

**ÇERÇEVE SİSTEMLERDE MOMENT DAĞILIMI-
ATALET MOMENTİ İLİŞKİSİNİN YAPAY SINIR
AĞLARI İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Murat HİÇYILMAZ
Danışman
Yard. Doç. Dr. Yılmaz İÇAĞA
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
Mayıs 2006

T.C.
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇERÇEVE SİSTEMLERDE MOMENT DAĞILIMI- ATALET
MOMENTİ İLİŞKİSİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE İNCELENMESİ

Murat HİÇYILMAZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman
Yard. Doç. Dr. Yılmaz İÇAĞA

AFYON
2006

Murat Hiçyılmaz’ ın yüksek lisans tezi olarak hazırladığı “Çerçeve Sistemlerde Moment Dağılımı-Atalet Momenti İlişkisinin Yapay Sinir Ağları İle İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

. / ... /

Jüri Üyesi : Yard.Doç.Dr. Yılmaz İÇAĞA
(Başkan)

Jüri Üyesi : Yard.Doç.Dr. Ali ERGÜN

Jüri Üyesi : Yard.Doç.Dr. Seydi Vakkas ÜSTÜN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nunGün
vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

ÇERÇEVE SİSTEMLERDE MOMENT DAĞILIMI- ATALET MOMENTİ İLİŞKİSİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE İNCELENMESİ

Murat HİÇYILMAZ
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mayıs 2006

Danışman
Yard. Doç. Dr. Yılmaz İÇAĞA

ÖZET

Son zamanlarda, doğrusal olmayan mühendislik problemlerinin çözümünde, yapay sinir ağları alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. En genel anlamda yapay sinir ağları, mevcut veriler arasında ilişkiler kurarak, daha önceden görmediği problemlere çözüm üretirler.

Bu çalışmada yatay ve düşey yönlerde, tekil ve düzgün yayılı yüklerle yüklenmiş basit çerçeve sistemler ele alınmış ve bazı kritik noktalardaki moment değerleri ölçülmüştür. Daha sonra elemanların atalet momentleri ile moment dağılımları arasında ilişkiler bulunmaya çalışılmıştır. Bu ilişkiler yapay sinir ağında bir kontrol mekanizması olarak kullanılmıştır. Ağ eğitildikten sonra test edilmiş ve hatalar kaydedilmiştir. Bulunan değerler analitik sonuçlara yakın çıkmıştır. Sonuç olarak ağ başarı ile eğitilmiştir denilebilir.

2006, 75

Anahtar sözcükler : Yapay Sinir Ağları, Çerçeve Sistemler, Delta Kuralı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF RELATIONSHIP BETWEEN MOMENT DISTRIBUTION AND INERTIA MOMENT IN FRAME SYSTEMS BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Murat HİÇYILMAZ
Department Of Construction Education

Afyon Kocatepe University, Insituty of Science and Technology
May 2006

Advisor
Yard. Doç. Dr. Yılmaz İÇAĞA

ABSTRACT

In nowadays, artifical neural networks (a.n.n) has been an alternative method to solve the non-linear engineering problems. In the most general meaning, the artifical neural network has been suggesting a solution by finding relationships between the existing datas, which were not perceived before.

In this study, basic frame systems, which were loaded with singular or uniform loads in the horizontal and vertical directions, were analysed and some moment values on critical points were evaluated. Some relations were used to find a connection between inertia-moments and the moments. These relations were used as a control mechanism of the network. After the training the network was tested and errors were recorded. So it has similar results with analitical results. As a result, the network has been trained succesfully.

2006, 75

Keywords: Artifical Neural Networks, Frame Elements, Delta Rule

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın amacı	1
1.2 Çalışmanın kapsamı	1
1.3 Çalışmanın önemi.....	2
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1 Yapay Zeka	3
2.1.1 Yapay Zekanın Kullanım Amaçları	4
2.1.2 Yapay Zeka Teknikleri.....	4
2.2. Biyolojik Sinir Ağları.....	5
3. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)	8
3.1 Yapay Sinir Ağları İle Yapılmış Çalışmalar	8
3.2 Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi	11
3.3 Yapay Sinir Ağlarında Olumlu-Olumsuz Yönler.....	12
3.4 Yapay Sinir Ağlarını Oluşturan Temel Elemanlar.....	14
3.4.1 Girdiler.....	14
3.4.2 Ağırlıklar	14
3.4.3. Toplama fonksiyonu.....	14
3.4.4. Aktivasyon fonksiyonu	15
3.4.5 Çıktılar.....	16
3.5 Yapay sinir ağlarında katmanlar	17
3.6 Yapay sinir ağlarında öğrenme prensipleri.	18
3.6.1 Denetimlerine göre öğrenme şekilleri.....	18
3.6.1.1 Denetimli öğrenme.....	18
3.6.1.2 Yarı denetimli öğrenme.....	19
3.6.1.3 Denetimsiz öğrenme.....	19

3.7 Başlıca öğrenme kuraları.....	20
3.7.1 Hebb Kuralı	20
3.7.2 Hopfield Kuralı	20
3.7.3 Kohonen Kuralı	20
3.7.4. Delta Kuralı	20
3.8 Çok katmalı algılayıcılar	21
4. ÇALIŞMADA KULLANILAN YSA HAKKINDA AÇIKLAMA	22
4.1 Ağ yapısı ve Delta öğrenme kuralı.....	24
5. ANALİZ VE HESAPLAMALAR	27
5.1 Giriş.....	27
5.2 Sabit Tekil Yük Altında Moment Dağılımını-Atalet Momenti	
İlişkisinin araştırılması	28
5.2.1 Tekil Yükün Çubuk Ortasında Olması Durumu ($X_1=X_2$)	28
5.2.1.1 YSA İle Uygulama 1	34
5.2.2 Tekil Yükün Çubuk Üzerinde $L/4'$ te Olması Durumu	37
5.2.2.1 YSA İle Uygulama 2	44
5.2.3 Tekil Yükün Yatay Etkimesi Durumu (Sol Köşeden)	47
5.2.3.1 YSA İle Uygulama 3.....	51
5.3 Yayılı Yük Altında Moment Dağılımının Atalet Momentiyle	
İlişkisinin araştırılması	54
5.3.1 Basit Çerçeve de Yayılı Yük Durumu (1).....	54
5.3.1.1 YSA İle Uygulama 4	56
5.3.2 Basit Çerçeve de Yayılı Yük Durumu (2).....	60
5.3.2.1 YSA İle Uygulama 5	62
6. DEĞERLENDİRME	67
7. SONUÇLAR	69
8. KAYNAKLAR.....	71
TEŞEKKÜR	74
ÖZGEÇMİŞ	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simge	Açıklama
b	eşik değeri
c_i	ağın gerçek çıktısı
e	hata terimi
E	ortalama karesel hata
I_{ij}	i-j elemanın atalet momenti
L_{ij}	i-j elemanın uzunluğu
M_{ij}	i-j elemanın inoktasındaki moment değeri
P	sabit tekil yük
s	toplama fonksiyonu
u_i	i. girdi değeri
w_i	ilgili nöronlar arası ağırlık değeri
x_i	beklenen çıktı değeri
$\psi(s)$	aktivasyon fonksiyonu
Δw_{ij}	ağırlık değişim miktarı
η	öğrenme katsayısı
δ_j	j. nörona ait yerel hata eğimi
α	momentum katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞekilNo</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Doğal bir nöronun yapısı..... 7
Şekil 3.1	Kullanılan bazı önemli sigmoid fonksiyonları..... 16
Şekil 3.2	Yapay sinir ağlarında katmanlar..... 17
Şekil 4.1	Programın Akış Şeması..... 23
Şekil 4.2	Nöronun Matematiksel Modeli..... 24
Şekil 5.1	P tekil yükü konumu..... 28
Şekil 5.2	M_{23} , M_{ac} , M_{32} için moment - atalet momenti ilişkisi..... 29
Şekil 5.3	M_{23} , M_{ac} , M_{32} için moment - atalet momenti ilişkisi..... 30
Şekil 5.4	M_{ac} / M_{23} için moment - atalet momenti oranı..... 32
Şekil 5.5	M_{ac} / M_{23} için moment - atalet momenti oranı..... 33
Şekil 5.6	P tekil yükü konumu..... 34
Şekil 5.7	Eğitim seti için iterasyon adedine bağlı toplam karesel hata değişimi..... 35
Şekil 5.8	P tekil yükü konumu (L / 4 için) 37
Şekil 5.9	M_{ac} / M_{23} için moment - atalet momenti oranı..... 42
Şekil 5.10	M_{ac} / M_{23} için moment - atalet momenti oranı..... 43
Şekil 5.11	P tekil yük konumu..... 44
Şekil 5.12	Eğitim seti için iterasyon adedine bağlı toplam karesel hata değişimi..... 46
Şekil 5.13	P tekil yükü konumu (yatay yükleme için) 47
Şekil 5.14	M_{12} / M_{43} için moment - atalet momenti oranı..... 50
Şekil 5.15	P tekil yükü konumu (yatay yükleme için) 51
Şekil 5.16	Eğitim seti için iterasyon adedine bağlı toplam karesel hata değişimi..... 53
Şekil 5.17	Çerçeve Sistemde Yayılı yükleme durumu..... 54
Şekil 5.18	M_2 / M_3 için moment - atalet momenti oranı..... 56
Şekil 5.19	Çerçeve Sistemde Yayılı yükleme durumu..... 56
Şekil 5.20	Eğitim seti için iterasyon adedine bağlı toplam karesel hata değişimi..... 58
Şekil 5.21	Çerçeve sistemde yayılı yükleme durumu..... 60
Şekil 5.22	M_1 / M_2 için moment - atalet momenti oranı..... 61
Şekil 5.23	Çerçeve Sistemde Yayılı Yükleme Durumu..... 62
Şekil 5.24	Eğitim seti için iterasyon adedine bağlı toplam karesel hata değişimi..... 64

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo No</u>		<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.	L=4 m için I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum	29
Tablo 2.	L= 4 m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum.....	30
Tablo 3.	I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum için oranlar.....	32
Tablo 4.	I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum için oranlar.....	33
Tablo 5.	Uygulama 1 için eğitim seti.....	35
Tablo 6.	Uygulama 1 için test seti.....	35
Tablo 7.	Eğitim seti verileri için iterasyon adedine bağlı hata değerleri.....	36
Tablo 8.	10000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 2 için hata yüzdeleri.....	36
Tablo 9.	10000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 6 için hata yüzdeleri.....	37
Tablo 10.	10000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 10 için hata yüzdeleri.....	37
Tablo 11.	Gizli katman nöron adedine bağlı toplam hata yüzdeleri.....	37
Tablo 12.	L=3 m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum.....	38
Tablo 13.	L=3 m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum.....	39
Tablo 14.	L=4 m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum.....	39
Tablo 15.	L=4 m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum.....	39
Tablo 16.	L=5 m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum.....	40
Tablo 17.	L=5 m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum.....	40
Tablo 18.	I_{12} değişken, I_{23} ve I_{34} sabit durum için m/L oranları.....	41
Tablo 19.	I_{23} değişken, I_{12} ve I_{34} sabit durum için m/L oranları.....	41
Tablo20.	I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum için oranlar.....	42
Tablo 21.	I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum için oranlar.....	43
Tablo 22.	Uygulama 2 için eğitim seti.....	44
Tablo 23.	Uygulama 2 için test seti.....	45
Tablo 24.	Eğitim seti verileri için iterasyon adedine bağlı hata değerleri.....	45
Tablo 25.	12000 iterasyon ve gizli katman nöron ad. 2 için hata yüzdeleri.....	46
Tablo 26.	12000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 6 için hata yüzdeleri.....	46
Tablo 27.	12000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 10 için hata yüzdeleri.....	47
Tablo 28.	Gizli katman nöron adedine bağlı toplam hata yüzdeleri.....	47

Tablo 29.	$L=3$ m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum.....	48
Tablo 30.	$L=3$ m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum.....	48
Tablo 31.	$L=4$ m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum.....	48
Tablo 32.	$L=4$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum.....	49
Tablo 33.	$L=5$ m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum.....	49
Tablo 34.	$L=5$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum.....	49
Tablo 35.	$L=4$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum.....	50
Tablo 36.	Uygulama 3 için eğitim seti.....	51
Tablo 37.	Uygulama 3 için test seti.....	52
Tablo 38.	Eğitim seti verileri için iterasyon adedine bağlı hata değerleri.....	52
Tablo 39.	2000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 2 için hata yüzdeleri.....	53
Tablo 40.	2000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 6 için hata yüzdeleri.....	53
Tablo 41.	2000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 10 için hata yüzdeleri.....	54
Tablo 42.	Gizli katman nöron adedine bağlı toplam hata yüzdeleri.....	54
Tablo 43.	$L=4$ m için I_2 değişken I_3 sabit durum.....	55
Tablo 44.	$L=4$ m için I_3 değişken I_2 sabit durum.....	55
Tablo 45.	Uygulama 4 için eğitim seti.....	57
Tablo 46.	Uygulama 4 için test seti.....	57
Tablo 47.	Eğitim seti verileri için iterasyon adedine bağlı hata değerleri.....	58
Tablo 48.	5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 2 için hata yüzdeleri.....	59
Tablo 49.	5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 6 için hata yüzdeleri.....	59
Tablo 50.	5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 10 için hata yüzdeleri.....	59
Tablo 51.	Gizli katman nöron adedine bağlı toplam hata yüzdeleri.....	60
Tablo 52.	$L=4$ m için I_1 değişken I_2 sabit durum.....	61
Tablo 53.	$L=4$ m için I_2 değişken I_1 sabit durum.....	62
Tablo 54.	Uygulama 5 için eğitim seti.....	63
Tablo 55.	Uygulama 5 için test seti.....	63
Tablo 56.	Eğitim seti verileri için iterasyon adedine bağlı hata değerleri	64
Tablo 57.	5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 2 için hata yüzdeleri.....	65
Tablo 58.	5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 6 için hata yüzdeleri.....	65
Tablo 59.	5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 10 için hata yüzdeleri.....	65
Tablo 60.	Gizli katman nöron adedine bağlı toplam hata yüzdeleri.....	66

1.GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Son yıllarda doğrusal olmayan mühendislik problemlerine kolay ve hızlı çözüm bulabilmeleri açısından, yapay sinir ağları, diğer analitik yöntemlere alternatif bir çözüm yöntemi olarak ön plana çıkmıştır. En genel anlamda yapay sinir ağları, elde olan veriler arasında ilişkiler kurarak, daha önceden görmediği problemlere çözüm üretir. Bu çalışmada yapay sinir ağlarının basit çerçeveci sistemler üzerine uygulanabilirliği araştırılmıştır. Yapay sinir ağlarında en iyi sonuca ulaşabilmek için kullanılması gereken ara katman nöron adedini belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada ilk olarak zekâ kavramına değinilmiş, yapay zekâ hakkında kısa bir bilgi verilmiştir. Yapay sinir ağlarının yapısına değinildikten sonra tarihçesi ve gelişim süreci anlatılmıştır. Biyolojik sinir ağlarıyla benzerlikleri ve farklılıkları üzerinde durulmuş, yapay sinir ağlarının olumlu ve olumsuz yönleri hakkında açıklamalar yapılmıştır. Başlıca öğrenme kuralları anlatılmış ve kullanılan yapay sinir ağı hakkında bir bilgi verilmiştir.

Daha sonra Visual Basic Programlama Dili kullanılarak bir yapay sinir ağı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu ağı ileri beslemeli olup hatayı geriye doğru yayan özelliktedir. Bir girdi katmanı, bir ara katman (gizli katman) ve bir çıkış katmanından oluşan bu ağı, katmanlardaki nöron adedini kullanıcı belirleyebildiği esnek bir yapıya sahiptir. Bu sayede değışik parametrelere bağılı olarak yapay sinir ağının karmaşık yapısı hakkında bir fikir edinilmeye çalışılmıştır.

Son olarak basit çerçevci sistemler ele alınmıştır. Bu sistemler düşey ve yatay yönlerde çeşitli yükler ile yüklenmiş ve bazı kritik noktalar için moment değeri hesap edilmiştir. Çubukların atalet momentleri değıştirilerek işlemler tekrar edilmiş ve atalet momentleri ile çubuklarda oluşan moment değeri arasında bağıntılar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu bağıntılar genelleştirilerek kullanılabilirliği denetlenmiştir. Daha sonra elde edilen bağıntılar, geliştirilen

yapay sinir ağılarının çıktı katmanında bir kontrol mekanizması olarak kullanılmış ve atalet momentleri ile moment dağılımı arasında ilişki kuran yapay sinir ağıları elde edilmiştir.

