçekleştirilen $YSA_1$ ağ modelinin performans doğruluğunu ölçmek amacıyla, literatürden elde edilen 7 adet fretli kolon deneysel elemanı ile bir doğrulama seti oluşturulmuştur (Tablo 5.14). Tablo 5.14'de gösterilen doğrulama setine, Denklem 5.1'de verilen formül ile normalizasyon işlemi uygulandıktan sonra önerilen $YSA_1$ isimli ağ modeli ile test edilerek, fretli dairesel

kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile süneklik değerleri tahmin edilmiştir. Doğrulama setinin tahmin sonuçları, Denklem 5.2'de verilen formül ile denormalizasyon işleminden geçirildikten sonra, elde edilen gerçek değerler ve hata yüzdeleri Tablo 5.15'de gösterilmiştir. Tablo 5.15'de önerilen $YSA_1$ modelinin tahmin sonuç değerleri ile deneysel sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu ve %94.11'lik bir sınıflama doğruluğu ile önerilen ağ modelinin başarısı görülmektedir.

**Tablo 5.14.** Doğrulama setinin giriş parametre değerleri

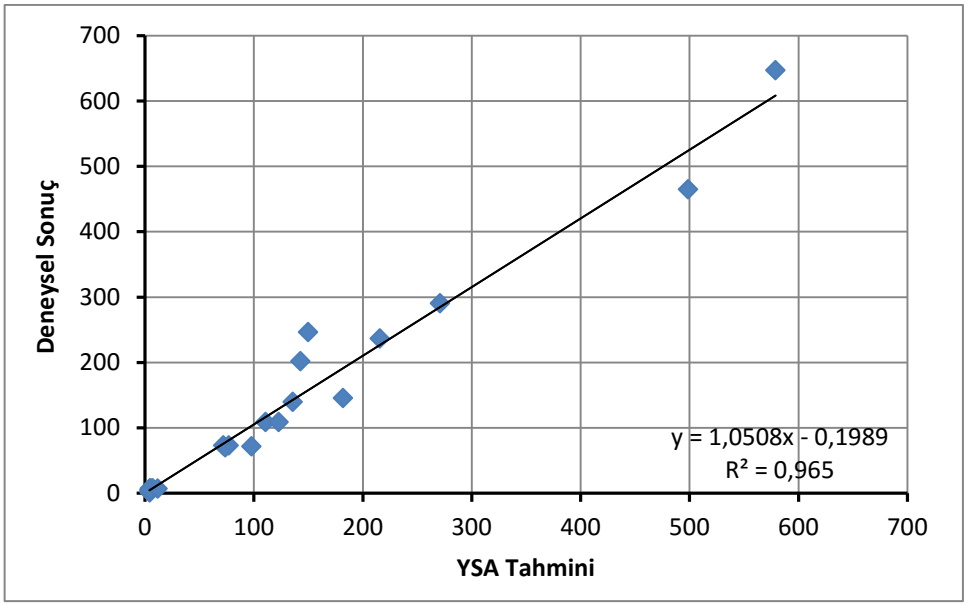
| No | D (mm) | d' (mm) | L (mm) | $f_c$ (MPa) | $f_y$ (MPa) | $\rho_l$ (%) | $f_{yw}$ (MPa) | $\rho_s$ (%) | $P_e/(f'_c*A_g)$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 400 | 20 | 800 | 37 | 475 | 3,2 | 300 | 1,42 | 0,39 |
| 2 | 400 | 18 | 800 | 33,2 | 436 | 3,2 | 326 | 0,38 | 0 |
| 3 | 305 | 14,5 | 1372 | 35,5 | 448 | 2,04 | 434 | 0,94 | 0,09 |
| 4 | 305 | 14,5 | 1372 | 35,5 | 448 | 2,04 | 434 | 0,94 | 0,09 |
| 5 | 406,4 | 15 | 1854,2 | 36,5 | 458,5 | 1,17 | 691,5 | 0,53 | 0 |
| 6 | 406,4 | 10,5 | 1047,7 | 34,7 | 458,5 | 1,37 | 691,5 | 0,1 | 0 |
| 7 | 406,4 | 15 | 1854,2 | 35,6 | 458,5 | 1,17 | 691,5 | 0,53 | 0 |

**Tablo 5.15.** Doğrulama setinin deneysel sonuçları ile $YSA_1$ modeline ait tahmin sonuçlarının karşılaştırılması

| No | Deneysel Sonuç | | | YSA | | | Hata Yüzdesi (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M (kN-m) | V (kN) | μ | M (kN-m) | V (kN) | μ | M | V | μ |
| 1 | 499 | 579 | 6,65 | 464,32 | 646,52 | 5,25 | 6,95 | 11,66 | 21,04 |
| 2 | 216 | 271 | 4,46 | 236,56 | 290,29 | 0,69 | 9,52 | 7,12 | 84,47 |
| 3 | 111 | 72 | 7,08 | 108,64 | 72,81 | 7,37 | 2,13 | 1,13 | 4,09 |
| 4 | 123 | 77 | 4,84 | 108,64 | 72,81 | 7,37 | 11,67 | 5,44 | 52,26 |
| 5 | 136 | 74 | 6,05 | 139,49 | 69,73 | 6,59 | 2,57 | 5,77 | 8,92 |
| 6 | 150 | 143 | 4,24 | 246,18 | 201,68 | 4,74 | 64,12 | 41,04 | 11,76 |
| 7 | 182 | 98 | 11,89 | 145,38 | 71,45 | 6,65 | 20,12 | 27,09 | 44,05 |
| Ortalama Hata Yüzdesi | | | | | | | **16,724** | **14,177** | **32,369** |
| Test Hatası (%) | | | | | | | | **5,89** | |
| Sınıflama Doğruluğu (100-Test Hatası) | | | | | | | | **94,11** | |

$YSA_1$ ağ modelinin test eğitimi sırasında 12 farklı ileri beslemeli geri yayılımlı eğitim algoritması kullanılmış olup, bu algoritmalar içinde ağ performans değeri en yüksek SCG algoritması ile %94.99'luk bir ağ performans başarısı elde edilmişti.

Doğrulama setinde ise önerilen $YSA_1$ ağ modelinin SCG algoritması ile eğitimiyle duyarlılık analizi sonucu $R^2$ değeri %96.5'lik bir hassasiyetle, $YSA_1$ modelinin fretli dairesel kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile sünekliklerini öngörmede başarısı tekrar test edilerek, eğitilen bu algoritma ile fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile deplasman sünekliklerini belirlemede, hızlı ve güvenilir bir şekilde rahatça kullanılabileceği görülmüştür. Şekil 5.17'de doğrulama setinin gözlenen ve öngörülen değerlerine ait dağılım diyagramı yer almaktadır.