1.3 Çalışmanın Önemi

Bu çalışma, çerçeve sistemlerde çubuk elemanların sahip olduğu atalet momentlerinin, moment dağılımı üzerinde etkisi olup olmadığı incelemek ve ayrıca yapay sinir ağılarının basit çerçeve sistemler üzerine uygulanabilirliğini incelemek açısından önem taşımaktadır. İnşaat mühendisliği alanında şimdiye kadar yapay sinir ağıları ile yapılmış çalışmalar hakkında kısa bir bilgi de verilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Yapay Zeka

İnsanın çevresindeki olayları anlama ve idrak etmesi zekâsı sayesinde. Zekâ çevremizdeki olayları anlama, öğrenme, olaylar hakkında yorum yapma ve bu bilgileri gelecek seferde kullanmak üzere zaman içinde geliştirilebilen ve en önemlisi bilgisayarlar tarafından taklit edilebilen bir yetenektir. Bilgisayarlar çok işlem gerektiren problemleri kolayca çözebilmelerine karşın anlama ve tecrübelerini (öğrendiklerini) kullanma konusunda yetersizdirler. Bir başka deyişle düşünme yetenekleri yoktur. mühendislik alanında, karmaşık ve elle çözülmesi güç olan problemlerin çözümünde yardımcı bir eleman olarak kullanılmışlardır. Yani düşünme yeteneğinden yoksun olan bu makineler, sadece hızlı işlem yapan hesap makineleri olarak görülmekteydi. Gelişen ve ilerleyen teknolojik araştırmalar insan beyninin sinirsel yapısını ve çalışma prensiplerini bir parçada olsa taklit edilebilecek bilgisayar programları geliştirmeyi başarmıştır. Bu bilim dalı bugün “Yapay Zeka Uygulamaları” ana başlığı altında toplanan ve uzman sistemler (expert systems), genetik algoritmalar (genetic algorithms), bulanık mantık (fuzzy logic systems) ve yapay sinir ağları (artificial neural networks) alt başlıkları ile anılan çalışma konularını içermektedir. Yapay zekâ uygulamaları ilk olarak 1950’li yıllarda ortaya çıkmıştır.

Mühendislik problemleri çözülürken iki aşama vardır. Birinci aşama tabiatta karşılaşılan bir problemi matematiksel olarak ifade etmek, ikinci aşama ise kurulan denklem modelini matematikçe belirli metodlar kullanarak çözmektir. Tabi her olayın bir matematik modelinin kurulması mümkün olmayabilir. Böyle durumlarda bazı alternatif yöntemler (yaklaşım metodları) kullanılması yollarına gidilir. Yapay zeka yöntemleri de bu alternatif yöntemlerden biri olarak görülebilir. Yapay zeka sistemlerinden beklenen, çözüm aranan bir probleme daha önceden kazandığı tecrübe ve bilgiler ışığında (sistemin eğitilmesinden sonra), kabul edilebilir hata sınırları içinde (bu sınırlar her problem için farklı olabilir) yaklaşık çözümler üretmesidir. Son yıllarda bilgisayarların matematiksel olarak tanımlanamayan problemleri sezgisel olarak çözmesi üzerine yapılan çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmaların tümüne “ yapay zeka” çalışmaları

denmektedir. Yeni çıkan sistemler otomasyon sistemlerinin yerini almakta zeki sistemler eski klasik sistemlerin yerini almaktadır (Öztemel 2003).

2.1.1 Yapay Zekanın Kullanım Amaçları

Yapay Zeka çalışmalarında hedeflenen amaçlar şunlardır:

- * İnsan beyninin fonksiyonlarını modellerle anlamaya çalışmak
- * İnsanın zihinsel yeteneklerini, bilgi kazanma, öğrenme ve buluş yapmada uyguladıkları strateji ve metotları araştırmak
- * Bu metotları bilgisayarlarda uygulamak
- * Bilgisayar kullanımını kolaylaştıracak ara yüzler geliştirmek
- * Uzman Sistemler ve Genel Bilgi Sistemleri geliştirmek
- * Bilimsel araştırma ve buluşlar için yardımcılarını geliştirmek (Saraç 2004).

2.1.2 Yapay Zeka Teknikleri

Bugün insan beynin çalışmasından esinlenerek geliştirilen tekniklere yapay zekâ teknikleri denmektedir. Bugün kullanılan belli başlı yapay zekâ teknikleri şunlardır:

a) Genetik Algoritmalar

Yapay zekânın evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasıdır. Evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. Genetik algoritmalar klasik yöntemlerle çözülmesi zor ya da hiç çözülemeyen problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Başlıca kullanım alanları optimizasyon ve sınıflandırma problemleridir. Algoritma populasyon denilen çözüm seti ile başlar ve istenilen sonuç elde edilene kadar devam ettirilir. İstenilen sonucu üretecek olan genlerin, kalıtım yolu ile bir sonraki nesle aktarıldığı kabul edilmektedir.

b) Uzman Sistemler

Uzmanlar, problemlerin çözümünde deneyimlerini kullanırlar. Uzman sistemler de daha önceden edindiği bilgi ve tecrübeler ışığında problemlere çözüm üretirler. İlk olarak problem ile ilgili bilgiler toplanır ve bilgisayarın anlayabileceği forma dönüştürülür. Bu bilgiler hafızada saklanır. Daha sonra problem ile ilgili çözüm üretilir. Çözüm üretilirken eldeki veriler ışığında bir sonuç elde edilmeye çalışılır ya da bir sonuç göz önüne alınarak doğruluğu kanıtlanmaya çalışılır.

c) Bulanık Mantık

Bulanık mantık ilk kez 1965 yılında Prof. L.A.Ladeh tarafından ortaya konulmuştur. İstatistik ve olasılık kuramında kesin sonuçlarla çalışılmasına rağmen, tabiattaki bir çok problemin cevabı kesin ve net olarak verilemez. Bulanık mantık sayesinde, insana özgü öğrenme olayı gerçekleştirilerek, belirsiz olaylar dahi tam olarak ifade edilebilmektedir. Bulanık mantıkta fuzzy kümeleri, kendi aitlik fonksiyonları ile temsil edilirler. Bu fonksiyon 0 ile 1 arasında bir değer alabilir. Bir ifade tamamen doğru ise 1, tamamen yanlış ise 0 değerini alır. Örneğin 0.65, %65 doğru, %35 yanlış anlamına gelir. Bulanık mantıkta kendine özgü ifadeler kullanılır. (and, or, if vb.)

d) Yapay Sinir Ağları

Detayları Bölüm 3'te anlatılacak olan yapay sinir ağları, biyolojik nöronun ilkel bir takliti olup, çeşitli geometrilerle sıralanmış nöronların, aralarındaki ağırlık değerlerinin güncelleştirilmesiyle problemlere çözüm üretirler.

2.2 Biyolojik Sinir Ağları

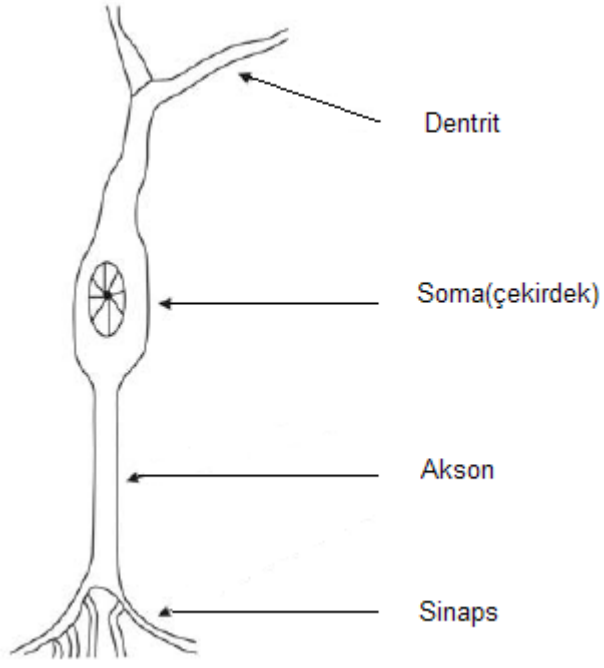
Yapay sinir ağları insan beyninden ve sinir hücrelerinin çalışma prensiplerinden esinlenerek yapıldığından, ilk olarak insandaki sinir hücrelerinin yapısına değinmek faydalı olacaktır. Fakat çok karmaşık bir yapıda bulunan beynin çalışma

prensipleri bugün bile tam olarak açıklığa kavuşturulamamış, insan beyni halen daha tam olarak çözümlenememiştir. İnsanlarda sinir sistemi üç kısımdan oluşur. Birincisi dış dünyadan duyu organları vasıtasıyla uyarıları alıp beyne götüren alıcı sinirlerdir. İkincisi kendisine gelen bilgileri işleyerek tepki sinirlerine gönderen merkesi sinir sistemidir. Sinir sisteminin üçüncüsü parçası olan tepki sinirleri ise merkesi sinir sisteminin gönderdiği cevapları gerekli organlara taşır. Alıcı sinirler ve tepki sinirleri ileri ve geri beslemeli olarak olaylara çözüm üretirler (Fırat ve Güngör 2004).

Sinir sisteminin temel yapı taşları nöronlardır. Nöronlar yenilenemeyen özellikleri ile diğer hücrelerden ayrılırlar. Bu nöronlar sayesinde insanlar hatırlama, düşünme, geçmiş tecrübeleri kullanma ve yeni sonuçlar üretme gibi yeteneklere sahip olmuşlardır.

Yapay nöronların biyolojik nöronların ilkel hali olduğu daha önce belirtilmişti. Bunun esas sebebinin nöronlar arasındaki bağlantılar olduğu düşünülmektedir. İnsan beyninin korteks (sinir hücrelerinin gövdelerinin, yoğun ve sıkışmış bir şekilde birarada bulunmasıyla, bilinçli zihinsel işlevlerimizin önemli bir bölümünün üretildiği beyin kabuğu) kısmında yer alan nöron sayısı yaklaşık olarak 10^{11} olup, her nöron kendinden önce ve sonra gelen 1.000 - 10.000 arası başka hücrelerle ilişki içerisinde (Harvey 1994). Bu yapay bir nöronla karşılaştırıldığında sonuç inanılmazdır. Yapay bir nörona bu kadar çok bağlantı oluşturmak mümkün değildir. Biyolojik nöronlar esas olarak dört temel öğeden oluşmaktadır. Bunlar dentritler, soma, akson ve sinapslardır .

Sinir hücresi kendisine gelen elektriksel sinyalleri sinapslar vasıtasıyla dentritlerine alır. Bu aşamada sinyaller güçlendirilir ya da zayıflatılır. Buradan hücre çekirdeğine gelen sinyallerin birbirlerini kuvvetlendirme ve zayıflatma durumlarına göre eşik değerini aşıp aşmadığı kontrol edilir. Sinyaller bir eşik değerini aşabilirse aksonlar vasıtasıyla diğer sinir hücrelerine iletilir, aksi takdirde pasif hale getirilir (Saraç 2004).



Şekil 2.1 Doğal bir nöronun yapısı

3. YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

İnsan beyninin çalışma prensibini taklit etmek suretiyle geliştirilen sistemlerdir. Bu ağlarda birbirlerine belli ağırlıklar ile bağlanmış sinir hücreleri bulunmaktadır. Sinir hücreleri kendilerine gelen girdileri basit bir işleme tutup, kendinden sonra gelen hücreye gönderirler. Hücreleri birbirlerine bağlayan ağırlıklar, çeşitli öğrenme metodlarıyla eğitilmiş ağlarda sürekli olarak değişmekte ve genel anlamda ağı en yakın sonuca götürmeye çalışmaktadır.

1999 yılında Haykin tarafından yapılan tanım şu şekildedir: Yapay sinir ağı basit işlemler yapılan birimlerden oluşan, kendisine sunulan örnekleri hafızasına alıp daha sonra kullanan, yoğun olarak paralel dağıtılmış bir işlemcidir. Çevreden edinilen bilgi sinapslar arasındaki ağırlıklar sayesinde korunur. Bir başka tanımda insan beyninin çalışmasından esinlenerek bir programlama mantığı ile bu çalışma sistemini taklit etmeye çalışmaktır (Civalek 1998). Yapay sinir ağlarını klasik bilgisayar programlarından ayıran temel özellik; kendisine verilen dataları hafızasına alıp bunları işlemesi, yorumlaması ve kendisine daha önceden gösterilmemiş olaylar hakkına fikir yürütebilmesidir. Ezberleme ve yorumlama yeteneği sayesinde insan beyninin çok basit bir taklidi niteliği taşımaktadır.

Bilgisayar programlarının doğal sinir sistemlerinden etkilenmesi sonucu ortaya çıkan yapay sinir ağları ile çözümleri analitik olarak mümkün olmayan, bir başka deyişle doğadaki fiziksel mekanizmasının matematik modeli tam olarak kurulamayan sistemlerin çözümü kolaylaşmıştır.

3.1 Yapay Sinir Ağları İle Yapılmış Çalışmalar

Problemlere alternatif çözüm yolu üreten yapay sinir ağları günümüzde birçok uygulama alanı bulmuştur. Tıbbi cihazlarda (ekg değerlendirilmesi), hava tahmin raporlarında, optik algılayıcılarda, optimizasyon problemlerinde, görüntü ve ses tanıma problemlerinde, istatistik problemlerinde, robotik uygulamalarında, process kontrol vb. birçok alanda kullanılmaktadır. İnşaat Mühendisliği alanında da son yıllarda yapay sinir ağlarıyla ilgili çalışmaların yapıldığını görmekteyiz.

Daha önceden yapay sinir ağı ile yapılmış çalışmaların bir kısmı incelenerek detayları aşağıda belirtilmiştir.

Çatal ve Civelek 2004' te geriye yayılmalı yapay sinir ağı ile elastik kirişlerin statik ve dinamik analizi üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada dört farklı mesnet şartı için geliştirilen yapay sinir ağı kirişlerin maksimum deplasman ve titreşim frekanslarını vermektedir. İlk olarak iki uç ankastre mesnetli, iki uç mafsallı ve bir uç ankastre diğeri sabit mesnetli durum için ağı eğitilmiş ve bir uç ankastre mesnetli diğeri boşta olmak üzere test edilmiştir. Kiriş serbest titreşim hesabı için yine aynı eğitim seti seçilmiş, fakat bu kez ağı her iki ucu mafsallı mesnet için test edilmiştir. Eğitim seti için gerekli veriler bilinen analitik yöntemlerle yapılmıştır. Sonuç olarak yeterli yakınsama sağlanmış ve ağı eğitimi tamamlanmıştır. Yapay sinir ağlarının gerektirdiği kapasite ve hız açısından klasik programlama sistemlerine göre avantajlara sahip olduğu gözlenmiştir (Civelek ve Çatal 2004).

Yapay sinir ağı ile yapılan bir çalışma da eksenel yüklü kolonların burkulma analizidir. Yine elastik kirişlerin statik ve dinamik analizinde olduğu gibi farklı mesnet şartlarında ve farklı kesitlere sahip çubuk elemanların yüklenmesi ile oluşturulan ağı, burkulma yükleri için yeterli hassasiyette sonuçlara ulaşmıştır (Ülker ve Civelek 2002) .

Bir diğer çalışma betonarme kirişlerin hasar analizi ile ilgilidir. Kayma donatısız kirişlerin kayma dayanımını tanımlayabilmek için geliştirilen bu model, basit mesnetli izotropik kirişler için çok iyi sonuçlar vermiştir. Betonarme sistemlerin çözümlenmesinde bazı basitleştirmeler ve kabuller yapılır. Bu da sonuçların gerçek çözümden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Klasik matematik modellerden üstün olarak yapay sinir ağlarının böyle kabullere ve basitleştirmelere gerek duymadan, direkt veriler arasında ilişkiler kurarak çözüm ürettiği belirtilmiştir.

Depreme ilişkin olağan dışı sinyal değişimi de yapay sinir ağı ile hesaplanmıştır. Kayaçlarda deformasyon sonucu oluşan elektrik alan ölçümlerinde deprem öncesi olduğu öngörülen sinyaller tespit edilmiştir. Deprem ile ilişkisi olduğu düşünülen bu örüntü eğitilen bir yapay sinir ağı ile belirlenmeye

alışılmıştır. Girişlere bağlı olarak üretilen çıktılar örüntünün varolup olmadığına dair bilgiler vermektedir. Ağ deprem örüntü habercisi olarak kullanılabilmektedir (zerdem ve Sönmez 2003).

Trafik mühendisliği üzerine yapılan çalışmalar 1990'lı yıllardan sonra büyük ilgi görmüştür. Esnek styapı tabakalarındaki mekanik özelliklerin belirlenmesine yönelik bir çalışmada, yapay sinir ağları ile modellenen sistemin ürettiği sonuçlar yeterli hassasiyeti sağlamıştır. Tahribatsız deney yöntemlerinden biri olan 'Düşen Ağırlık Deflektometresi Yöntemi' zet olarak, yol üzerinde çeşitli sebeplerden oluşan defleksiyon (sapma) değerlerinin kaydedilip, sonuçların değerlendirilmesinden ibarettir. Kaydedilen bu değerler yapay sinir ağlarında kullanılmış ve geliştirilen ağ sayesinde klasik yöntemlere oranla daha hızlı ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmiştir (Göktepe vd. 2005).

Yol st kaplamalarında performans modellemesi genel olarak daha önceden elde edilmiş istatistiksel veriler ışığında yapılır. Bu modelleme basit bir yapıda olup, birkaç parametreye bağlı kalınarak, dataların direkt olarak ya da bazı aktivasyon fonksiyonlarından geçirilerek kullanılmasından ibarettir. Son yıllarda bu modelleme yapay sinir ağları ile gerçekleştirilmektedir. Genelleme yapabilmeleri ve gerçek zamanlı çözüm ürettikleri göz önüne alındığında, geleneksel yöntemlere nazaran daha avantajlı oldukları söylenebilir. Ne yazık ki genel anlamda sinir ağlarında kullanılan datalar gerçek veriler olmayıp simülasyonlar sonucu elde edilen datalardır. Bu çalışmada ise geriye yayılmalı sinir ağlarında yol st kaplaması performans modellemesi için gerçek trafik verileri kullanılmış, öğrenme katsayısı ve momentum katsayısının önemi araştırılmıştır. Sonuçta ğrenme katsayısının 0.001 - 0.005 arasında, momentum katsayısının 0.5 – 0.9 arasında olması belirli ağlar için tatminkr sonuçlar elde edilebilmesine sebep olmuştur (Okine vd.1999).

Bir bağka çalışmada, elik yapılarda deprem sonrası oluşacak hasarların tespiti için, yapay sinir ağları kullanılarak nümerik bir simülasyon yapılmıştır. Eğitim setinde kullanılacak data, basitleştirilmiş sonlu elemanlar metodu ile elde edilmiştir. Kullanılan sistem dört katlı bir elik yapı olup plan üzerinde 16m eninde ve 18m boyundadır. Kat yükseklikleri ilk katta 4m diğer katlarda 3m

alınmıştır. Taşıyıcı sistemi çelik, döşemeler ise betonarmedir. Yüklemeler gerçek şartlara en yakın şekilde yapılmıştır. Hareketli yüklerin rastgele olarak ve birbirlerinden bağımsız 30000 varyasyonundan sonra elde edilen sonuçlar hedeflenen değerlere çok yaklaşmış ve hassasiyet elde edilmiştir (Zapico vd. 2005).

Tünel veya metro inşaatlarında hem yapının kendisini hem de komşu yapıları güvensiz bir duruma maruz bırakmamak için, tünel hafriyatı sonucu meydana gelecek deformasyonların (çökme) ve titreşim sonucu oluşan yatay hareketlerin, kazı başlamadan önce hesap edilmesi ve güvenli sınırlarda tutulması gerekir. İncelenen çalışmada bu analiz yapay sinir ağları kullanılarak yapılmıştır. Literatürde varolan farklı tünel projeleri detaylı olarak araştırılmış ve elde edilen datalar Matlab tabanlı bilgisayar programı ile yapılan ağda eğitim ve test verisi olarak kullanılmıştır. Yüzey oturması için girdi faktörleri olarak tünel çapı, tünel uzunluğu, zemin dayanımı, yer altı suyu karakteri ve yapım metodu alınmıştır. Yatay yer hareketi için ise tünel çapının tünel uzunluğuna oranı, zemin birim hacim ağırlığı ve kohezyon miktarı göz önüne alınmıştır. Yapay sinir ağı ile bulunan sonuçlar yeterli hassasiyeti sağlamıştır (Neaupane 2005).

Depremde sivilaşma potansiyeli için tahminler, şehir içi trafik akışı modeli, betonarme kirişlerin kesme mukavemeti tahmini, rijit üst yol yapısının bakımı, yapay sinir ağları ile trafik akım kontrolü, askı madde konsantrasyonu ve miktarının belirlenmesi, taş dolgu dalgakıranların ön tasarımı, günlük tava buharlaşması tahmini, elektrik enerjisi tüketimi tahmininde yapay sinir ağlarının kullanılması vb. gibi farklı dallarda çalışmalar yapılmaktadır.

3.2 Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

İlk yapay sinir ağı çalışmaları 1940'lı yıllarda başlamıştır. 1943 yılında Warren McCulloch ve Pitts yapay sinir hücresini geliştirmişler, beynin çalışma prensiplerinden yararlanan elektronik devreler kurmayı başarmışlardır. Ağın ürettiği sonuçlar basit gruplandırma şeklindedir. Daha sonra çalışmalar bu ağların öğrenmesi ile ilgili metotların geliştirilmesi yönünde devam etmiştir. 1949 yılında Donalı Hebb “Hebbian Öğrenme Kuralı” diye adlandırdığı bir yöntem

geliştirmiştir. 1958 yılında Frank Rosenblatt'ın basit algılayıcı modeli (perceptron) bulması çok katmanlı yapay sinir ağlarının temelini teşkil etmiştir.

1960 yılında ise yeni bir sistem olan Adaline (Adaptive Lineer Element) Widrow ve Hoff tarafından geliştirilmiştir. Yine adaline ünitelerinin birleştirilmesiyle Madaline sistemi geliştirilmiştir.

1960'lı yılların sonunda Minsky ve Pappert yapay sinir ağlarında bir dönem duraklamaya sebep olacak “ Perceptrons” adlı kitabı yayınlamışlardır. Bu kitabın ana fikri perceptronların non-lineer sistemler için çözüm üretemediğidir. Bunu fikirlerini XOR adını verdikleri problemle kanıtlanmıştır. Böylelikle birçok araştırmacı yapay sinir ağları ile ilgilenmekten vazgeçmiş, araştırma enstitüleri bu konuda yapılan çalışmaları desteklemeyi bırakmıştır. Konuya alâka en az seviyeye düşmüştür. Buna rağmen az da olsa birkaç araştırmacı çalışmalarına devam etmiş ve XOR problemini çözmüştür (Öztemel 2003).

1980'li yıllara gelindiğinde araştırmacılar çalışmalarına hız vermişlerdir. Bunlardan en önemlileri Kohonen, Hopfield ve Rummelhart'dır. Kohonen 1982'de self organizing maps adlı yayınında öğretmensiz öğrenme konusunda başarı sağlamıştır. Aynı yıllarda Rummelhart, Hinton ve Williams çok katmanlı yapay sinir ağlarını geliştirmişler ve XOR probleminin çözümüne büyük ölçüde katkıda bulunmuşlardır (Rummelhart vd, 1986). Yine Hopfield yapay sinir ağlarının bilgisayarda kullanılması sonucu mühendislik problemlerine katkıda bulunduğunu fikrini kanıtlamıştır (Hopfield 1982). Yine bu yıllarda Broomhead ve Love Radyal Basis Functions (Radyal tabanlı fonksiyonlar) modelini geliştirmişlerdir. Böylelikle yapay sinir ağlarına olan ilgi ve paylaşım tekrar artmıştır. Başka bir deyişle 1980'li yıllar gelişim sürecinde altın yıllar olarak değerlendirilebilir.

3.3 Yapay Sinir Ağlarında Olumlu – Olumsuz yönler

Yapay sinir ağları henüz gelişim sürecinde olan bir sistem olduğundan, karanlıkta kalan ve aydınlatılmayı bekleyen sırlarla doludur. Öncelikle nöronlar arası ağırlıkların ilk değerlerinin neye göre belirleneceği bilinmemektedir. Uygun gizli

katman sayısı ve gizli katmanda ya da katmanlarda kullanılacak nöron sayısını belirleyen bir kural yoktur. Bunlar tamamen deneme-yanılma sonucu tespit edilebilmektedir.

Hangi problemde hangi ağ mimarisinin kullanılacağı da sadece tecrübeler yoluyla kestirilebilmektedir. Yani her ne kadar seçilen ağ mimarisi doğru sonuçlar verse dahi her zaman için kullanılanlardan daha doğru sonuç veren bir ağ olabilir.

Ağın eğitiminin ne zaman biteceğine dair bir kural da yoktur. Yapay sinir ağlarını kesin çözüm beklenen veya çok karmaşık işlemler gerektiren problemlerde kullanmak uygun değildir. Ağa gösterilecek olan dataların gösterim şekli kullanıcının kabiliyetine bağlıdır. Problem doğru şekilde aktarılmazsa ağ düzgün cevaplar üretemez. Sadece nümerik bilgiler girdi olarak kullanılabilir.

Buna karşın yapay sinir ağları non-lineer problemlere çözüm üretebilirler. Tabiattaki birçok problem non-lineer yapıda olmasına rağmen bazı kabuller yapılarak lineer (doğrusal) yapıya dönüştürülmektedir. Yapay sinir ağlarında böyle bir problem yoktur.

Sinir ağları eksik bilgi ile çalışabilir. Girdi setinde kullanılan verilerin bir kısmı kaybedilmiş veya sınırlı sayıda olabilir. Bilinen veriler kullanılarak hatanın tolare edilebilme şansı vardır. Kendi kendini organize etme ve öğrenebilme yetenekleri, pozitif yönleridir (Tuzcuoğlu 2003).

Yapay sinir ağlarında nöronların birbirinden bağımsız çalışabilme yetenekleri vardır. Bu sebepten her bir nöron kendi başına işlem yapabilir ve yerel hatalar olsa dahi hata diğer nöronlar tarafından telafi edilebilir. Böylelikle esnek bir yapı gösterirler. Ağın bir bölümü zarar gördüğünde performans düşüklüğü olsa dahi ağ çalışmaya devam edecektir. Tamamen göçme söz konusu olmayacaktır. Ayrıca örüntü tanıma, genelleme yapabilme ve adaptasyon kabiliyetleri vardır.

3.4 Yapay Sinir Ağlarını Oluşturan Temel Elemanlar

Yapay bir nöron (proses elemanı) beş temel öğeden oluşur. Bunlar girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon formülü ve çıktılarıdır. Bu elemanlara kısaca değinmek gerekirse:

3.4.1 Girdiler

Proses elemanın dış ortamdan bilgileri (verileri) alan elemanlarıdır. Veriler bu safhada bir işleme tabi tutulmadan aynen iletilirler.

3.4.2 Ağırlıklar

Bir nörona eş zamanlı birçok veri girişi olabilir. Bu veriler nörona gelirken kendine ait olan ağırlık değeriyle çarpılır. Ağırlık değerleri pozitif, negatif ya da sıfır olabilir. Ağırlık değerleri kullanılan birçok öğrenme kurallarına ve ağırlık mimarisine göre değişebilmektedir. Girdilerin toplama fonksiyonu üzerindeki etkileri ağırlıkları miktarınca olur.

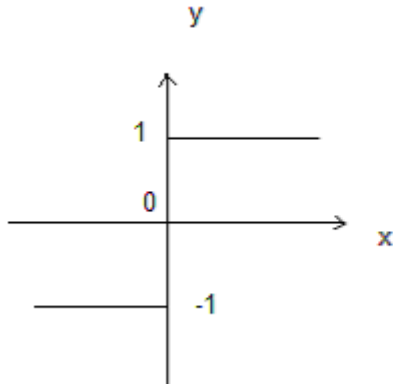
3.4.3 Toplama Fonksiyonu

Proses elemanında girdiler ağırlıklarla çarpıldıktan sonra toplama fonksiyonuna gönderilirler. Girdiler ve ağırlıklar, aktivasyon fonksiyonuna gitmeden önce birçok şekilde bütümleştirilebilirler. Genel olarak girdiler ve ağırlıkların çarpılmasıyla bulunan değerler toplanmak suretiyle aktivasyon fonksiyonuna gönderilir. Kimi zaman kullanıcının tercihine göre bu değerlerin en büyüğü, en küçüğü ya da kümülatif toplamı vb. kullanılabilir. Hangi problemde hangi toplama fonksiyonunun kullanılacağına dair henüz bulunmuş bir formül yoktur. Her nöron aynı toplama fonksiyonunu kullanabileceği gibi ayrı ayrı fonksiyonlarda kullanılabilir.

3.4.4 Aktivasyon Fonksiyonu

Toplama fonksiyonunun çıktısı aktivasyon formülünde girdi olarak kullanılır. Ancak bu girdileri belirli bir seviyenin üstünde tutmak için bir eşik değeri seçilmelidir. Toplam fonksiyonundan gelen değerler bu eşik değerinden yukarıda ise işleme tabi olurlar. Aktivasyon fonksiyonu girdileri algoritma ile gerçek bir çıktıya dönüştürür. Aktivasyon fonksiyonunda genel olarak türevi alınabilen fonksiyonlar kullanılır. En çok kullanılan sigmoid fonksiyonudur. Sıkça kullanılan aktivasyon fonksiyonları ve şekilleri aşağıda verilmiştir.

(a)

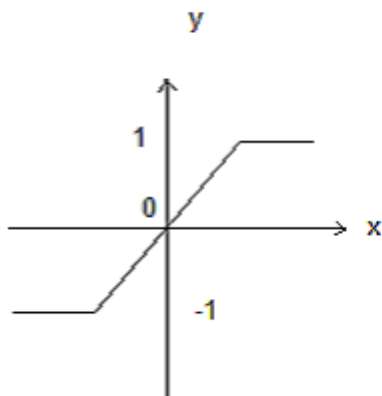


$$x > 0, \quad y = 1$$

$$x < 0, \quad y = -1$$

$$x = 0, \quad y = 0$$

(b)



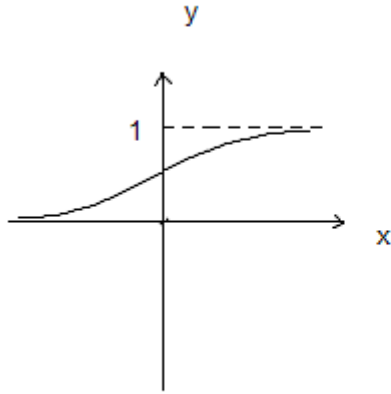
$$0 < x < a, \quad y = x$$

$$x > a, \quad y = 1$$

$$-a < x < 0, \quad y = x$$

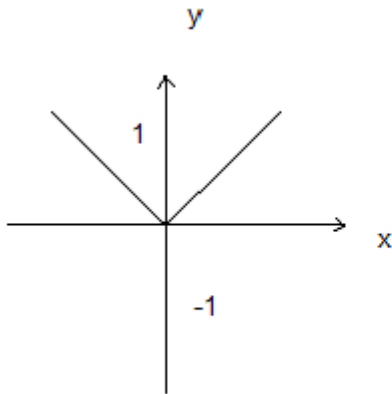
$$x < -a, \quad y = -1$$

(c)



$$-1 < x < 1, \quad y = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$

(d)



$$x > 0, \quad y = x$$

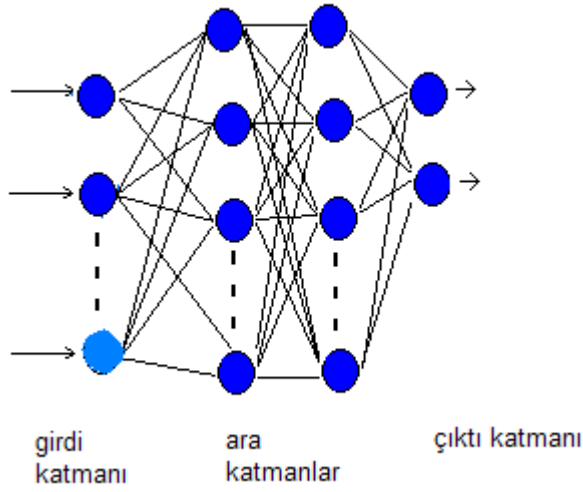
$$x = 0, \quad y = 0$$

Şekil 3.1 Kullanılan bazı önemli sigmoid fonksiyonları

3.4.5 Çıktılar

Yapay nöronlarda da biyolojik nöronlara benzer şekilde birçok girdi olmasına rağmen tek bir çıktı değeri vardır. Genel anlamda çıktı, aktivasyon fonksiyonunun çıktısıdır. Bazı ağ yapılarında çıktılar komşu proses elemanlarının çıktılarıyla birleştirilerek kullanılabilir. Bazılarında ise nöronlar arası yarış vardır. Yarışmayı kazanan nöron çıktı olarak kullanılır.

3.5 Yapay Sinir Ağlarında Katmanlar



Şekil 3.2 Yapay sinir ağlarında katmanlar

Temelde yapay sinir ağları bir giriş, bir çıkış ve bir ya da daha fazla sayıdan oluşabilen ara katmandan meydana gelmektedir. Nöronlar katmanlarda bulunurlar. Dış dünyadan gelen veriler ilk olarak girdi katmanına gelirler. Girdi katmanındaki nöron adedi problemde verilen değişkenlere bağlı olarak değişebilmektedir. Yine bu katmanda veriler bir işleme tabi tutulmadan ara katmanlara iletilirler.