**Şekil 5.17.** Doğrulama setinin dağılım diyagramı

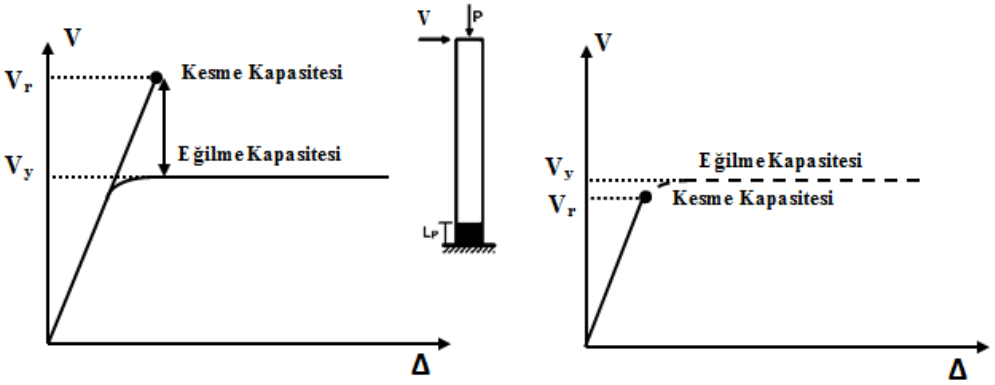
Doğrulama setinde yer alan fretli kolon deney elemanlarının kesme kuvveti taşıma kapasiteleri günümüz betonarme yapım yönetmeliklerinde (ACI-318, TS 500-2000) yer alan teorik yaklaşımlarla Tablo 5.16'da kıyaslanmıştır. Kesme kuvveti taşıma kapasitesi hesabında betonun katkısı hesaplanırken kolonların üzerinde bulunan eksenel yük seviyeleri de dikkate alınmıştır. Deneyler sırasında kolon yük taşıma kapasitesine ulaştığı anda kolonlarda meydana gelen kırılma türleri her bir deney elemanı için tablolarda belirtilmiştir. Deney elemanları içinde sadece 2 nolu deney elemanı kırılma durumuna kesme kapasitesinden dolayı ulaşmış olup, bu kolonun deneysel kesme kuvveti taşıma kapasitesi değerine, geleneksel yöntemler içinden en yakın sonuca 1.072'lik oranla TS 500-2000 yönetmeliği ile elde edilmiştir. Fakat tüm deney elemanlarının kesme kuvveti taşıma kapasitesi oranlarının ortalamasına bakıldığında, 0.55 oranla en kötü sonuç TS 500-2000 ile elde edilirken, önerilen $YSA_1$ modeli ile

1.002'lik bir oranla oldukça başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Tablo 5.16'da 3/4/5/7 nolu deney elemanlarının günümüz betonarme yapım yönetmeliklerinde yer alan teorik yaklaşımlara göre hesaplanan kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile deneysel kesme kuvveti taşıma kapasite değerleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu farkın sebebi olarak, bu deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitelerine teorik yaklaşımlara göre hesaplanan kesme kuvveti taşıma kapasitelerine ulaşamadan eğilmeden dolayı yatay yük taşıma kapasitelerine erişmeleri görülmektedir. Şekil 5.18'de eğilmeden ve kesme kuvvetinden dolayı yatay yük taşıma kapasitelerine erişen kolon numunelerinin yük-deplasman eğrileri gösterilmiştir. Bu eğrilerden de görüldüğü üzere, kolon kesme kuvveti taşıma kapasitesine sahip olduğu halde eğilmeden dolayı yatay yük taşıma kapasitesine ulaştığı için, sünek davranan kesitte yatay yükte bir artış meydana gelmemekte ve sabit bir yatay kuvvet altında yer değiştirme miktarını artırarak yük taşımaya devam etmektedir.

**Tablo 5.16.** Doğrulama setinde yer alan fretli kolonların kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile geleneksel yöntemlerin karşılaştırılması

| **No** | **Kırılma Türü** | **$V_r$ (TS 500-2000)** | **$V_r$ (ACI)** | **$V_{YSA1}$ ($YSA_1$)** | **$V_{EXP}$ (Deneysel)** | **$V_{EXP}$ /$V_{TS}$** | **$V_{EXP}$/$V_{ACI}$** | **$V_{EXP}$/ $V_{YSA1}$** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 472,2844 | 522,54 | 646,5168 | 579 | 1,225956 | 1,108049 | 0,895568 |
| 2 | 2 | 252,6236 | 195,26 | 290,2903 | 271 | 1,072742 | 1,387893 | 0,933548 |
| 3 | 1 | 265,6932 | 228,98 | 72,81301 | 72 | 0,270989 | 0,314438 | 0,988834 |
| 4 | 1 | 265,6932 | 228,98 | 72,81301 | 77 | 0,289808 | 0,336274 | 1,057503 |
| 5 | 1 | 449,2415 | 358,89 | 69,72677 | 74 | 0,164722 | 0,206191 | 1,061285 |
| 6 | 3 | 224,5222 | 170,36 | 201,6801 | 143 | 0,636908 | 0,839399 | 0,709044 |
| 7 | 1 | 447,0308 | 357,35 | 71,45482 | 98 | 0,219224 | 0,274241 | 1,371496 |
| | | | | | **Ortalama** | 0,55433 | 0,638069 | 1,002468 |

Kırılma Türü= 1: Eğilme, 2: Kesme, 3: Kesme+Eğilme




**a)** Kırılma türü eğilme **b)** Kırılma türü kesme

**Şekil 5.18.** Yatay yük altında kolonların yük-deplasman eğrileri

Tablo 5.17'de doğrulama setinde yer alan fretli kolon deney elemanlarının moment taşıma kapasiteleri bakımından günümüz betonarme yapım yönetmeliklerinde yer alan teorik yaklaşımlarla bir kıyaslama yapılmıştır. Yapılan bu kıyaslama neticesinde, doğrulama setinde yer alan fretli kolonların deneysel moment taşıma kapasiteleri sonuçları ile günümüz yönetmeliklerinde yer alan teorik denklemlerle elde edilen moment taşıma kapasitesi oranlarının ortalamasında: en kötü sonuç 1.29 oranla ACI yönetmeliği ile elde edilirken, TS 500-2000 ile 1.13 oran ve 1.00 oranla en yakın sonuç önerilen YSA modeliyle elde edilmiştir. Buradan oluşturulan ağ modelinin günümüz betonarme yönetmeliklerine göre daha uygun ve gerçek verilere oldukça yakın sonuçlar verdiği sonuçların ışığında görülmektedir.