Gizli katmanlar yapay sinir ağlarının işlem merkezleridir. Bir ağda bir tane gizli katman olabileceği gibi birden fazla sayıda gizli katman da olabilir. Bu sayı kullanıcının sezgilerine ve tecrübelerine bağlı olarak seçilir. En yaklaşık sonuçları veren gizli katman adedini belirleyen bir formülasyon henüz geliştirilememiştir.

Çıkış katmanı ise işlemde geçen dataların sonuçlarının toplandığı katmandır. Girdi katmanında olduğu gibi çıkış katmanında da probleme bağlı olarak bir ya da daha fazla nöron bulunabilir.

3.6 Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme Prensipleri

3.6.1 Denetimlerine Göre Öğrenme Şekilleri

Yapay sinir ağlarında genel olarak üç çeşit öğrenme şekli vardır. Birincisi denetimli öğrenme, ikincisi yarı denetimli öğrenme, üçüncüsü ise denetimsiz öğrenmedir. Bu üç öğrenme türünü kısaca inceleyelim.

3.6.1.1 Denetimli Öğrenme

Sıkça kullanılan bir öğrenme şeklidir. Öğretmenli öğrenme diye de adlandırılabilir. Bu öğrenme şeklinde ağın ürettiği çıktı değerleri ile eldeki mevcut çıktı değerleri karşılaştırılır. Veriler ağa sunuldukça başlangıçta seçilen ağırlık değerleri iterasyon sonucu değişerek en yakın sonuca yakınsamaya çalışır. Toplam hata minimizasyonu (kullanıcı tarafından yeterli görülene kadar) iterasyonlarla sağlanmaya çalışılır.

Eğitim safhası geçtikten sonra ağın kullanılabilirliğinin kontrol edilmesi gerekir. Buna test süreci denir. Test sürecinde eğitim seti içinden ağın eğitiminde kullanılmamış veriler alınarak ağa sunulur. Yani eğitim setinin verilerinin tümü ağı eğitmek için kullanılmaz, bir kısmı da ağın yeterli derecede öğrenip öğrenmediğini kontrol etmek için kullanılır. Bu safhada eğitim setinde kullanılmamış olan datalar (girdi-çıktı değerleri) ağa gösterilerek performans değerlendirmesi yapılır. Test seti olarak seçilen verilerin geniş kapsamlı olması gerekir. Yani eğitim setini en iyi şekilde temsil etmelidir. Elde edilen sonuçlar kabul edilebilir hata sınırları içindeyse ağın eğitimi tamamlanmıştır denir ve yeni veriler gösterilerek ağın tahminde bulunması istenir. Şayet deney setine ağın verdiği cevaplar hata sınırlarını aşıyorsa ağ yeni baştan eğitilmelidir. Farklı sonuçlara ulaşabilmek için nöronlar arası ağırlık değerleri, gizli katman sayısı ya da katmanlardaki nöron sayıları, iterasyon sayısı vb. değişiklikler yapılabilir (Sağıroğlu vd. 2003).

Örnek eğitim ve test seti:

Mesela bir yapay sinir ağından, 1'den 10'a kadar bir sayı girildiğinde çıktı olarak yine aynı sayıyı vermesi isteniyor. Bunun için tek sayılar eğitim seti çift sayılarda test seti olarak kullanılabilir.

$x=y$

eğitim seti

test seti

<u>girdi</u>	<u>çıktı</u>	<u>girdi</u>	<u>çıktı</u>
x	y	x	y
1	1	2	2
3	3	4	4
5	5	6	6
7	7	8	8
9	9	10	10

3.6.1.2 Yarı Denetimli Öğrenme

Bu tip öğrenme şeklinde ağ girdilere karşı gelecek bir çıktıya gerek duymaz. Denetimli öğrenmeye benzemekle birlikte orada olduğu gibi direkt çıktılar yerine çıktının doğruluk derecesini gösteren bir derecelendirme verilir. Ağ buna göre ağırlıklarını düzenler.

3.6.1.3 Denetimsiz Öğrenme

Diğer bir öğrenme şeklidir. Öğretmensiz öğrenme ya da adaptif öğrenme isimlerini de alabilir. Bu öğrenme şeklinde sistem sadece girdi değerlerine ihtiyaç duymaktadır. Yani denetimli öğrenmedeki gibi çıktı değerleri ile sonuçların mukayese edilmesi söz konusu değildir. Sistem girdi değerlerine göre ağırlıklarını kendisi ayarlar. Bu alanda önde gelen araştırmacılardan biri Kohonen'dir. Geliştirdiği ağ çıktıya ihtiyaç duymadan sadece girdiler aracılığıyla düzenleme yapar. Kohonen ağı tek bir katmandan oluşur ve nöronlar birbirleriyle yarış

halindedirler. En büyük çıktıyı üreten hücre yarışı kazanır, kendisinin ve çevresindeki hücrelerin bağlantı ağırlığı değişir.

3.7 Başlıca Öğrenme Kuralları

3.7.1 Hebb Kuralı

Bugün araştırmacıların kullandığı birçok öğrenme kuralı vardır. En eski ve en iyi bilinen öğrenme kuralı Donald Hebb tarafından 1949 yılında “The Organization Of Behaviour ” adlı kitabında bahsettiği Hebb kuralıdır. Temel çalışma prensibi şudur; Eğer bir nöron diğer bir nörondan bir bilgi alırsa ve ikiside matematiksel olarak aynı işarete sahipse nöronlar arası bağlantı kuvvetlenir.

3.7.2 Hopfield Kuralı

Hebb kuralı ile benzerlik göstermektedir. Eğer beklenen girdi ve çıktıların her ikiside aktif ya da pasifse hücreler arası bağlantı öğrenme katsayısı kadar kuvvetlendirilir ya da zayıflatılır. Öğrenme katsayısının belirli bir değeri yoktur, kullanıcı tarafından atanır.

3.7.3 Kohonen Kuralı

Bu kural Teuvo Kohonen tarafından biyolojik sinir ağlarından esinlenerek oluşturulmuştur. En büyük çıktıya sahip olan hücre çevresindeki rakipleri sınırlama yetkisine sahip olur. Sadece kazanan hücre ve komşu hücreler bağlantı ağırlıklarını düzenleyebilirler.

3.7.4 Delta Kuralı

Hebb kuralının geliştirilmiş halidir. En çok kullanılan öğrenme kurallarından birisidir. Kuralın dayandığı temel düşünce, beklenen değerler ile ağın ürettiği değerler arasındaki farkın (delta) en aza indirilebilmesi için ağırlık değerlerinin değiştirilmesidir. Bağlantı ağırlıkları değiştikçe ağın hatası da (ortalama karesel hata) azalmaktadır. Toplam hatanın geri yayılımı aktivasyon fonksiyonunun türevi

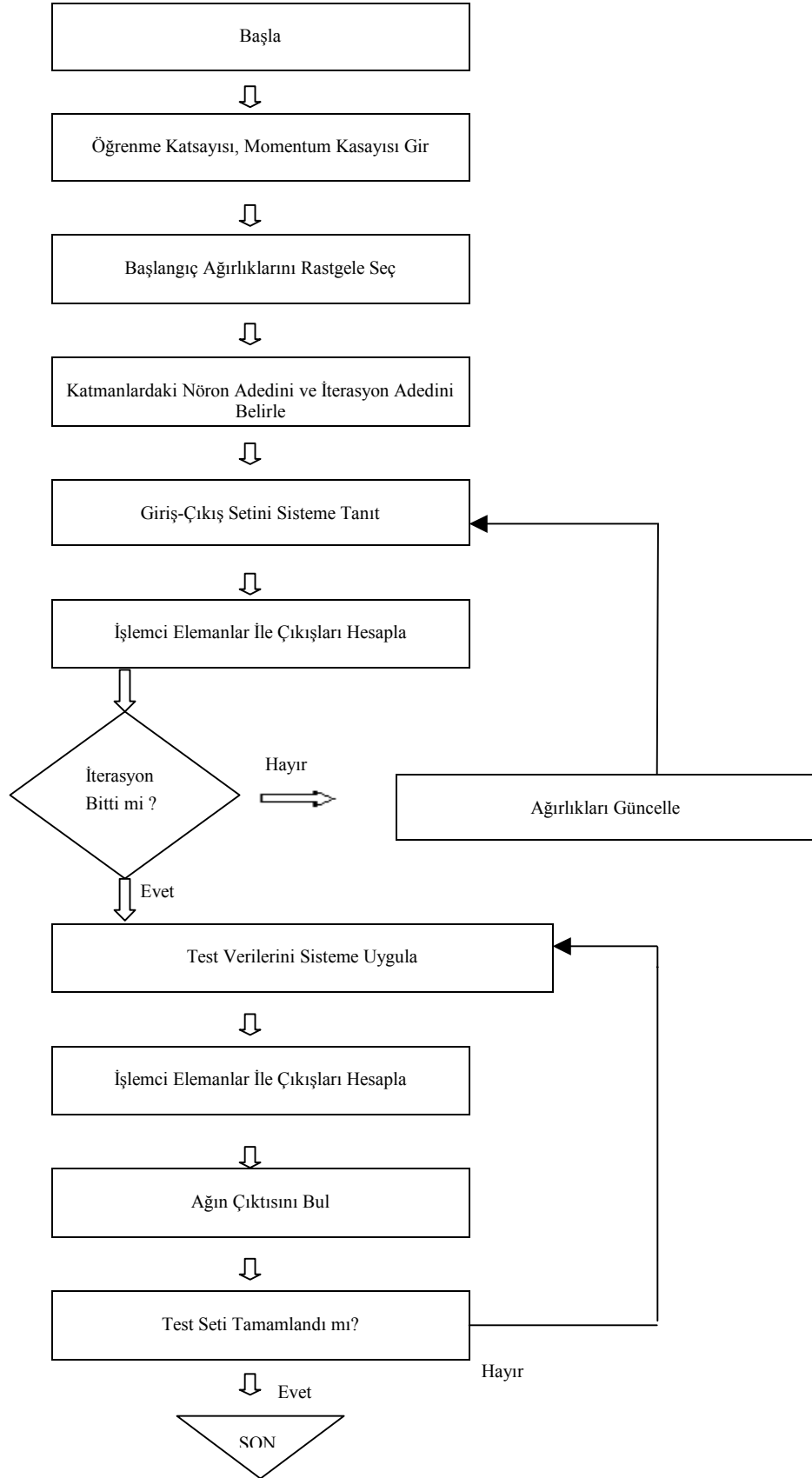
alınarak yapılmaktadır. Dolayısıyla hata “eğimli iniş” (gradient descent) adı verilen bir sistemle en aza indirgenmeye çalışılmaktadır. Her bir nörona belli bir oranda hata paylaştırılmakta ve bir sonraki iterasyonun katsayıları bulunmaktadır. Bu işlem giriş katmanındaki nöronlara kadar tüm ağ boyunca yapılır. Burada yanlış anlamaya sebebiyet vermemek için bir açıklama yapmak gerekirse, hatanın geriye doğru yayılması ağın geri-yayılımlı (back-propagation) bir ağ olduğunu göstermez. Ağın ileri ya da geri yayılımlı olması nöronlar arası bağlantı geometrisiyle alakalıdır. Hatanın geri yayılımı ise öğrenme kuralına bağlı olarak gelişmektedir (Elmas 2003).

3.8 Çok Katmanlı Algılayıcılar

Bugün için yapay sinir ağlarından beklenen non-lineer (doğrusal olmayan) problemlere çözüm bulabilmeleridir. Çünkü mühendislik problemlerinin çok büyük bir kısmı doğrusal olmayan yapıdadır. Doğrusal olmayan problemlerin yapay sinir ağları ile çözülebilmesi için “çok katmanlı algılayıcılar” (MLP: ‘Multi Layered Perceptrons’) geliştirilmiştir. Bir MLP modeli bir giriş, bir ya da daha fazla ara katman, bir de çıkış katmanından oluşan ve her katmanda bir yada daha fazla sayıda nöron bulunduran bir yapıdan ibarettir. Bir katmandaki bütün nöronlar önceki katmanla bağlatılıdır ve bilgi akışı ileri yöndedir. İleri beslemeli sinir ağı diye adlandırılmasının nedeni budur. Ara katman sayısını ya da katmanlarda kullanılacak nöron sayılarını kullanıcı kendi tecrübelerine göre ya da deneme yanılma metodu ile bulur (Sağıroğlu vd. 2003).

4. ÇALIŞMADA KULLANILAN YSA HAKKINDA AÇIKLAMA

Bu çalışmada kullanılan olan yapay sinir ağı Visual Basic Programlama Dili kullanılarak yazılmıştır. Ağ ileri beslemelidir ve öğrenme kuralı olarak ‘Genelleştirilmiş Delta Kuralı’*nı* kullanmaktadır. Ağa ilk olarak öğrenme ve momentum katsayıları girilmektedir. Daha sonra sırasıyla giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanında bulunacak olan nöron adetleri ile yapılacak olan iterasyon sayısı ve veri serisi adedi girilmektedir. Daha sonra program kendiliğinden ilk ağırlık değerlerini (-1 ve 1 arasında rastgele olarak) atamaktadır. Girdiler girdimat (i), çıktılar ise ciktimat (i) olarak belirtilen 1 X 15 kapasiteli matrisler olarak gösterilmektedir. Sonra girdi değerleri ile ilk ağırlık değerleri çarpılarak gizli katmandaki nöronların net girdileri hesaplanır. Yine bu girdiler uygun aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek çıktıya çevrilir. Gizli katmanın çıktıları aynı zamanda çıkış katmanı için girdi olacaktır. Çıkış katmanında tekrar aktivasyon fonksiyonundan geçen girdiler ağıın çıktısı (her bir nöron için farklı değerler) durumuna gelirler. Daha sonra kullanılacak bir kontrol mekanizması ile beklenen değerler ile ağıın ürettiği çıktılar karşılaştırılarak aralarındaki hata miktarları nispetinde öncelikle çıkış katmanı ile gizli katman arasında daha sonra gizli katman ile giriş katmanı arasındaki ağırlık değerleri güncellenir. Sonra diğer bir örnek yeni ağırlık katsayıları ile donanmış ağa gösterilir. İterasyon sayısı ta kadar devam eder. Sonra aynı mantıkla geliştirilmiş program test setindeki örnekler için ağıın kullanılabilirliğini kontrol eder. Eğer test seti üzerinde başarılı sonuçlar elde edildiyse ağ kullanıma hazır hale gelmiş demektir. (Bknz. Şekil 4.1)

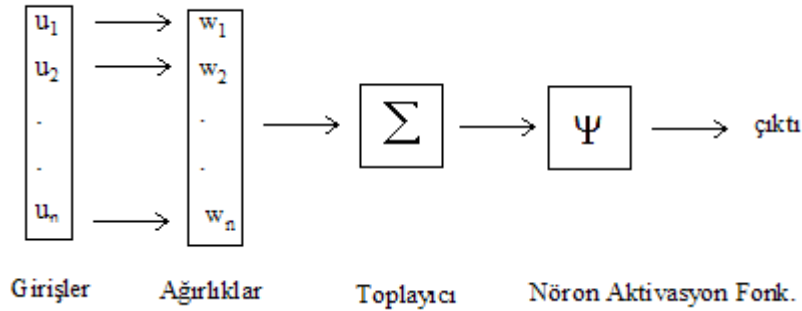


Şekil 4.1 Programın Akış Şeması

4.1 Ağ Yapısı ve Delta Öğrenme Kuralı

Yapay sinir ağının mimarisi nöronlardaki aktivasyon fonksiyonu ile oluşturulur. Çok katmanlı YSA' da kullanılan en temel algoritma hatayı geriye yayma (Back Propagation) algoritmasıdır. Bu algoritmanın kullanılabilmesi için nöronlarda kullanılan aktivasyon fonksiyonu ya da fonksiyonlarının (her nöronda aynı fonksiyon kullanılmayabilir) türevleri alınabilir fonksiyonlar olması gerekir. Geriye yayılma algoritması çok katmanlı ağların eğitiminde kullanılan denetimli öğrenme algoritmasıdır. Geriye yayılma denilse de aslında nöronlar arasında geriye doğru bir bağlantı yoktur. Sadece hatanın geriye yayılarak ağırlıkların güncellenmesi söz konusudur. Ağ ileri beslemeli olup hatayı geriye yayan yapıdadır (Civalek ve Çatal 2004).