**Tablo 5.17.** Doğrulama setinde yer alan fretli kolonların moment taşıma kapasiteleri ile geleneksel yöntemlerin karşılaştırılması

| No | Kırılma Türü | $M_r$ (TS 500-2000) | $M_r$ (ACI) | $M_{YSA1}$ ($YSA_1$) | $M_{EXP}$ (Deneysel) | $M_{EXP}/M_{TS}$ | $M_{EXP}/M_{ACI}$ | $M_{EXP}/M_{YSA1}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 348,5 | 313,84 | 464,32 | 499 | 1,43 | 1,59 | 1,07 |
| 2 | 2 | 250,2 | 240 | 236,56 | 216 | 0,86 | 0,90 | 0,91 |
| 3 | 1 | 98,8 | 91,74 | 108,64 | 111 | 1,12 | 1,21 | 1,02 |
| 4 | 1 | 98,8 | 91,79 | 108,64 | 123 | 1,24 | 1,34 | 1,13 |
| 5 | 1 | 134,6 | 113,33 | 139,49 | 136 | 1,01 | 1,20 | 0,97 |
| 6 | 3 | 159,1 | 131,58 | 246,18 | 150 | 0,94 | 1,14 | 0,61 |
| 7 | 1 | 138,8 | 112,35 | 145,38 | 182 | 1,31 | 1,62 | 1,25 |
| | | | | | **Ortalama** | 1,13 | 1,29 | 1,00 |

Kırılma Türü= 1: Eğilme, 2: Kesme, 3: Kesme+Eğilme

# 6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, betonarme yapılarda bazı durumlarda tercih sebebi fretli kolonların, yatay ve düşey yükler altında davranışlarına yönelik literatürden elde edilen deneysel veriler sayesinde YSA yaklaşımını kullanarak, kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile deplasman süneklikleri irdelenmiştir. 79 adet deney elemanının 50 tanesi eğitim için kullanılmış, 29 tanesi de test amaçlı olarak YSA tarafından sınanmıştır. Ayrıca YSA başarısını test etmek amacıyla 7 adet fretli kolon deney elemanından oluşan bir doğrulama seti oluşturulmuştur.

Çalışmada ağ mimarisi oluşturulurken girdi katmanında kolon çapı, paspayı, kolon etkili boyu, beton ve donatının mekanik özelliği, boyuna ve enine donatı oranı, eksenel yük düzeyi olarak belirlenmiş ve oluşturulan 4 farklı ağ mimarisi için sabit tutulmuştur. Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki işlem elemanı sayıları çıktı katmanındaki parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Çıktı katmanında ise, $YSA_1$ isimli modelde fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasitesi ile deplasman süneklik değerleri aynı anda tahmin edilirken, diğer 3 mimarinin her birinde, bu üç çıkış parametresinin birinin sonucuna ulaşılmıştır. $YSA_1$ isimli ağ modelinin performansı doğrulama seti sayesinde tekrar test edilmiştir. Aşağıda sonuçları verilen bu tez çalışmasından elde edilen sonuçların gelecek çalışmalara ışık tutması hedeflenmektedir:

- YSA'da oluşturulan modellerin fretli kolonların moment, kesme kuvveti taşıma kapasitesini ve deplasman sünekliğinin tahmini uygun bir yaklaşıklıkla hesaplanabilir ve kapasiteleri belirlenebilir.

- Önerilen ağ mimarileri sayesinde, fretli kolonların hasarsız bir şekilde yani, deneye tabi tutulmadan kolonun moment, kesme kuvveti taşıma kapasitesi ve deplasman sünekliği oldukça kısa bir süre zarfında yeterli hassasiyette belirlenebilir.

- Bu çalışmada modellenen $YSA_1$, $YSA_2$, $YSA_3$, $YSA_4$ ağ mimarilerin sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığı zaman: $YSA_1$, $YSA_2$, $YSA_3$ modeli oldukça uygun sonuçlar üretmekte iken, $YSA_4$ ağ modeli beklenen sonuçların uzağında kalmaktadır.

- $YSA_1$ modelinin 12 farklı eğitim algoritması için $R^2$ değerleri 0,16 ile 0,9499 arasında elde edilmiştir. $R^2$ değeri en yüksek ve RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası değerleri en düşük olan SCG algoritmasıyla kurulan ağ modelinin %94.99'luk bir hassasiyetle fretli kolonların moment, kesme kuvveti taşıma kapasitesi ve deplasman sünekliklerini öngörmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

- $YSA_2$ modelinin 12 farklı eğitim algoritması için $R^2$ değerleri 0,5033 ile 0,9762 arasında değişmektedir. $R^2$ değeri en yüksek ve RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası değerleri en düşük olan SCG algoritmasıyla kurulan ağ modelinin %97.62'lik bir hassasiyetle fretli kolonların moment taşıma kapasitesini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

- $YSA_3$ modelinin 12 farklı eğitim algoritması için $R^2$ değerleri 0,2336 ile 0,9621 arasında değişmektedir. $R^2$ değeri en yüksek ve RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası değerleri en düşük olan SCG algoritmasıyla kurulan ağ modelinin %96.21'lik bir hassasiyetle fretli kolonların kesme kuvveti taşıma kapasitesini yeterli hassasiyette öngörmede oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

- $YSA_4$ modelinin 12 farklı eğitim algoritması için $R^2$ değerleri 0,2338 ile 0,776 arasında değişmektedir. $R^2$ değeri en yüksek ve RMSE, MAE, MAPE, Test Hatası değerleri en düşük olan SCG algoritmasıyla kurulan ağ modelinin %77.6 bir hassasiyetle fretli kolonların deplasman sünekliğini öngörmede başarılı olduğu söylenebilir.

- Oluşturulan doğrulama seti sayesinde, önerilen $YSA_1$ isimli ağ modelinin ağ performansı tekrar test edilmiş ve $YSA_1$ modelinin fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasitesi ile deplasman sünekliği aynı anda öngörme konusundaki elde edilen başarısıyla güvenle kullanılabileceği görülmüştür.

- Oluşturulan doğrulama setinin, önerilen $YSA_1$ isimli modelle testi sonucunda elde edilen moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri, günümüz betonarme yapım yönetmeliklerinde yer alan teorik denklemlerin sonuçlarına göre bir kıyaslama yapılmış ve bu kıyaslama neticesinde önerilen modelin yönetmelik denklemlerine göre daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

- Oluşturulan bu dört farklı modelin ağ mimarisi belirlenirken en uygun gizli katman ve gizli katman işlem elemanı sayısı için somut bir genellemeye ulaşılamamıştır. Çünkü modellerde uygun sonuçları veren mimarilerin ağ yapıları birbirinden farklıdır. Bu yüzden, gizli katman ve bu katmanlardaki nöron sayılarının belirlenebilmesi şu an için deneme-yanılma yöntemiyle mümkündür.

- Ağda çözümü istenen problemler non-lineer özellikte olmasına rağmen uygun sonuçlar elde edilmiştir.

- İterasyon sayısı, toplam karesel hatalar grafiğine bakılarak ağın öğrenmeye devam ettiği süre boyunca, parabol olan doğrunun eğimi sıfır olana kadar, ağ eğitilmeye devam edilmiş ve hatalar yavaşlayıp belli bir değerde sabitlendiği an, bu değerin optimum değer olduğu tespit edilmiştir.

- Eğitim setinden elde edilecek yüksek performans değeri ile fretli kolonların moment ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile kesit süneklik değerlerini tahmin etme konusunda kullanılan YSA tekniğinin başarılı olduğu sonuçlar ışığında görülmektedir.

Çalışmanın ileriye yönelik geliştirilmesine öneriler:

- Veri bankası oluşturulurken kolon numunelerinin kırılma tipleri bakımından bir sınıflandırma yapılması veya her bir kırılma türü için yeteri kadar veri sayısı bulunması ağ performansında daha uygun sonuçlar verebilir.

- Kolonların kesit süneklik değerleri hesaplanırken akma ve göçme deplasmanlarının belirlenmesi için kabul edilen yöntemlerin değiştirilmesi kesit sünekliğinin tahmininde daha elverişli sonuçlar verebilir.

- Ağın eğitimi için kullanılan veri sayısının artırılması öğrenmeyi kolaylaştıracağı için daha uygun sonuçlar elde edilebilir.

- Mevcut verilerin eğitimi için ayrılan kısmı bu tez çalışmasında yaklaşık %60, test için %40 seviyelerindedir. Bu eğitim oranının artırılması yine sonuçlara olumlu katkısı olacağı düşünülmektedir.

**KAYNAKLAR**

Akdoğan S., (2010), "Çelik Moment Birleşimlerinin Kümülatif Plastik Dönme Kapasitelerinin Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Tahmin Edilmesi" Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Deprem Ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı.

Anonim (2015a), http://www.konya.edu.tr/storage/files/department/insaatmuhendisligi/editor /DersSayfalari/Betonarme1/Betonarme%202_Boeluem.pdf

Anonim (2015b), www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/2639.pdf&h=321&w=548&tbni=p5yIeWxSmhvYrM:&docid

Anonim (2015c), http://teknosektor.com/2015/06/03/yapay-sinir-aglari-beyin-simulasyonu/

Anonim, (2015d), http://docplayer.biz.tr/99673-Yildiz-teknik-universitesi-fen-bilimleri-enstitusu-bilgisayar-muhendisligi-bolumu-sekil-tanima-final-projesi-selcuk-basak-08501008.html

Anonim, (2015e), http://teknogezegen.com/yapay-sinir-aglari/

Armutcu M., (1997), "Çelik Çerçevelerin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu'', Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Arslan, A., İnce, R. (1993). "Geriye Yayılma Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Betonarme Kolonların Tasarımı", Turkish Journal of Engineering and Enviromental Sciences, 19 (2), 127-135.

Arslan, M., H., (2010), "An Evualtion Of Effective Design Parameters On Earthquake Performance Of Rc Buildings Using Neural Networks", Engineering Structures, 32 (2010) 1888-1898.

Arslan, M., H., Ceylan, M., Koyuncu T., (2012), "An ANN Aproaches On Estimating Earthquake Performances Of Existing Rc Buıldings", ICS AS CR, Neural Network World 5/12, 443-458.

Baltacıoğlu A. K., Civalek Ö., Akgöz B., Korkmaz A., (2010), "Deprem Hasarlarının Hızlı Tespitinde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı", Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, Cilt:1 Sayı:1 s.22-27.

Bayülke, N., (2001). "Depreme Dayanıklı Betonarme Ve Yığma Yapı Tasarını", İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No:39.

Budak, A., Can, İ. (2005). "Betonarme Kolon Kesitlerinin Hesabı İçin Yapay Sinir Ağları İle Geliştirilen Yeni Formüller", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11 (2), 183-191.

Budak, A., Can, İ. (2008). "Yapay Sinir Ağları İle Tek Eksenli Bileşik Eğilme Altındaki Betonarme Kolon Kesitlerinin Donatı Hesabı", Fırat Üniversitesi, Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20 (1), 135-143, 2008.

Büyükkuşoğlu, Z., (1999), "Mantolama Yöntemi ile Güçlendirilmiş/Onarılmış/ Diriltilmiş Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altında Davranışı", Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Canbay, E., (2008). "Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler", Bizim Büro Basımevi, Ankara.

Ceylan, M., Arslan, M.H., Ceylan, R., Kaltakcı, M.Y., Özbay, Y. (2010), "A New Application Area Of ANN And Anfıs: Determination Of Earthquake Load Reduction Factor Of Prefabricated İndustrial Buildings", Civil Engineering &Environmental Systems, Vol.27, No. 1, March 2010, 53-69.

Civalek, Ö., Çatal, H. H., (2004), "Geriye Yayılma Yapay Sinir Ağı Kullanılarak Elastik Kirişlerin Statik Ve Dinamik Analizi", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:6, Sayı:1, ss. 1-16, Ocak.

Coffman HL, Marsh ML, Brown CB, (1993), "Seismic Durability of Retrofitted Reinforced-Concrete Columns", J. Struct Eng-ASCE, 119, 5, 1643-61.

Consolazıo, G. R., (2000), "Iterative Equation Solver for Bridge Analysis Using Neural Networks" Computer-Aided Civil and İnfrastructure Engineering, ASCE, Vol. 15, pp. 107-119.