Genelleştirilmiş Delta Kuralı'nda Zurada tarafından 1992'de ortaya konulan iki nöron arasındaki ağırlık değişim formülü kullanılır. Yine ağın yakınsamaması durumunda Rumelhart tarafından geliştirilen momentum katsayısını içeren formül kullanılır. Genelleştirilmiş Delta Kuralı'nı adım adım uygulaması aşağıda gösterilmiştir:



Şekil 4.2. Nöronun Matematiksel Modeli

$$s = w_1 \cdot u_1 + w_2 \cdot u_2 + \dots + w_n \cdot u_n - b = \sum_{i=1}^n w_i \cdot u_i - b \quad (1)$$

Burada u_i i. girdi değeri (giriş katmanından işlem görmeden geçer ve ara katmanlar için girdi olarak kullanılır) , w_i ilgili nöronlar arası ağırlık değeri, b eşik değeri, s toplama fonksiyonunu ifade etmektedir.

$$\psi_i(s) = \frac{1}{1 + e^{-s}} \quad (2)$$

Burada $\psi_i(s)$ aktivasyon fonksiyonudur. Son katmandaki her bir nöronun çıkış değeri:

$$c_i = \psi_i(s) \quad (3)$$

ile hesaplandıktan sonra her nöronun hatası bulunur:

$$e_i = (x_i - c_i) \quad (4)$$

Burada e_i çıkış katmanındaki i.nöronun hata terimini, x_i beklenen çıktı değerini, c_i ise ağırlık gerçekte çıktısını ifade etmektedir.

Daha sonra ağırlık eğitilip eğitilmediğini kontrol etmek için, ortalama karesel hata hesaplanır:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^k e_i^2 \quad (5)$$

Burada E ortalama karesel hatayı, k ise nöron adedini ifade etmektedir.

Giriş katmanı g, ara katmanı a ve çıkış katmanı m ile isimlendirilen bir yapay sinir ağında:

Son katman ile önceki katman arası ağırlıkların değişimi ise şu şekilde hesaplanır:

$$\Delta w_{ij}^a(t) = \eta \cdot \delta_i^m \cdot c_i^a + \alpha \cdot \Delta w_{ij}^a(t-1) \quad (6)$$

Burada Δw_{ij}^a çıkış katmanında i. sıradaki nöron ile ara katmanda j.sıradaki nöron arasında t. iterasyondaki ağırlık değişim miktarı, η öğrenme katsayısı ve δ_i i. nörona ait yerel hata eğimini, α momentum katsayısını ifade etmektedir.

$$\delta_i^m = c_i^m (1 - c_i^m) \cdot e_i \quad (7)$$

c_i^m m katmanındaki i.nöronun gerçek çıktısı, e_i i.nöronun hata terimini gösterir. Ara katman ile giriş katmanı arası ağırlıkların değişimi ise şu şekilde hesaplanır:

$$\Delta w_{ij}^g(t) = \eta \cdot \delta_j \cdot c_i^g + \alpha \cdot \Delta w_{ij}^g(t-1) \quad (8)$$

Burada Δw_{ij}^g ara katmanda i. sıradaki nöron ile giriş katmanında j.sıradaki nöron arasında t. iterasyondaki ağırlık değişim miktarı, η öğrenme katsayısı ve δ_j j. nörona ait yerel hata eğimini, α momentum katsayısını ifade etmektedir.

$$\delta_j^a = c_j^a (1 - c_j^a) \cdot \sum_{i=1}^i \delta_i^m \cdot w_{ji}^a \quad (9)$$

c_j^a a katmanındaki j.nöronun gerçek çıktısıdır.

Hesaplanan ağırlık değişimleri önceki ağırlıklar ile toplanarak güncellenir:

$$W_{ij}^{yeni} = W_{ij}^{eski} + \Delta w_{ij} \quad (10)$$

5. ANALİZ VE HESAPLAMALAR

5.1 Giriş

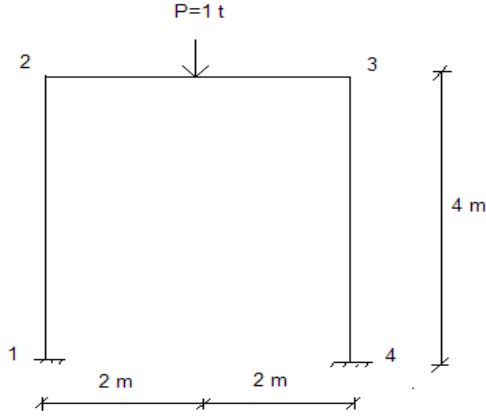
Bu bölümde beş adet uygulama yapılmıştır. İlk üç uygulamada sistemlere 1t'luk tekil yük, diğer iki uygulamada ise 1 t/m'lik düzgün yayılı yük etki ettirilmiştir. İlk uygulamada tekil yük basit çerçevenin ortasından ve düşey yönde, ikinci uygulamada tekil yük basit çerçevenin sol köşesinden L/4 kadar uzaklıkta ve düşey yönde, üçüncü uygulamada ise yük çerçevenin köşesinden ve yatay yönde etki ettirilmiştir. Dördüncü ve beşinci uygulamalarda düzgün yayılı yük 2 ve 3 nolu elemanların üzerinde ve düşey yöndedir. Çeşitli yükleme kombinasyonları kullanılmasının sebebi, yapay sinir ağlarının bu kombinasyonların hepsinde başarı sağlayıp sağlayamayacağını belirlemektir.

Çeşitli şekillerinde yükleme yapılmış sistemlerde, ilk olarak çubuklar üzerinde bazı kritik noktalarındaki momentler, kontrollü bir şekilde arttırılan atalet momentlerine bağlı olarak, analitik yöntemlerle hesaplanmıştır. Momentler bulunurken kesme kuvveti ve normal kuvvet etkileri göz ardı edilmiştir. Daha sonra çubuk elemanlar arasındaki atalet momenti oranlarıyla, yine aynı çubuklardaki bazı kritik noktaların moment oranları ilişkisi hakkında genel denklemler çıkarılmıştır.

Bu denklemlerden elde edilen sonuçlar yapay sinir ağlarının çıkış katmanında bir kontrol mekanizması olarak kullanılmıştır. Çeşitli eğitim setleri ile ağlar eğitilmiş ve test setleri kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca ağ için en iyi yakınsamayı sağlayacak gizli katman nöron adedinin belirlenebilmesi için, her uygulamada 2,6 ve 10 adet nöron içeren gizli katmanlar kullanılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

5.2 Sabit Tekil Yük Altında Moment Dağılımı- Atalet Momenti İlişkisinin Araştırılması

5.2.1 Tekil Yükün Çubuk Ortasında Olması Durumu



Şekil 5.1 P tekil yükü konumu

İlk çalışma, yukarıda verilen iki adet ankastre mesnetle bağlanmış çerçeve sistem üzerinde yapılmıştır. İlk olarak L_{12} , L_{23} ve L_{34} çubuk uzunlukları 4 m ve P yükü 1 ton sabit tutularak L_{23} çubuğunun atalet momenti I, 2I, 3I, 4I ve 5I olarak değiştirilmiştir. Daha sonra L_{23} ve L_{34} çubuğunun atalet momenti sabit tutularak L_{12} çubuğunun atalet momenti I, 2I, 3I, 4I ve 5I olarak değiştirilmiştir.

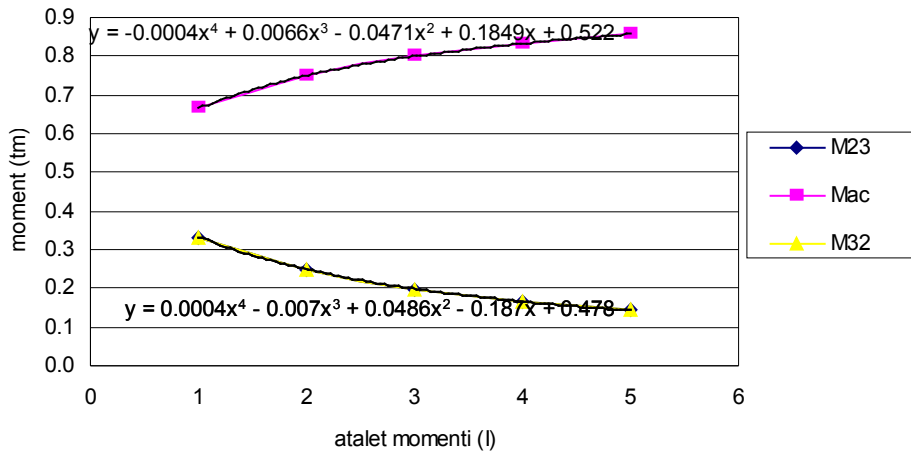
M_{23} (2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri), M_{ac} (2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri) ve M_{32} (2-3 çubuk elemanının 3 noktasındaki moment değeri) momentleri çerçeve sistem için belirleyici olduklarından ve incelemek yeterli olacağından, sadece bu üç momentin değişimi incelenecektir. Kullanılan yapay sinir ağına çıktılar gösterilirken momentlerin aldığı değerlerin mutlak değerleri alınmıştır.

Tablo 1. L=4 m için I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)		
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}
4	4	4	I-I-I	2.00	2.00	0.333	0.666	0.333
4	4	4	I-2I-I	2.00	2.00	0.249	0.750	0.249
4	4	4	I-3I-I	2.00	2.00	0.199	0.800	0.199
4	4	4	I-4I-I	2.00	2.00	0.166	0.833	0.166
4	4	4	I-5I-I	2.00	2.00	0.143	0.857	0.143

x_1 , p tekil yükünün 2 noktasına uzaklığı; x_2 , p tekil yükünün 3 noktasına uzaklığı; M_{23} , 2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri; M_{ac} , 2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri; M_{32} , 2-3 çubuk elemanının 3 noktasındaki moment değeri

Çıktı katmanında bir kontrol mekanizması oluşturmak açısından, sistemler ilk olarak hiperstatik sistemlerin çözümünde kullanılan metodlardan biri olan Cross Metodu ile çözülmüştür. Sonuçlar aşağıdaki tabloda ve grafikte verilmiştir. Çözüm yapılırken kesme kuvveti ve normal kuvvet etkileri dikkate alınmamıştır.



Şekil 5.2 M_{23} , M_{ac} , M_{32} için moment - atalet momenti ilişkisi

Şekil 5.2 de “I” (atalet momenti) değerinin değişimi ile üç momentin nasıl değiştiği görülmektedir. Belirtilen noktalardan geçen en uygun eğriler ve bunların denklemleri Excel programında bulunmuştur. Programın bulduğu denklemler aşağıda belirtilmiştir:

$$M_{23} = 0.0004x^4 - 0.007x^3 + 0.0486x^2 - 0.0187x + 0.478 \quad (1)$$

M_{23} , 2-3 çubuk elemanın 2 noktasındaki moment değeri, $x = I_{23}/I_{12}$

$$M_{ac} = -0.0004x^4 + 0.0066x^3 - 0.0471x^2 + 0.1849x + 0.522 \quad (2)$$

M_{ac} , 2-3 çubuk elemanın orta noktasındaki moment değeri, $x = I_{23}/I_{12}$

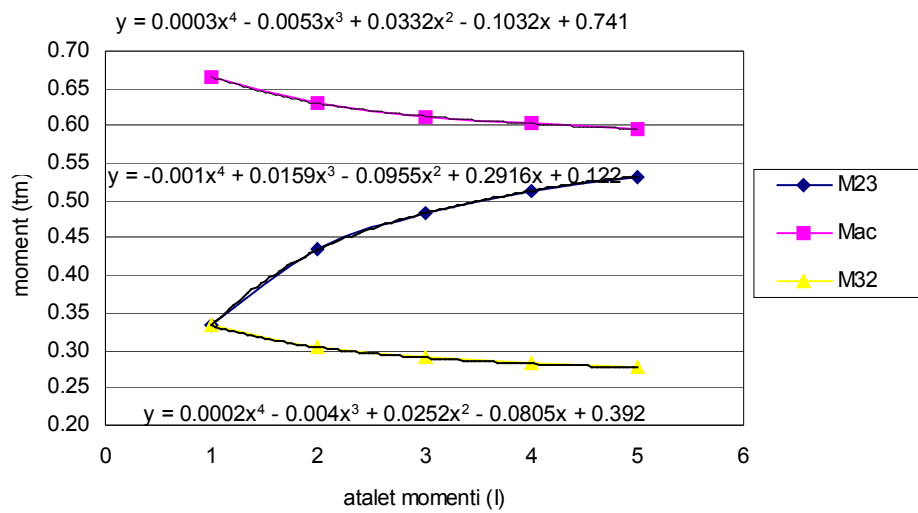
$$M_{32} = 0.0004x^4 - 0.007x^3 + 0.0486x^2 - 0.0187x + 0.478 \quad (3)$$

M_{32} , 2-3 çubuk elemanın 3 noktasındaki moment değeri, $x = I_{23}/I_{12}$

Tablo 2. $L = 4$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)		
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}
4	4	4	I-I-I	2.00	2.00	0.333	0.666	0.333
4	4	4	2I-I-I	2.00	2.00	0.434	0.630	0.304
4	4	4	3I-I-I	2.00	2.00	0.484	0.613	0.290
4	4	4	4I-I-I	2.00	2.00	0.513	0.603	0.282
4	4	4	5I-I-I	2.00	2.00	0.532	0.596	0.277

x_1 , p tekil yükünün 2 noktasına uzaklığı; x_2 , p tekil yükünün 3 noktasına uzaklığı; M_{23} , 2-3 çubuk elemanın 2 noktasındaki moment değeri; M_{ac} , 2-3 çubuk elemanın orta noktasındaki moment değeri; M_{32} , 2-3 çubuk elemanın 3 noktasındaki moment değeri



Şekil 5.3 M_{23} , M_{ac} , M_{32} için moment - atalet momenti ilişkisi

Şekil 5.3’de I (atalet momenti) değerinin değişimi ile üç momentin nasıl değiştiği görülmektedir. Belirtilen noktalardan geçen en uygun eğriler ve bunların denklemleri Excel programında bulunmuştur. Programın bulduğu denklemler aşağıda belirtilmiştir:

$$M_{23} = 0.001x^4 + 0.0159x^3 - 0.0955x^2 + 0.02916x + 0.122 \quad (1)$$

M_{23} , 2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri, $x = I_{12}/I_{23}$

$$M_{ac} = 0.0003x^4 - 0.0053x^3 + 0.0332x^2 - 0.1032x + 0.741 \quad (2)$$

M_{ac} , 2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri, $x = I_{12}/I_{23}$

$$M_{32} = 0.0002x^4 - 0.004x^3 + 0.0252x^2 - 0.0805x + 0.392 \quad (3)$$

M_{32} , 2-3 çubuk elemanının 3 noktasındaki moment değeri, $x = I_{12}/I_{23}$

Daha sonra üç kritik nokta için (M_{23} , M_{ac} ve M_{32}) bulunan moment değerleri ve çubukların atalet momentleri arasında bir bağıntı aranmıştır. Mevcut olan durumlardan birincisi L_{23} çubuğunun atalet momentinin arttırılırken diğer iki çubuğun atalet momentinin sabit tutulması, ikincisi ise L_{12} çubuğunun atalet momentinin arttırılırken diğer iki çubuğun atalet momentinin sabit tutulmasıdır. Üçüncü bir durum olan L_{34} çubuğunun atalet momentinin arttırılırken diğer iki çubuğun atalet momentinin sabit tutulması ikinci olayın aynısı olduğundan işlem tekrar edilmemiştir.

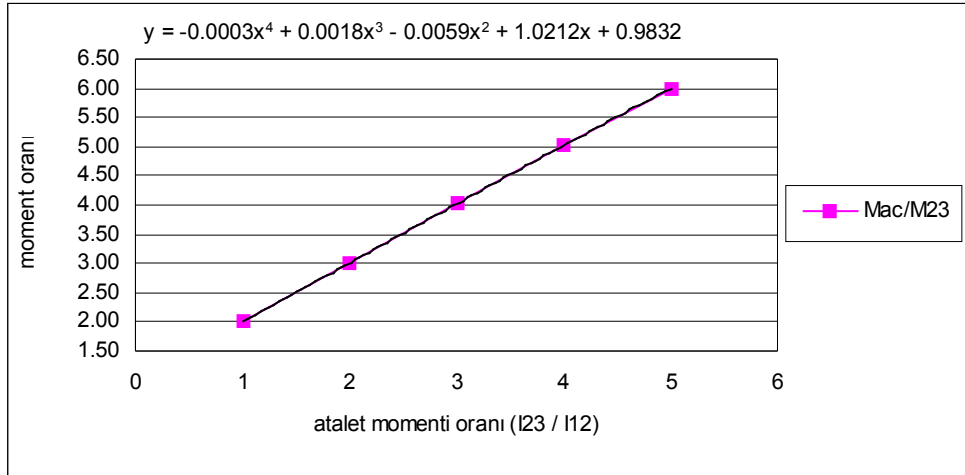
Aşağıda çubuk boyları, atalet momenti oranları ve P tekil yükünün sol köşeye ve sağ köşeye uzaklığı (x_1 , x_2) durumlarına göre moment dağılımları ve bunların oranları görülmektedir.