Çağlar, N., (2002), "Yapay Sinir Ağları ile Binaların Dinamik Analizi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Çağlar, N., (2009), "Neural Network Based Approach for Determining the Shear Strength of Circular Reinforced Concrete Columns", Construction and Building Materials.

Dere Y., (1997), "Yapı Analizi ve Tasarımında Yapay Sinir Ağları'', Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Doğangün, A., (2014), "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı", Birsen Yayınevi, İstanbul.

El-Bahy A, Kunnath SK, Stone WC, Taylor AW, (1999), "Cumulative seismic damage of circular bridge columns: Benchmark and low-cycle fatigue tests". ACI Struct J, 96, 4, 633-41.

Ersoy, U., (1998), "Betonarme Temel İlkeler TS500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Hesap", Evrim Yayınevi, İstanbul.

Ersoy, U.ve Özcebe, G., (1997), "Fretli Kolonlarda Sargı Etkisi Üzerine Bir İrdeleme", 4. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı Bildiriler Kitabı.

Garip Zehra Ş., (2011), "Yapay Sinir Ağları İle Mevcut Yapıların Deprem Riski Açısından Durum Tespiti", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güllü, H., Pala, M., İyisan, R., (2007), "Yapay Sinir Ağları İle En Büyük Yer İvmesinin Tahmin Edilmesi", Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.

Hamilton CH, Pardoen GC, Kazanjy RP, Hose YD, (2001), "Experimental And Analytical Assessment Of Simple Bridge Structures Subjected To Near-Fault Ground Motions". Structural Engineering, 2, 8.

Hose YD, Seible F, Priestley MJN, (1997), "Strategic Relocation Of Plastic Hinges In Bridge Columns".

Inel, M. (2007), " Modeling Ultimate Deformation Capacity Of Rc Columns Using Artificial Neural Networks", Engineering Structures, 29 (3), 329-335.

Jayalakshmi, T. ve A. Santhakumaran; (2011), "Statistical Normalization and Back Propagation for Classification'', International Journal of Computer Theory and Engineering, 3(1), pp. 1793-8201.

Kim K. S., (2004), "Shear behavior of RC Beams and Prestressed Concrete Beams", Thesis (PhD) University of Illinois at Urbana-Campaign.

Köroğlu, M., A., Ceylan, M., Arslan, M., H., İlki, A., (2012), "Estimation of flexural capacity of quadrilateral FRP-Confined RC columns using combined artificial neural network", Engineering Structures, 42 (2010) 23-32.

Lehman D, Moehle J, Mahin S, Calderone A, Henry L, (2004), "Experimental evaluation of the seismic performance of reinforced concrete bridge columns". J Struct Eng- ASCE, 130, 6, 869-79.

Lewis, C. D. (2002), "Industrial And Business Forecasting Methods", Londro: Butterworths Publishing.

Lim KY, Mclean DI, (1991), "Scale-Model Studies of Moment-Reducing Hinge Details in Bridge Columns". ACI Struct J, 88, 4, 465-74.

National Institute of Standards and Technology (NIST), the University of California, Berkeley.

Özsoy, İ., Fırat, M., (2004), "Kirişsiz Döşemeli Betonarme Bir binada Oluşan Yatay Deplasmanın Yapay Sinir Ağlarıyla Tahmini", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:6, Sayı:1, ss. 51-63, Ocak.

Öztemel, E., (2006), "Yapay Sinir Ağları", Papatya, İstanbul.

Öztürk M., (2013), "Prediction Of Tensile Capacity of Adhesive Anchors İncluding Edge Group Effects Using Neural Networks",De Gruyter, Sci Eng. Compos Mater 2013;20(1):95-104.

Öztürk M., Boğa A.R., ve Topçu İ.B., (2013), "Using ANN and ANFIS to predict the mechanical and chloride permeability properties of concrete containing GGBFS and CNI", Composites: Part B 45 (2013) 688–696.

Park, R. (1988), "Ductility Evaluation From Laboratory And Analytical Testing" , Proceeding of 9th World Conference on Earthquake Engineering – 9WCEE, Tokyo, Japan, 8:605-616.

Priestley MJN, Benzoni G, (1996), "Seismic performance of circular columns with low longitudinal reinforcement ratios". ACI Struct J, 93, 4, 474-85.

Priestley, M.(2000), "Performnce Based on Siesmic Design", Proceeding of 12th World Conference on Earthquake Engineering – 12WCEE, Aucland, New Zeland, paper 2831.

Ranf RT, Nelson JM, Price Z, Eberhard MO, Stanton JF, (2006), "Damage Accumulation in Lightly Confined Reinforced Concrete Bridge Columns".

Richart, F.E., Brandtzaeg, A. and Brown, R.L., (1930). "A Study of the Failure of Concrete Under Combined Compressive Stresses", University of Illinois Eng.Exp.Sta.Bull.

Saatcioglu M, Baingo D, (1999), "Circular high-strength concrete columns under simulated seismic loading". J Struct Eng-Asce, 125, 3, 272-80.

Saatçioğlu, M., (1992), "Strength and ductility of confined concrete", ASCE Structural Engineering. 118, 6, 1590-1607.

Sanad, A. and Saka, M. P., (2001), "Shear Strength of Reinforced-Concrete Deep Beams Using Neural Networks", Journal of Structural Engineering, Vol. 127, No. 7, pp.818- 828.

Şahin M., Shenoi R.A., (2003), "Quantification and localisation of damage in beam-like structures by using artificial neural networks with experimental validation", Engineering Structures.

Şeker S., (2008), "Düzlemsel Çerçeveli Yapı Sistemlerinde Deprem Performanslarının Yapay Sinir Ağı Metodu İle Belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

TDY-2007, (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (Türk Deprem Yönetmeliği)", Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

The Structural Performance Database , Pacific Earthquake Engineering Research Center(PEER), The University of Washington.

Topçu, A. (2015), "Betonarme Sunu Ders Notları", Eskişehir.

TS 500-2000, (2000), "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Turhan C., Gökçen G., Kazanasmaz T., (2013). "Yapay Sinir Ağları İle İzmir'deki çok Katlı Binaların Toplam Enerji Tüketimlerinin Tahmin Edilmesi", Tesisat Mühendisliği-Sayı 134-Nisan 2013.

Tuskan Y., (2012), "Yapay Sinir Ağlarının Geoteknik Alanında Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Ülker, M., Civalek, Ö. (2002), "Yapay Sinir Ağları İle Eksenel Yüklü Kolonların Burkulma Analizi", Turkish Journal of Engineering and Enviromental Sciences, 26 (2), 117-125.