Tablo 3. I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum için oranlar

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)			
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}	M_{ac}/M_{23}
4	4	4	I-I-I	2.00	2.00	0.333	0.666	0.333	2.000
4	4	4	I-2I-I	2.00	2.00	0.249	0.750	0.249	3.012
4	4	4	I-3I-I	2.00	2.00	0.199	0.800	0.199	4.020
4	4	4	I-4I-I	2.00	2.00	0.166	0.833	0.166	5.018
4	4	4	I-5I-I	2.00	2.00	0.143	0.857	0.143	5.993

x_1 , p tekil yükünün 2 noktasına uzaklığı; x_2 , p tekil yükünün 3 noktasına uzaklığı; M_{23} , 2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri; M_{ac} , 2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri; M_{32} , 2-3 çubuk elemanının 3 noktasındaki moment değeri

Şekilde y ekseninde moment değerlerinin birbirlerine oranlarının x ekseninde I atalet momentlerine bağlı değişimi görülmektedir. Sistem simetrik olduğundan denklemler eşit çıkmıştır.



Şekil 5.4 M_{ac} / M_{23} için moment - atalet momenti oranı

$$M_{ac} / M_{23} = -0.0003x^4 + 0.0018x^3 - 0.0059x^2 + 1.0212x + 0.9832 \quad (1)$$

M_{23} , 2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri $x = I_{23} / I_{12}$

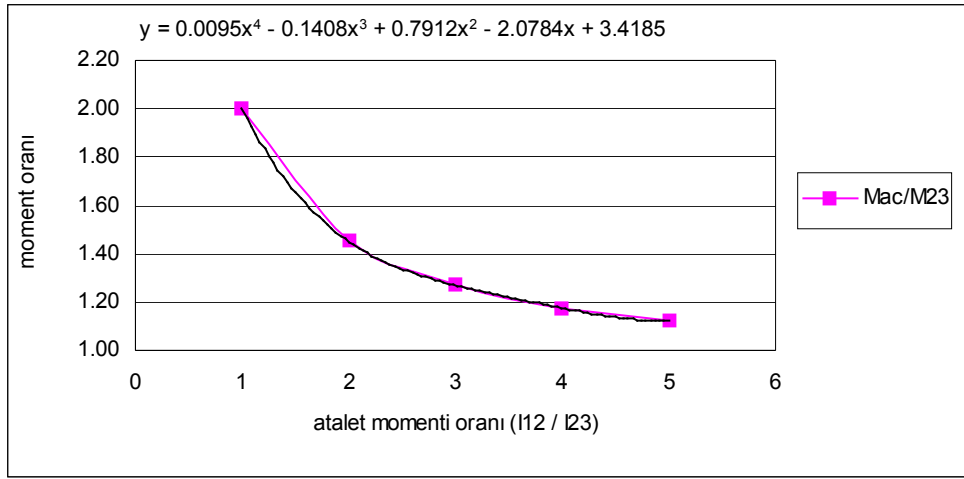
M_{ac} , 2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri $x = I_{23} / I_{12}$

Yine aşağıdaki tablo ve grafikte 1-2 çubuğunun atalet momenti değiştirilerek momentlerin oranlarının atalet momentleri ile değişimi araştırılmıştır. Grafikte bulunan noktalardan geçen en uygun eğrilerin denklemleri Excel programı ile bulunarak sadece atalet momentine bağlı olarak değişimi genel bir 4. derece denklemi ile belirlenmiştir.

Tablo 4. I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum için oranlar

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)			
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}	M_{ac}/M_{23}
4	4	4	I-I-I	2.00	2.00	0.333	0.666	0.333	2.000
4	4	4	2I-I-I	2.00	2.00	0.434	0.630	0.304	1.452
4	4	4	3I-I-I	2.00	2.00	0.483	0.613	0.290	1.269
4	4	4	4I-I-I	2.00	2.00	0.513	0.603	0.282	1.175
4	4	4	5I-I-I	2.00	2.00	0.532	0.596	0.277	1.120

x_1 , p tekil yükünün 2 noktasına uzaklığı; x_2 , p tekil yükünün 3 noktasına uzaklığı; M_{23} , 2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri; M_{ac} , 2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri; M_{32} , 2-3 çubuk elemanının 3 noktasındaki moment değeri



Şekil 5.5 M_{ac} / M_{23} için moment - atalet momenti oranı

Şekil 5.5 'de iki denklem görülmektedir. Bu denklemler şöyledir:

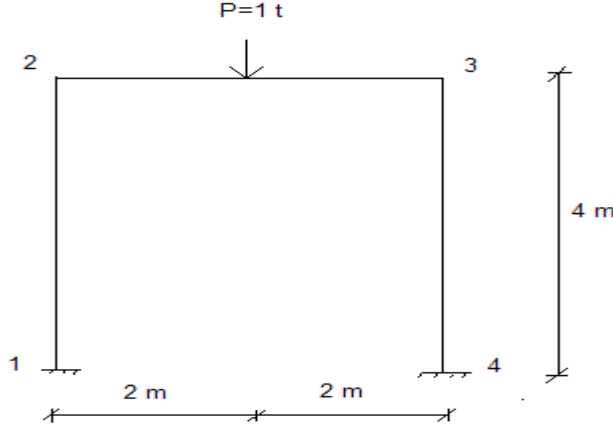
$$M_{ac} / M_{23} = 0.0095x^4 - 0.1408x^3 + 0.7912x^2 - 2.0784x + 3.4185 \quad (2)$$

M_{23} , 2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri, $x = I_{12} / I_{23}$

M_{ac} , 2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri

$(x,y)=(1,2)$ noktası üç çubuğun atalet momentinin 1 olduğu noktadır. Daha sonra L_{12} çubuğunun atalet momenti arttıkça doğal olarak M_{23} momenti artmış ve L_{23} çubuğunun ortasındaki açıklık momenti azalmıştır. Bu iki değer birbirine oranı da (M_{ac} / M_{23}) artmıştır.

5.2.1.1 YSA İle Uygulama 1



Şekil 5.6 P tekil yükü konumu

Yukarıda tam ortadan 1t'luk kuvvetle yüklenmiş olan basit çerçevenin çubuklarında bu tekil kuvvete bağlı olarak oluşmuş momentlerin, atalet momentleri ile ilişkisini ortaya koyan denklemler çıkarılmıştı. Şimdi bu denklemler ağıın çıktı katmanında bir kontrol mekanizması olarak kullanılacak, yapay sinir ağına sistem tanıtılacak ve eğitim setinde kullanılmayan veriler ile bir test seti oluşturulacaktır.

Kullanılacak olan momentler M_{ac} ve M_{23} ' tür. M_{32} momentinin de sisteme dahil edilebileceği açıktır ama işlem kolaylığı açısından sadece M_{ac} / M_{23} oranını incelemek yeterli olacaktır. Ağıın verdiği cevaplar ve hata miktarlarının ara katman nöron sayısı ve iterasyon sayısına bağlı değişimi araştırılacaktır. Yapay sinir ağıında ilk olarak test seti yerine eğitim seti kullanılacak, ağıın genel olarak bir yakınsama sağlayıp sağlamadığı kontrol edilecektir. Sigmoid fonksiyonun özelliğine bağlı olarak giriş ve çıkışlar 0 – 1 arasında seçilmelidir. Dolayısı ile veriler belli bir oran dahilinde küçültülecektir. Örneğin; $2I = 0.2$, $5I = 0.5$ vb. olarak tanıtılacaktır.

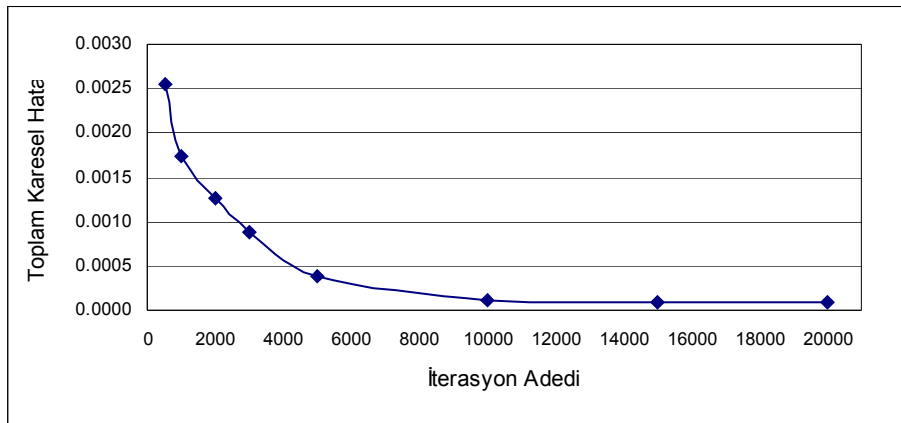
Tablo 5. Uygulama 1 için eğitim seti

Veri No	I_{12}	I_{23}	M_{ac}/M_{23}
1	1I	3I	0.4018
2	2I	2I	0.200
3	2I	5I	0.3516
4	5I	1I	0.1144
5	3I	2I	0.1654
6	4I	5I	0.2253
7	5I	3I	0.1574

Tablo 6. Uygulama 1 için test seti

Veri No	I_{12}	I_{23}	M_{ac}/M_{23}
1	2I	4I	0.3012
2	5I	2I	0.1346
3	3I	3I	0.2000
4	2I	3I	0.2512
5	4I	1I	0.1185

Eğitim setindeki yedi adet veri kullanılarak eğitilen sistem, 500 iterasyondan başlanarak 20000 iterasyona kadar yine eğitim setindeki veriler kullanılarak çalıştırılmış ve 500, 1000, 2000, 3000, 5000, 10000, 15000, 20000 iterasyon adımlarında her bir verinin hatası kaydedilmiştir (Tablo 7). Bu hataların kareleri alınarak toplanmış ve toplam sonuç ikiye bölünmüştür. Toplam karesel hatalar bulunmuş ve Şekil 5. 7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Eğitim seti için iterasyon adedine bağlı toplam karesel hata değişimi

Tablo 7. Eğitim seti verileri için iterasyon adedine bağlı hata değerleri

Veri Seti	İterasyon Adedi							
	500	1000	2000	3000	5000	10000	15000	20000
1	0.054	0.037	0.025	0.017	0.007	0.001	0.002	0.002
2	0.039	0.034	0.034	0.031	0.023	0.012	0.009	0.009
3	0.003	0.017	0.013	0.009	0.003	0.002	0.003	0.003
4	0.004	0.007	0.005	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
5	0.024	0.013	0.011	0.007	0.001	0.006	0.007	0.007
6	0.001	0.008	0.014	0.015	0.012	0.005	0.004	0.004
7	0.009	0.019	0.016	0.012	0.004	0.004	0.006	0.006

Şekil 5.7'ye bakıldığında iterasyon adımları ilerledikçe ağıın toplam karesel hatası giderek azalmakta ve sıfıra yaklaşmaktadır. Yakınsama ilk başlarda çok hızlı gerçekleşmekte fakat 10000 iterasyondan sonra hızı oldukça düşmektedir. Yani bu ağda 10000 iterasyon yapmak yeterli olacaktır. Daha fazla iterasyon yapılırsa bile artık daha sağlıklı bir sonuç alınamayacaktır. Tablo 8-11'de gizli katman nöron adedi 2, 6 ve 10 olmak üzere, test seti verileri için 10000 iterasyon sonucu bulunan hata değerleri ve yüzdeleri verilmiştir:

Tablo 8. 10000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 2 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.3012	0.3078	0.0066	2.25
2	0.1346	0.1388	0.0042	3.12
3	0.2000	0.1923	0.0077	3.85
4	0.2512	0.2609	0.0097	3.86
5	0.1185	0.1250	0.0065	5.48

Tablo 9. 10000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 6 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.3012	0.3053	0.0041	1.37
2	0.1346	0.1343	0.0003	0.21
3	0.2000	0.1921	0.0079	3.95
4	0.2512	0.2574	0.0062	2.47
5	0.1185	0.1144	0.0041	3.46

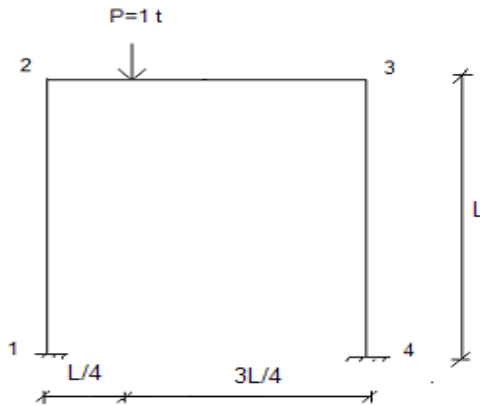
Tablo 10. 10000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 10 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.3012	0.3186	0.0174	5.79
2	0.1346	0.1149	0.0003	0.22
3	0.2000	0.2110	0.0197	9.85
4	0.2512	0.2769	0.0257	10.23
5	0.1185	0.1148	0.0037	3.12

Tablo 11. Gizli katman nöron adedine bağlı toplam hata yüzdeleri

Gizli katman nöron adedi	Toplam hata yüzdesi
2	18.56
6	11.46
10	29.21

5.2.2 Tekil Yükün Çubuk Üzerinde $L/4$ ' te Olması Durumu



Şekil 5.8 P tekil yükü konumu ($L/4$ için)

İlk olarak L_{23} çubuğunun ortasında P tekil yükleme durumu için yapılan çalışmalar bu seferde 2 noktasından $L / 4$ kadar uzaklık durumu için tekrar edilmiştir. L_{12} , L_{23} , L_{34} çubuk uzunlukları bu kez sırayla 3m, 4m ve 5m olarak değiştirilmiş ve çubuk uzunluklarının moment dağılımı üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. P yükü 1 ton sabit tutularak L_{23} çubuğunun atalet momenti I, 2I, 3I, 4I ve 5I olarak değiştirilmiştir.

Daha sonra L_{23} ve L_{34} çubuğunun atalet momenti sabit tutularak L_{12} çubuğunun atalet momenti I, 2I, 3I, 4I ve 5I olarak değiştirilmiştir. Bir önceki örnekte olduğu gibi M_{23} (2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri), M_{ac} (2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri) ve M_{32} (2-3 çubuk elemanının 3 noktasındaki moment değeri) çerçeve sistem için belirleyici olduklarından ve incelemek yeterli olacağından yine bu üç momentin değişimi incelenecektir.

Kullanılan yapay sinir ağına çıktılar gösterilirken momentlerin aldığı değerlerin mutlak değerleri alınmıştır. Çerçeve moment dağılımı bulunurken kesme kuvveti ve normal kuvvet etkileri ihmal edilmiştir.

Tablo 12. $L=3$ m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)		
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}
3	3	3	I-I-I	0.75	2.25	0.244	0.347	0.131
3	3	3	I-2I-I	0.75	2.25	0.176	0.404	0.105
3	3	3	I-3I-I	0.75	2.25	0.138	0.437	0.087
3	3	3	I-4I-I	0.75	2.25	0.114	0.459	0.074
3	3	3	I-5I-I	0.75	2.25	0.097	0.474	0.064

x_1 , p tekil yükünün 2 noktasına uzaklığı; x_2 , p tekil yükünün 3 noktasına uzaklığı; M_{23} , 2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri; M_{ac} , 2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri; M_{32} , 2-3 çubuk elemanının 3 noktasındaki moment değeri

Tablo 13. $L=3$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)		
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}
3	3	3	I-I-I	0.75	2.25	0.244	0.347	0.131
3	3	3	2I-I-I	0.75	2.25	0.318	0.297	0.110
3	3	3	3I-I-I	0.75	2.25	0.354	0.272	0.100
3	3	3	4I-I-I	0.75	2.25	0.375	0.258	0.094
3	3	3	5I-I-I	0.75	2.25	0.389	0.248	0.090

Tablo 14. $L=4$ m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)		
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}
4	4	4	I-I-I	1.00	3.00	0.325	0.463	0.175
4	4	4	I-2I-I	1.00	3.00	0.234	0.539	0.141
4	4	4	I-3I-I	1.00	3.00	0.184	0.583	0.116
4	4	4	I-4I-I	1.00	3.00	0.152	0.612	0.098
4	4	4	I-5I-I	1.00	3.00	0.129	0.632	0.085

Tablo 15. $L=4$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)		
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}
4	4	4	I-I-I	1.00	3.00	0.325	0.463	0.175
4	4	4	2I-I-I	1.00	3.00	0.424	0.395	0.147
4	4	4	3I-I-I	1.00	3.00	0.472	0.363	0.133
4	4	4	4I-I-I	1.00	3.00	0.500	0.344	0.125
4	4	4	5I-I-I	1.00	3.00	0.519	0.331	0.120

Tablo 16. $L=5$ m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)		
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}
5	5	5	I-I-I	1.25	3.75	0.406	0.578	0.219
5	5	5	I-2I-I	1.25	3.75	0.293	0.674	0.176
5	5	5	I-3I-I	1.25	3.75	0.230	0.729	0.145
5	5	5	I-4I-I	1.25	3.75	0.190	0.765	0.123
5	5	5	I-5I-I	1.25	3.75	0.161	0.790	0.106