Ülker, M., Civalek, Ö. (2004), "Dikdörtgen Plakların Doğrusal Olmayan Analizinde Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı", İMO Teknik Dergi, 2004 3171-3190, Yazı 213.

Yakut E., Elmas B., Yavuz S., (2014), "Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makineleri Yöntemleriyle Borsa Endeksi Tahmini", Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Y.2014, C.19, S.1, s.139-157.

Yılmaz Ülkü S., M. Yaşar Kaltakcı, (2003), "Eksenel Yük Etkisindeki Çelik Lif Takviyeli Etriyeli Betonarme Kolonların Davranışı", Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, 18, 1, 55-64.

Yuk HC, Priestley MJN, Seible F, (1991), “Seismic Retrofit of Circular Bridge Columns for Enhanced Flexural Performance”, ACI Struct J, 88, 5, 572-84.

# EKLER

## EK-1 Veri Seti

| No | Numune Adı | D (Çap) (mm) | d' (Paspayı) (mm) | L (mm) | fc (MPa) | fy (MPa) | ρl (%) | fyw (MPa) | ρs (%) | Pe/ (f'c*Ag) | Mmax (kN-m) | Vmax (kN) | μ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Ang et al. 1985, No. 1 | 400 | 18,00 | 800 | 37,5 | 436 | 3,20 | 328 | 0,51 | 0,00 | 256 | 321 | 1,81 |
| 2 | Ang et al. 1985, No. 2 | 400 | 18,00 | 800 | 37,2 | 296 | 3,20 | 328 | 0,51 | 0,00 | 175 | 219 | 5,79 |
| 3 | Ang et al. 1985, No. 4 | 400 | 20,00 | 800 | 30,6 | 436 | 3,20 | 316 | 0,51 | 0,00 | 231 | 289 | 1,91 |
| 4 | Ang et al. 1985, No. 5 | 400 | 18,00 | 800 | 31,1 | 436 | 3,20 | 328 | 0,76 | 0,00 | 265 | 331 | 1,55 |
| 5 | Ang et al. 1985, No. 6 | 400 | 18,00 | 600 | 30,1 | 436 | 3,20 | 328 | 0,51 | 0,00 | 235 | 392 | 1,25 |
| 6 | Ang et al. 1985, No. 7 | 400 | 18,00 | 800 | 29,5 | 448 | 3,20 | 372 | 0,38 | 0,00 | 225 | 281 | 1,23 |
| 7 | Ang et al. 1985, No. 8 | 400 | 18,00 | 800 | 28,7 | 448 | 3,20 | 372 | 1,02 | 0,20 | 377 | 445 | 2,77 |
| 8 | Ang et al. 1985, No. 9 | 400 | 18,00 | 1000 | 29,9 | 448 | 3,20 | 372 | 1,02 | 0,20 | 401 | 364 | 3,34 |
| 9 | Ang et al. 1985, No. 10 | 400 | 21,00 | 800 | 31,2 | 448 | 3,20 | 332 | 1,02 | 0,20 | 371 | 437 | 2,28 |
| 10 | Ang et al. 1985, No. 12 | 400 | 18,00 | 600 | 28,6 | 436 | 3,20 | 328 | 1,02 | 0,10 | 321 | 526 | 1,23 |
| 11 | Ang et al. 1985, No. 13 | 400 | 18,00 | 800 | 36,2 | 436 | 3,20 | 326 | 1,02 | 0,10 | 365 | 436 | 4,44 |
| 12 | Ang et al. 1985, No. 14 | 400 | 18,00 | 800 | 33,7 | 424 | 3,24 | 326 | 0,51 | 0,00 | 253 | 316 | 3,49 |
| 13 | Ang et al. 1985, No. 15 | 400 | 18,00 | 800 | 34,8 | 436 | 1,92 | 326 | 0,51 | 0,00 | 184 | 230 | 6,10 |
| 14 | Ang et al. 1985, No. 16 | 400 | 18,00 | 800 | 33,4 | 436 | 3,20 | 326 | 0,51 | 0,10 | 287 | 352 | 2,03 |
| 15 | Ang et al. 1985, No. 17 | 400 | 18,00 | 1000 | 34,3 | 436 | 3,20 | 326 | 0,51 | 0,10 | 320 | 312 | 2,98 |
| 16 | Ang et al. 1985, No. 18 | 400 | 18,00 | 600 | 35,0 | 436 | 3,20 | 326 | 0,51 | 0,10 | 309 | 505 | 2,29 |
| 17 | Ang et al. 1985, No. 19 | 400 | 18,00 | 600 | 34,4 | 436 | 3,20 | 326 | 0,38 | 0,10 | 266 | 437 | 1,83 |
| 18 | Ang et al. 1985, No. 22 | 400 | 20,00 | 800 | 30,9 | 436 | 3,20 | 310 | 0,39 | 0,00 | 228 | 285 | 2,91 |
| 19 | Ang et al. 1985, No. 23 | 400 | 21,00 | 800 | 32,3 | 436 | 3,20 | 332 | 0,76 | 0,00 | 266 | 333 | 4,52 |
| 20 | Ang et al. 1985, No. 24 | 400 | 20,00 | 800 | 33,1 | 436 | 3,20 | 310 | 0,77 | 0,00 | 272 | 341 | 4,58 |
| 21 | Wong et al. 1990, No. 1 | 400 | 20,00 | 800 | 38,0 | 423 | 3,20 | 300 | 1,42 | 0,19 | 394 | 461 | 6,61 |
| 22 | Wong et al. 1990, No. 2 | 400 | 18,00 | 800 | 37,0 | 475 | 3,20 | 340 | 0,47 | 0,39 | 412 | 489 | 3,96 |
| 23 | Wong et al. 1990, No. 3 | 400 | 20,00 | 800 | 37,0 | 475 | 3,20 | 300 | 1,42 | 0,39 | 499 | 579 | 6,65 |
| 24 | Lim et al. 1990, Con1 | 152 | 10,20 | 1140 | 34,5 | 448 | 5,57 | 620 | 1,45 | 0,24 | 22 | 14 | 4,63 |
| 25 | Lim et al. 1990, Con1 | 152 | 10,20 | 570 | 34,5 | 448 | 5,57 | 620 | 1,45 | 0,24 | 24 | 37 | 5,95 |
| 26 | Lim et al. 1990, Con1 | 152 | 10,20 | 570 | 34,5 | 448 | 5,57 | 620 | 1,45 | 0,35 | 24 | 36 | 5,23 |
| 27 | NIST, Full Scale Flexure | 1520 | 58,70 | 9140 | 35,8 | 475 | 1,99 | 493 | 0,63 | 0,07 | 13300 | 1289 | 5,41 |
| 28 | NIST, Full Scale Shear | 1520 | 60,30 | 4570 | 34,3 | 475 | 1,99 | 435 | 1,49 | 0,07 | 14500 | 2968 | 5,67 |
| 29 | NIST, Model N1 | 250 | 9,90 | 750 | 24,1 | 446 | 1,98 | 441 | 1,41 | 0,10 | 50 | 59 | 11,56 |
| 30 | NIST, Model N2 | 250 | 9,90 | 750 | 23,1 | 446 | 1,98 | 441 | 1,41 | 0,21 | 63 | 73 | 10,10 |
| 31 | NIST, Model N3 | 250 | 9,70 | 1500 | 25,4 | 446 | 1,9 | 476 | 0,6 | 0,10 | 57 | 32 | 6,0 |
| 32 | NIST, Model N4 | 250 | 9,90 | 750 | 24,4 | 446 | 1,98 | 441 | 1,41 | 0,10 | 51 | 63 | 9,98 |
| 33 | NIST, Model N5 | 250 | 9,90 | 750 | 24,3 | 446 | 1,98 | 441 | 1,41 | 0,20 | 64 | 77 | 10,38 |
| 34 | NIST, Model N6 | 250 | 9,70 | 1500 | 23,3 | 446 | 1,98 | 476 | 0,68 | 0,11 | 52 | 30 | 6,61 |
| 35 | Kunnath et al. 1997, A2 | 305 | 14,50 | 1372 | 29,0 | 448 | 2,04 | 434 | 0,94 | 0,09 | 115 | 74 | 5,89 |
| 36 | Kunnath et al. 1997, A6 | 305 | 14,50 | 1372 | 35,5 | 448 | 2,04 | 434 | 0,94 | 0,09 | 119 | 77 | 7,37 |