Tablo 17. $L=5$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)		
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}
5	5	5	I-I-I	1.25	3.75	0.406	0.578	0.219
5	5	5	2I-I-I	1.25	3.75	0.530	0.494	0.183
5	5	5	3I-I-I	1.25	3.75	0.590	0.454	0.166
5	5	5	4I-I-I	1.25	3.75	0.625	0.430	0.156
5	5	5	5I-I-I	1.25	3.75	0.648	0.414	0.150

Yukarıda değişken (3 m, 4 m ve 5 m) çubuk boyları ve değişken (I, 2I, 3I, 4I ve 5I) atalet momentleri için, tekil yük sol köşeden $L_{23} / 4$ kadar uzaklıkta iken M_{23} (2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri), M_{ac} (2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri) ve M_{32} (2-3 çubuk elemanının 3 noktasındaki moment değeri) momentlerinin değerleri hesaplanmıştır. Farklı çubuk boylarının kullanılmasındaki temel amaç, eğer moment dağılımları ile çubuk boyları arasında bir ilişki varsa sabit bir çubuk boyu belirleyip işlemleri bu duruma göre yapmak ve işlem kolaylığı sağlamaktır. Neticede bulunan tüm momentler ait olduğu çubuk boylarına bölünmüştür. Sonuçlar aşağıdaki tablolarda belirtilmiştir:

Tablo 18. I_{12} değişken, I_{23} ve I_{34} sabit durum için M/L oranları

$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	L_{12}	L_{23}	L_{34}	L_{12}	L_{23}	L_{34}	L_{12}	L_{23}	L_{34}
	5 m	5 m	5 m	4 m	4 m	4 m	3 m	3 m	3 m
	$M_{23} / 5$	$M_{ac} / 5$	$M_{32} / 5$	$M_{23} / 4$	$M_{ac} / 4$	$M_{32} / 4$	$M_{23} / 3$	$M_{ac} / 3$	$M_{32} / 3$
I-I-I	0.081	0.116	0.044	0.081	0.116	0.044	0.081	0.116	0.044
2I-I-I	0.106	0.099	0.037	0.106	0.099	0.037	0.106	0.099	0.037
3I-I-I	0.118	0.091	0.033	0.118	0.091	0.033	0.118	0.091	0.033
4I-I-I	0.125	0.086	0.031	0.125	0.086	0.031	0.125	0.086	0.031
5I-I-I	0.130	0.083	0.030	0.130	0.083	0.030	0.130	0.083	0.030

M_{23} , 2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri; M_{ac} , 2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri; M_{34} , 2-3 çubuk elemanının 3 noktasındaki moment değeri

Tablo 19. I_{23} değişken, I_{12} ve I_{34} sabit durum için m/L oranları

$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	L_{12}	L_{23}	L_{34}	L_{12}	L_{23}	L_{34}	L_{12}	L_{23}	L_{34}
	5 m	5 m	5 m	4 m	4 m	4 m	3 m	3 m	3 m
	$M_{23} / 5$	$M_{ac} / 5$	$M_{32} / 5$	$M_{23} / 4$	$M_{ac} / 4$	$M_{32} / 4$	$M_{23} / 3$	$M_{ac} / 3$	$M_{32} / 3$
I-I-I	0.065	0.093	0.035	0.065	0.093	0.035	0.065	0.093	0.035
I-2I-I	0.047	0.108	0.028	0.047	0.108	0.028	0.047	0.108	0.028
I-3I-I	0.037	0.117	0.023	0.037	0.117	0.023	0.037	0.117	0.023
I-4I-I	0.030	0.122	0.020	0.030	0.122	0.020	0.030	0.122	0.020
I-5I-I	0.026	0.126	0.017	0.026	0.126	0.017	0.026	0.126	0.017

Sonuç olarak momentler çubuk boylarına bölündüğünde hem I_{23} değişken, I_{12} ve I_{34} sabit durum için hem de I_{12} değişken, I_{23} ve I_{34} sabit durum için kendi içlerinde aynı oranlar elde edilmiştir. Yani çubuk boylarıyla momentler arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Bu sebepten moment ve atalet momenti arasındaki oranlar için yapılacak olan hesaplar, sadece 4 m 'lik çubuk boyu kullanılarak yapılacak, daha sonra farklı çubuk boylarındaki moment ve atalet momenti arasındaki oranları hesaplamak için bir genelleme yapmak yeterli olacaktır.

Daha sonra yine bu üç kritik nokta için (M_{23} , M_{ac} ve M_{32}) bulunan moment değerleri ve çubukların atalet momentleri arasında bir bağıntı aranmıştır. Mevcut olan durumlardan birincisi L_{23} çubuğunun atalet momentinin artırılırken diğer iki

çubuğun atalet momentinin sabit tutulması, ikincisi ise L_{12} çubuğunun atalet momentinin arttırılırken diğer iki çubuğun atalet momentinin sabit tutulmasıdır.

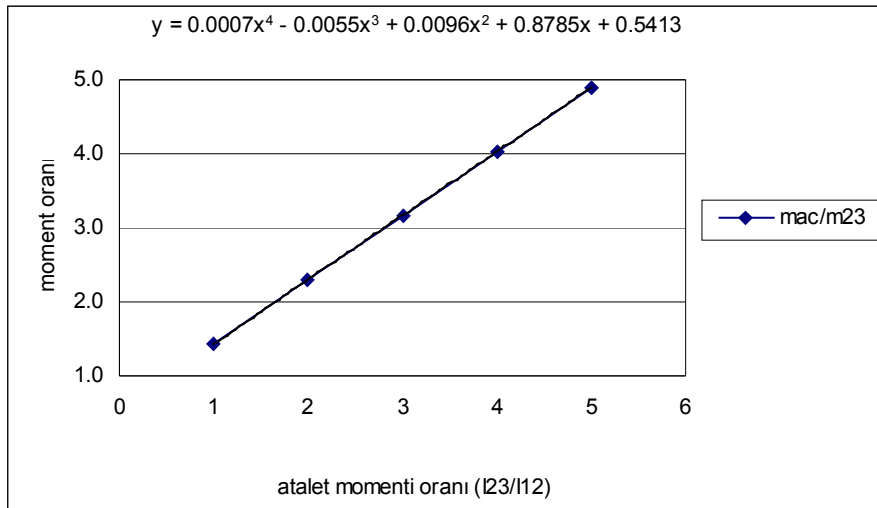
Aşağıda çubuk boyları, atalet momenti oranları ve P tekil yükünün (1t) sol köşeye ve sağ köşeye uzaklığı (x_1 , x_2) durumlarına göre moment dağılımları ve bunların oranları görülmektedir.

$L = 4$ m için denklem çıkarılacaktır.

Tablo 20. I_{12} ve I_{34} sabit I_{23} değişken durum için oranlar

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)			
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}	M_{ac}/M_{23}
4	4	4	I-I-I	1.00	3.00	0.325	0.463	0.175	1.425
4	4	4	I-2I-I	1.00	3.00	0.234	0.539	0.141	2.303
4	4	4	I-3I-I	1.00	3.00	0.184	0.583	0.116	3.168
4	4	4	I-4I-I	1.00	3.00	0.152	0.612	0.098	4.026
4	4	4	I-5I-I	1.00	3.00	0.129	0.632	0.085	4.899

M_{23} , 2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri; M_{ac} , 2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri; M_{32} , 2-3 çubuk elemanının 3 noktasındaki moment değeri



Şekil 5.9 M_{ac} / M_{23} için moment - atalet momenti oranı

$$M_{ac}/M_{23} = 0.0007x^4 - 0.0055x^3 + 0.0096x^2 + 0.8785x + 0.5413 \quad (1)$$

M_{23} , 2-3 çubuk elemanın 2 noktasındaki moment değeri, $x = I_{23}/I_{12}$

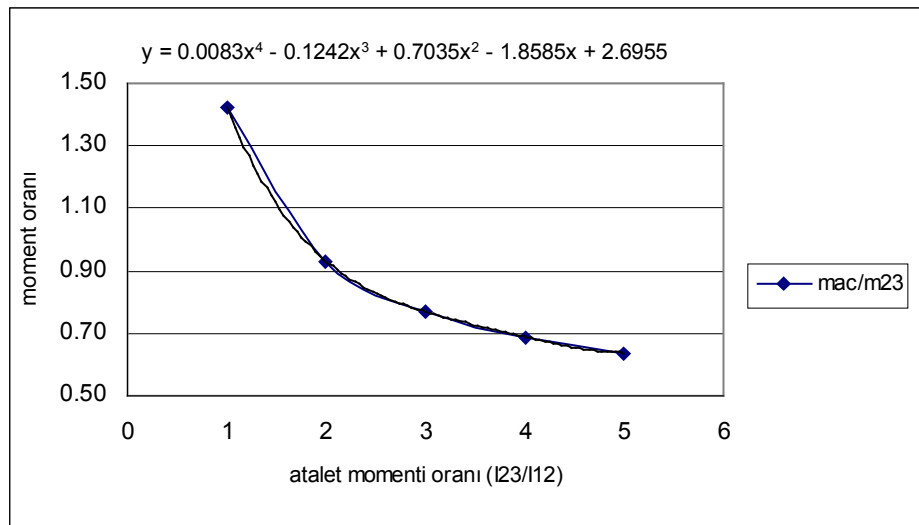
M_{ac} , 2-3 çubuk elemanın orta noktasındaki moment değeri

Bu işlemden sonra 1-2 çubuğunun atalet momenti değiştirilerek momentlerin oranlarının atalet momentleri ile ilişkisi araştırılmıştır. Grafikte bulunan noktalardan geçen en uygun eğrilerin denklemleri Excel programı ile bulunarak sadece atalet momentine bağlı olarak değişimi genel bir 4. derece denklemi ile belirlenmiştir.

Tablo 21. I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum için oranlar

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Yük Konumu (m)		Moment Değerleri (tm)			
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	x_1	x_2	M_{23}	M_{ac}	M_{32}	M_{ac}/M_{23}
4	4	4	I-I-I	1.00	3.00	0.325	0.463	0.175	1.425
4	4	4	2I-I-I	1.00	3.00	0.424	0.395	0.147	0.932
4	4	4	3I-I-I	1.00	3.00	0.472	0.363	0.133	0.769
4	4	4	4I-I-I	1.00	3.00	0.500	0.344	0.125	0.688
4	4	4	5I-I-I	1.00	3.00	0.519	0.331	0.120	0.638

M_{23} , 2-3 çubuk elemanın 2 noktasındaki moment değeri; M_{ac} , 2-3 çubuk elemanın orta noktasındaki moment değeri; M_{32} , 2-3 çubuk elemanın 3 noktasındaki moment değeri



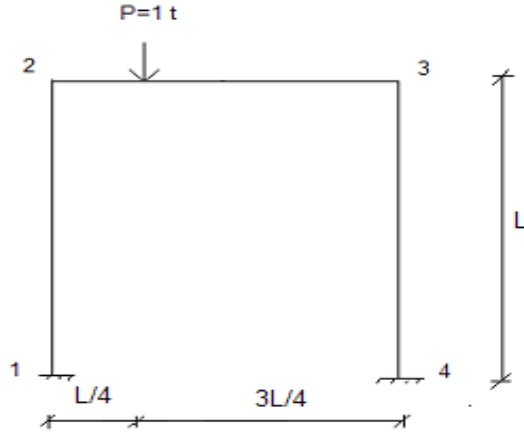
Şekil 5.10 M_{ac} / M_{23} için moment - atalet momenti oranı

$$M_{ac}/M_{23} = 0.0083x^4 - 0.1242x^3 + 0.7035x^2 - 1.8585x + 2.6955 \quad (2)$$

M_{23} , 2-3 çubuk elemanının 2 noktasındaki moment değeri, $x = I_{12}/I_{23}$,

M_{ac} , 2-3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri

5.2.2.1 YSA İle Uygulama 2



Şekil 5.11 P tekil yük konumu

Yukarıda 2 köşesine $L/4$ kadar uzaklıkta $1t$ 'luk tekil yükü yüklenmiş olan basit çerçevenin çubuklarında bu tekil yüke bağlı olarak oluşmuş momentlerin, atalet momentleri ile ilişkisini ortaya koyan denklemler çıkarılmıştı. Şimdi bu denklemler ağıın çıktığı katmanında bir kontrol mekanizması olarak kullanılacak, yapay sinir ağına sistem tanıtılacak ve eğitim setinde kullanılmayan veriler ile bir test seti oluşturulacaktır. Kullanılacak olan momentler M_{ac} ve M_{23} 'tür.

Tablo 22. Uygulama 2 için eğitim seti

Veri No	I_{12}	I_{23}	M_{ac}/M_{23}
1	$1I$	$3I$	0.3161
2	$3I$	$3I$	0.1421
3	$2I$	$5I$	0.2730
4	$5I$	I	0.0653
5	$3I$	$2I$	0.1113
6	$4I$	$5I$	0.1641
7	$5I$	$3I$	0.1041

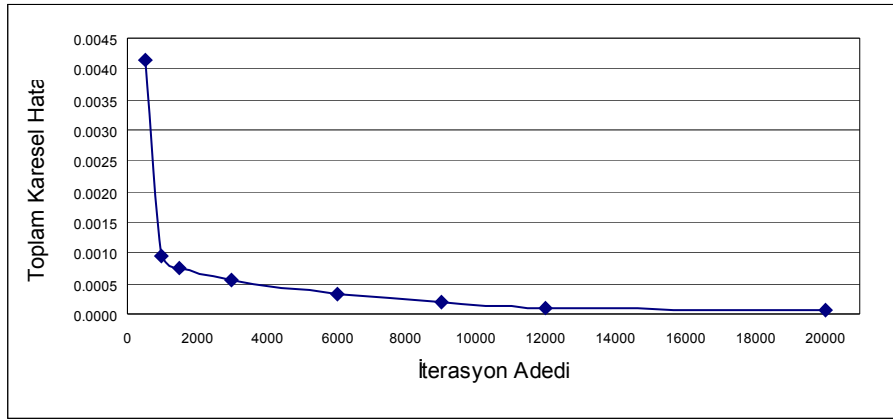
Tablo 23. Uygulama 2 için test seti

Veri No	I_{12}	I_{23}	M_{ac}/M_{23}
1	5I	2I	0.0830
2	3I	5I	0.2006
3	3.5I	3.5I	0.1421
4	1.5I	4.5I	0.3161
5	1I	2.5I	0.2730

Eğitim setindeki yedi adet veri kullanılarak eğitilen sistem, 1000 iterasyondan başlanarak 20000 iterasyona kadar yine eğitim setindeki veriler kullanılarak çalıştırılmış ve 1000, 1500, 3000, 6000, 9000, 12000, 20000 iterasyon adımlarında her bir verinin hatası kaydedilmiştir (Tablo 24). Bu hataların kareleri alınarak toplanmış ve toplam sonuç ikiye bölünmüştür. Toplam karesel hatalar bulunmuş ve Şekil 5.12’de gösterilmiştir.