| 37 | Kunnath et al. 1997, A7 | 305 | 14,50 | 1372 | 32,8 | 448 | 2,04 | 434 | 0,94 | 0,09 | 120 | 79 | 10,11 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 38 | Kunnath et al. 1997, A8 | 305 | 14,50 | 1372 | 32,8 | 448 | 2,04 | 434 | 0,94 | 0,09 | 107 | 68 | 7,28 |
| 39 | Kunnath et al. 1997, A9 | 305 | 14,50 | 1372 | 32,5 | 448 | 2,04 | 434 | 0,94 | 0,09 | 114 | 75 | 9,11 |
| 40 | Kunnath et al. 1997, A10 | 305 | 14,50 | 1372 | 27,0 | 448 | 2,04 | 434 | 0,94 | 0,10 | 113 | 74 | 7,64 |
| 41 | Kunnath et al. 1997, A11 | 305 | 14,50 | 1372 | 27,0 | 448 | 2,04 | 434 | 0,94 | 0,10 | 103 | 68 | 7,66 |
| 42 | Kunnath et al. 1997, A12 | 305 | 14,50 | 1372 | 27,0 | 448 | 2,04 | 434 | 0,94 | 0,10 | 109 | 72 | 7,07 |
| 43 | Benzoni & Priestley 1994, NR1 | 610 | 15,88 | 914,5 | 30,0 | 462 | 0,52 | 361 | 0,28 | 0,06 | 365 | 393 | 14,04 |
| 44 | Benzoni & Priestley 1994, NR2 | 610 | 15,88 | 914,5 | 30,0 | 462 | 1,04 | 361 | 0,17 | 0,06 | 537 | 579 | 5,43 |
| 45 | Hose et al., 1997, SRPH1 | 610 | 27,76 | 3660 | 41,1 | 455 | 2,66 | 414 | 0,89 | 0,15 | 1300 | 285 | 6,47 |
| 46 | Vu et al. 1998, NH1 | 457 | 24,76 | 910 | 38,3 | 427,5 | 2,41 | 430,2 | 1,14 | 0,31 | 530 | 535 | 5,92 |
| 47 | Vu et al. 1998, NH2 | 457 | 24,76 | 910 | 39,2 | 427,5 | 2,41 | 430,2 | 1,14 | -0,10 | 254 | 296 | 2,61 |
| 48 | Vu et al. 1998, NH3 | 457 | 24,76 | 910 | 39,4 | 427,5 | 2,41 | 430,2 | 1,14 | 0,15 | 501 | 510 | 7,49 |
| 49 | Vu et al. 1998, NH4 | 457 | 26,35 | 910 | 35,0 | 468,2 | 5,21 | 434,4 | 2,70 | 0,15 | 870 | 905 | 6,03 |
| 50 | Vu et al. 1998, NH5 | 457 | 24,76 | 910 | 35,2 | 507,5 | 2,41 | 448,2 | 0,85 | -0,08 | 344 | 403 | 7,00 |
| 51 | Vu et al. 1998, NH6 | 457 | 26,35 | 910 | 35,0 | 486,2 | 5,21 | 434,4 | 3,04 | 0,33 | 975 | 957 | 8,10 |
| 52 | Kowalsky et al. 1996, FL1 | 457 | 30,16 | 3656 | 36,6 | 477 | 3,62 | 445 | 0,92 | 0,30 | 544 | 101 | 6,95 |
| 53 | Kowalsky et al. 1996, FL2 | 457 | 30,16 | 3656 | 40,0 | 477 | 3,62 | 437 | 0,60 | 0,27 | 639 | 124 | 3,33 |
| 54 | Kowalsky et al. 1996, FL3 | 457 | 30,16 | 3656 | 38,6 | 477 | 3,62 | 445 | 0,92 | 0,28 | 611 | 117 | 5,84 |
| 55 | Lehman et al. 1998, 415 | 609,6 | 22,23 | 2438,4 | 31,0 | 461,965 | 1,49 | 606,76 | 0,70 | 0,07 | 708 | 269 | 7,51 |
| 56 | Lehman et al. 1998, 815 | 609,6 | 22,23 | 4876,8 | 31,0 | 461,965 | 1,49 | 606,76 | 0,70 | 0,07 | 745 | 130 | 5,62 |
| 57 | Lehman et al. 1998, 1015 | 609,6 | 22,23 | 6096 | 31,0 | 461,965 | 1,49 | 606,76 | 0,70 | 0,07 | 604 | 80 | 8,31 |
| 58 | Lehman et al.1998, 407 | 609,6 | 22,23 | 2438,4 | 31,0 | 461,965 | 0,75 | 606,76 | 0,70 | 0,07 | 443 | 172 | 10,11 |
| 59 | Lehman et al. 1998, 430 | 609,6 | 22,23 | 2438,4 | 31,0 | 461,965 | 2,98 | 606,76 | 0,70 | 0,07 | 1180 | 448 | 5,70 |
| 60 | Calderone et al. 2000, 328 | 609,6 | 28,58 | 1828,8 | 34,5 | 441,28 | 2,73 | 606,76 | 0,89 | 0,09 | 1030 | 525 | 9,83 |
| 61 | Calderone et al. 2000, 828 | 609,6 | 28,58 | 4876,8 | 34,5 | 441,28 | 2,73 | 606,76 | 0,89 | 0,09 | 975 | 172 | 10,20 |
| 62 | Calderone et al. 2000,1028 | 609,6 | 28,58 | 6096 | 34,5 | 441,28 | 2,73 | 606,76 | 0,89 | 0,09 | 1160 | 157 | 7,70 |
| 63 | Sritharan et al. 1996, IC1 | 600 | 30,16 | 1800 | 31,4 | 448 | 1,92 | 431 | 0,54 | 0,05 | 737 | 387 | 4,90 |
| 64 | Sritharan et al. 1996, IC2 | 600 | 30,16 | 1800 | 34,6 | 448 | 1,92 | 431 | 0,54 | 0,04 | 775 | 411 | 6,10 |
| 65 | Sritharan et al. 1996, IC3 | 600 | 30,16 | 1800 | 33,0 | 461 | 1,92 | 434 | 0,81 | 0,04 | 815 | 433 | 7,72 |
| 66 | Saatcioglu & Baingo 1999, RC1 | 250 | 13,75 | 1645 | 65,0 | 419 | 3,28 | 1000 | 1,54 | 0,31 | 138 | 55 | 9,29 |
| 67 | Saatcioglu & Baingo 1999, RC2 | 250 | 15,65 | 1645 | 65,0 | 419 | 3,28 | 420 | 3,49 | 0,31 | 132 | 53 | 7,93 |
| 68 | Saatcioglu & Baingo 1999, RC3 | 250 | 13,75 | 1645 | 90,0 | 419 | 3,28 | 1000 | 1,54 | 0,42 | 163 | 56 | 5,25 |
| 69 | Saatcioglu & Baingo 1999, RC4 | 250 | 14,00 | 1645 | 90,0 | 419 | 3,28 | 580 | 1,75 | 0,42 | 162 | 55 | 3,66 |
| 70 | Saatcioglu & Baingo 1999, RC6 | 250 | 15,65 | 1645 | 90,0 | 419 | 3,28 | 420 | 1,74 | 0,42 | 154 | 57 | 5,51 |
| 71 | Saatcioglu & Baingo 1999, RC7 | 250 | 13,75 | 1645 | 90,0 | 419 | 3,28 | 1000 | 1,54 | 0,21 | 139 | 59 | 9,23 |
| 72 | Saatcioglu & Baingo 1999, RC8 | 250 | 13,75 | 1645 | 90,0 | 419 | 3,28 | 1000 | 1,54 | 0,42 | 158 | 55 | 3,68 |
| 73 | Saatcioglu & Baingo 1999, RC9 | 250 | 13,75 | 1645 | 90,0 | 419 | 3,28 | 420 | 3,43 | 0,42 | 200 | 71 | 10,27 |
| 74 | Nelson & Price 2000, Col1 | 508 | 21,31 | 1524 | 56,2 | 470 | 0,99 | 455 | 0,13 | 0,13 | 488 | 283 | 4,50 |
| 75 | Nelson & Price 2000, Col2 | 508 | 21,31 | 1524 | 56,3 | 470 | 0,99 | 455 | 0,13 | 0,11 | 456 | 279 | 5,17 |
| 76 | Nelson & Price 2000, Col3 | 508 | 21,31 | 1524 | 57,0 | 470 | 0,99 | 455 | 0,13 | 0,10 | 423 | 260 | 5,51 |
| 77 | Nelson & Price 2000, Col4 | 508 | 21,31 | 1524 | 52,7 | 470 | 0,99 | 455 | 0,13 | 0,11 | 415 | 252 | 6,97 |
| 78 | Henry 1998, 415p | 609,6 | 22,23 | 2438,4 | 37,2 | 462 | 1,49 | 606,76 | 0,70 | 0,12 | 831 | 277 | 4,41 |
| 79 | Henry 1998, 415s | 609,6 | 22,23 | 2438,4 | 37,2 | 462 | 1,49 | 606,76 | 0,35 | 0,06 | 716 | 259 | 5,86 |

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER


| | | |
|---|---|---|
| **Adı Soyadı** | **:** | Mustafa Koçer |
| **Uyruğu** | **:** | T.C |
| **Doğum Yeri ve Tarihi** | **:** | Konya - 25.07.1987 |
| **Telefon** | **:** | 03322232016 |
| **Faks** | **:** | |
| **e-mail** | **:** | mustafakocer@selcuk.edu.tr |


## EĞİTİM

| **Derece** | | **Adı, İlçe, İl** | **Bitirme Yılı** |
|---|---|---|---|
| Lise | : | Meram 75.Yıl Lisesi, Meram, Konya | **2006** |
| Üniversite | : | Selçuk Üni., Müh.-Mim. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü | **2011** |
| Yüksek Lisans | : | Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü | **Devam Ediyor** |
| Doktora | : | - | - |

## İŞ DENEYİMLERİ

| **Yıl** | **Kurum** | **Görevi** |
|---|---|---|
| 2011 | **Eser Mühendislik** | **Proje Mühendisi** |
| 2012 | **Konya Büyükşehir Belediyesi** | **Kontrol mühendisi** |
| 2012 | **Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi** | **Arş.Gör.** |
| 2013 | **Selçuk Üniversitesi** | **Arş.Gör.** |

## YABANCI DİLLER

**İngilizce**

## YAYINLAR

KOÇER M., ÖZTÜRK M., ARSLAN M.H., “Determination of Moment Capacities of Spiral Columns with Artificial Neural Networks” Journal of Selçuk University Natural and Applied Science, Online ISSN: 2147-3781 (Kabul Edildi).