Tablo 24. Eğitim seti verileri için iterasyon adedine bağlı hata değerleri

Veri Seti	İterasyon Adedi						
	1000	1500	3000	6000	9000	12000	20000
1	0.031	0.023	0.013	0.004	0.001	0.004	0.007
2	0.009	0.008	0.006	0.004	0.003	0.003	0.002
3	0.017	0.017	0.012	0.006	0.002	0.002	0.006
4	0.009	0.008	0.009	0.008	0.005	0.003	0.001
5	0.017	0.016	0.016	0.014	0.011	0.009	0.006
6	0.008	0.013	0.018	0.017	0.014	0.010	0.005
7	0.011	0.012	0.011	0.008	0.005	0.003	0.001



Şekil 5.12 Eğitim seti için iterasyon adedine bağlı toplam karesel hata değişimi

Şekil 5.12'ye bakıldığında iterasyon adımları ilerledikçe ağıın toplam karesel hatası giderek azalmakta ve sıfıra yaklaşmaktadır. Yakınsama ilk başlarda çok hızlı gerçekleşmekte fakat 12000 iterasyondan sonra hızı oldukça düşmektedir. Yani bu ağda 12000 iterasyon yapmak yeterli olacaktır. Daha fazla iterasyon yapılsa bile artık daha sağlıklı bir sonuç alınamayacaktır. Tablo 25-28'de gizli katman nöron adedi 2, 6 ve 10 olmak üzere, test seti verileri için 12000 iterasyon sonucu bulunan hata değerleri ve yüzdeleri verilmiştir:

Tablo 25. 12000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 2 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.0830	0.0847	0.0017	2.05
2	0.2006	0.2025	0.0019	0.95
3	0.1421	0.1344	0.0077	5.42
4	0.3161	0.3180	0.0019	0.60
5	0.2730	0.2764	0.0034	1.25

Tablo 26. 12000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 6 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.0830	0.0796	0.0034	4.10
2	0.2006	0.2014	0.0008	0.40
3	0.1421	0.1395	0.0026	1.83
4	0.3161	0.3117	0.0044	1.39
5	0.2730	0.2890	0.0160	5.86

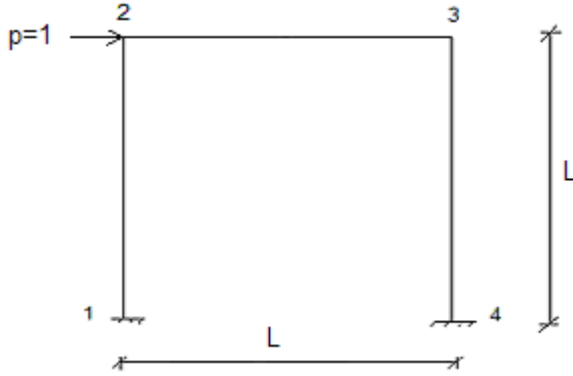
Tablo 27. 12000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 10 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.0830	0.0693	0.0137	16.51
2	0.2006	0.2078	0.0072	3.59
3	0.1421	0.1434	0.0013	0.91
4	0.3161	0.3076	0.0085	2.69
5	0.2730	0.2826	0.0096	3.52

Tablo 28. Gizli katman nöron adedine bağlı toplam hata yüzdeleri

Gizli katman nöron adedi	Toplam hata yüzdesi
2	10.27
6	13.58
10	27.22

5.2.3 Tekil Yükün Yatay Etkimesi Durumu (Sol Köşeden)



Şekil 5.13 P tekil yükü konumu (yatay yükleme için)

P sabit 1 t'luk yatay yük tesiri altında L_{12} , L_{23} , L_{34} çubuk uzunlukları yine 3m, 4m ve 5m olarak değiştirilmiş ve çubuk uzunluklarının moment dağılımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. L_{23} çubuğunun atalet momenti I, 2I, 3I, 4I ve 5I olarak değiştirilmiştir. Daha sonra L_{23} ve L_{34} çubuğunun atalet momenti sabit tutularak L_{12} çubuğunun atalet momenti I, 2I, 3I, 4I ve 5I olarak değiştirilmiştir. Burada M_{12} (1-2 çubuğunda mesnet momenti) ve M_{43} (3-4 çubuğunda mesnet momenti) momentleri çerçeve sistem için kritik momentler olduklarından bu iki momentin

değişimi incelenecektir. Aşağıda yatay yükleme altında farklı boy ve atalet momentine sahip elemanlarının moment dağılımları belirtilmektedir.

Tablo 29. $L=3$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Moment Değerleri (tm)	
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	M_{12}	M_{43}
3	3	3	I-I-I	0.857	0.857
3	3	3	2I-I-I	1.143	0.679
3	3	3	3I-I-I	1.343	0.582
3	3	3	4I-I-I	1.500	0.516
3	3	3	5I-I-I	1.628	0.465

M_{12} , 1-2 çubuk elemanının 1 noktasındaki moment değeri; M_{43} , 3-4 çubuk elemanının 4 noktasındaki moment değeri

Tablo 30. $L=3$ m, I_{12} ve I_{23} sabit I_{34} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Moment Değerleri (tm)	
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	M_{12}	M_{43}
3	3	3	I-I-I	0.857	0.857
3	3	3	I-I-2I	0.679	1.143
3	3	3	I-I-3I	0.582	1.343
3	3	3	I-I-4I	0.516	1.500
3	3	3	I-I-5I	0.465	1.628

Tablo 31. $L=4$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Moment Değerleri (tm)	
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	M_{12}	M_{43}
4	4	4	I-I-I	1.143	1.143
4	4	4	2I-I-I	1.524	0.905
4	4	4	3I-I-I	1.791	0.776
4	4	4	4I-I-I	2.000	0.688
4	4	4	5I-I-I	2.171	0.620

Tablo 32. $L=4$ m, I_{12} ve I_{34} sabit I_{34} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Moment Değerleri (tm)	
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	M_{12}	M_{43}
4	4	4	I-I-I	1.143	1.143
4	4	4	I-I-2I	0.905	1.524
4	4	4	I-I-3I	0.776	1.791
4	4	4	I-I-4I	0.688	2.000
4	4	4	I-I-5I	0.620	2.171

Tablo 33. $L=5$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Moment Değerleri (tm)	
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	M_{12}	M_{43}
5	5	5	I-I-I	1.429	1.429
5	5	5	2I-I-I	1.905	1.131
5	5	5	3I-I-I	2.239	0.970
5	5	5	4I-I-I	2.500	0.859
5	5	5	5I-I-I	2.713	0.775

Tablo 34. $L=5$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Moment Değerleri (tm)	
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	M_{12}	M_{43}
5	5	5	I-I-I	1.429	1.429
5	5	5	I-I-2I	1.131	1.905
5	5	5	I-I-3I	0.970	2.239
5	5	5	I-I-4I	0.859	2.500
5	5	5	I-I-5I	0.775	2.713

M_{12} , 1-2 çubuk elemanın 1 noktasındaki moment değeri; M_{43} , 3-4 çubuk elemanın 4 noktasındaki moment değeri

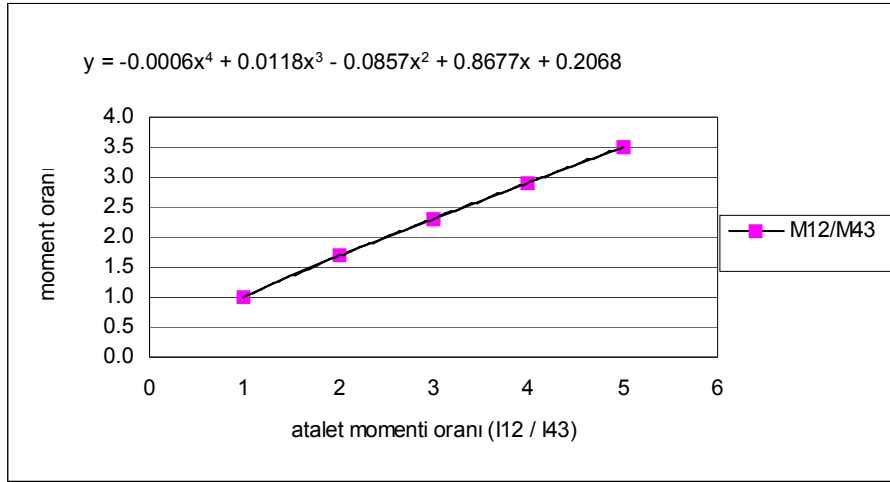
Yukarıda değişken (3 m, 4 m ve 5 m) çubuk boyları ve değişken (I, 2I, 3I, 4I ve 5I) atalet momentleri için, sol köşeden yatay tekil yük uygulanması durumunda M_{12} ve M_{43} momentlerinin değerleri hesaplanmıştır. Farklı çubuk boylarının kullanılmasındaki temel amaç, eğer moment dağılımları ile çubuk boyları arasında

bir ilişki varsa sabit bir çubuk boyu belirleyip işlemleri bu duruma göre yapmak ve işlem kolaylığı sağlamaktır. Neticede bulunan tüm momentler ait olduğu çubuk boylarına bölünmüştür. Sonuçlar birbirinin aynısı çıktığından çubuk boyları ile moment dağılımı doğrusal bir dağılım gösterir denilebilir.

$L = 4$ m için denklem çıkarılacaktır:

Tablo 35. $L=4$ m, I_{23} ve I_{34} sabit I_{12} değişken durum

Çubuk Uzunlukları (m)			Atalet Momenti	Moment Değerleri (tm)		
L_{12}	L_{23}	L_{34}	$I_{12}-I_{23}-I_{34}$	M_{12}	M_{43}	M_{12}/M_{43}
4	4	4	I-I-I	1.143	1.143	1.000
4	4	4	2I-I-I	1.524	0.905	1.684
4	4	4	3I-I-I	1.791	0.776	2.308
4	4	4	4I-I-I	2.000	0.688	2.907
4	4	4	5I-I-I	2.171	0.620	3.502

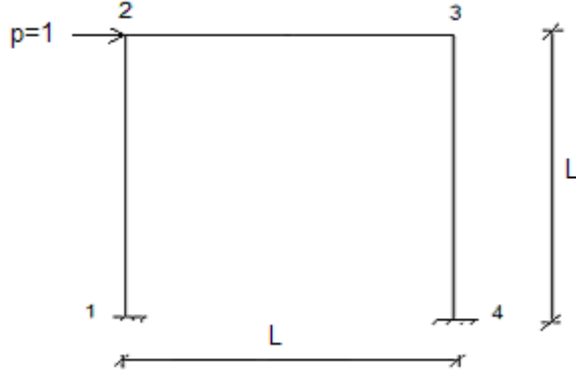


Şekil 5.14 M_{12} / M_{43} için moment - atalet momenti oranı

$$M_{12} / M_{43} = -0.0006x^4 + 0.0118x^3 - 0.0857x^2 + 0.8677x + 0.2068 \quad (1)$$

M_{12} , 1-2 çubuk elemanının 1 noktasındaki moment değeri, $x = I_{12} / I_{23}$

5.2.3.1 YSA İle Uygulama 3



Şekil 5.15 P tekil yükü konumu (yatay yükleme için)

Sol üst köşesinden yatay yönde $1t$ 'luk yükle yüklenmiş olan basit çerçevenin mesnetlerinde bu tekil kuvvete bağlı olarak oluşmuş momentlerin, atalet momentleri ile ilişkisini ortaya koyan denklemler çıkarılmıştı. Şimdi bu denklemler ağı çıktığı katmanında bir kontrol mekanizması olarak kullanılacak, sistem yapay sinir ağına tanıtılacak ve eğitim setinde kullanılmayan veriler ile bir test seti oluşturulacaktır. Kullanılacak olan mesnet momentleri M_{12} ve M_{43} tür. Ağın verdiği cevaplar ve hata miktarlarının ara katman nöron sayısı ve iterasyon sayısına bağlı değişimi araştırılacaktır. İlk olarak test seti yerine eğitim seti kullanılacak, ağın genel olarak bir yakınsama sağlayıp sağlamadığı kontrol edilecektir.

Tablo 36. Uygulama 3 için eğitim seti

Veri No	I_{12}	I_{23}	M_{12}/M_{43}
1	2I	2I	0.1000
2	3I	2I	0.1352
3	3I	3I	0.1000
4	4I	1I	0.2908
5	4I	2I	0.1684
6	4I	4I	0.1000
7	5I	1I	0.3503
8	5I	2I	0.2001
9	5I	4I	0.1179
10	1I	1I	0.1000
11	5I	5I	0.1000

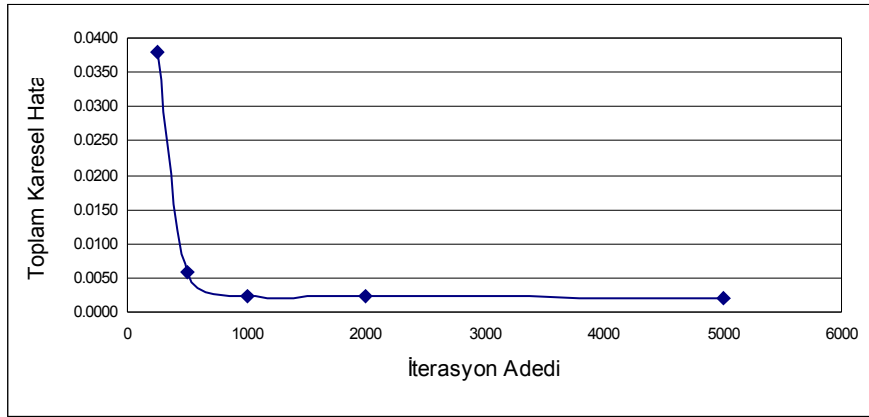
Tablo 37. Uygulama 3 için test seti

Veri No	I_{12}	I_{23}	M_{12}/M_{43}
1	3.9I	1.3I	0.2309
2	3.3I	2I	0.1454
3	4I	3I	0.1237
4	2.5I	2.5I	0.1000
5	3.8I	1.4I	0.2134

Eğitim setindeki onbir adet veri kullanılarak eğitilen sistem, 250 iterasyondan başlanarak 5000 iterasyona kadar yine eğitim setindeki veriler kullanılarak çalıştırılmış ve 250, 500, 1000, 2000, 5000 iterasyon adımlarında her bir verinin hatası kaydedilmiştir (Tablo 38). Bu hataların kareleri alınarak toplanmış ve toplam sonuç ikiye bölünmüştür. Toplam karesel hatalar bulunmuş ve Şekil 5.16’da gösterilmiştir.

Tablo 38. Eğitim seti verileri için iterasyon adedine bağlı hata değerleri

Veri Seti	İterasyon Adedi				
	250	500	1000	2000	5000
1	0.069	0.020	0.002	0.001	0.001
2	0.029	0.015	0.004	0.003	0.004
3	0.043	0.004	0.009	0.009	0.008
4	0.108	0.071	0.023	0.024	0.024
5	0.009	0.018	0.017	0.017	0.017
6	0.026	0.009	0.020	0.018	0.018
7	0.173	0.039	0.016	0.017	0.016
8	0.046	0.027	0.040	0.042	0.040
9	0.006	0.007	0.011	0.009	0.009
10	0.103	0.038	0.016	0.012	0.011
11	0.014	0.020	0.029	0.027	0.026



Şekil 5.16 Eğitim seti için iterasyon adedine bağlı toplam karesel hata değişimi

Şekil 5.16'ya bakıldığında iterasyon adımları ilerledikçe ağı toplam karesel hatası giderek azalmakta ve sıfıra yaklaşmaktadır. Bu ağ için 2000 iterasyon yapmak yeterli olacaktır. Daha fazla iterasyon yapılırsa bile artık daha sağlıklı bir sonuç alınamayacaktır. Tablo 39-42'de gizli katman nöron adedi 2, 6 ve 10 olmak üzere, test seti verileri için 2000 iterasyon sonucu bulunan hata değerleri ve yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 39. 2000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 2 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.2309	0.2367	0.0058	2.51
2	0.1454	0.1556	0.0102	7.02
3	0.1237	0.1280	0.0043	3.48
4	0.1000	0.0973	0.0027	2.70
5	0.2134	0.2236	0.0102	4.78

Tablo 40. 2000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 6 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.2309	0.2315	0.0006	0.26
2	0.1454	0.1514	0.0060	4.13
3	0.1237	0.1260	0.0023	1.86
4	0.1000	0.0971	0.0029	2.90
5	0.2134	0.2178	0.0044	2.06

Tablo 41. 2000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 10 için hata yüzdeleri

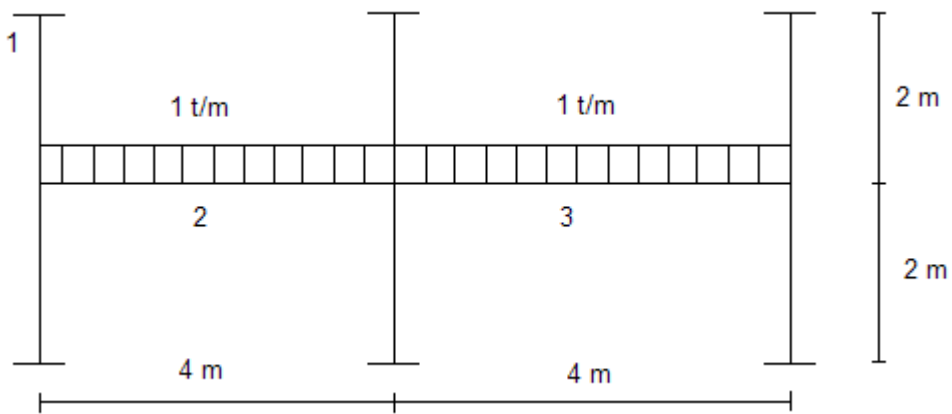
Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.2309	0.2302	0.0007	0.30
2	0.1454	0.1506	0.0052	3.58
3	0.1237	0.1254	0.0017	1.37
4	0.1000	0.0969	0.0031	3.10
5	0.2134	0.2165	0.0031	1.45

Tablo 42. Gizli katman nöron adedine bağlı toplam hata yüzdeleri

Gizli katman nöron adedi	Toplam hata yüzdesi
2	20.49
6	11.21
10	9.80

5.3 Düzgün Yayılı Yük Altında Moment Dağılımı- Atalet Momenti İlişkisinin Araştırılması

5.3.1 Basit Çerçeve Düzgün Yayılı Yük Durumu (1)



Şekil 5.17 Çerçeve Sistemde Yayılı yükleme durumu

Bu örnekte yukarıda görülen çerçeveye düşey yönde 1 t/m 'lık düzgün yayılı yük uygulanmıştır. İlk olarak tüm çubukların atalet momentleri sabit tutularak 2

numaralı çubuğun atalet momenti beş katına kadar arttırılmış, ardından diğer tüm çubukların atalet momentleri sabit tutularak 3 numaralı çubuğun atalet momenti de beş katına kadar arttırılmış, M_2 ve M_3 (2 ve 3 çubuklarının ortasında oluşan moment değerleri) momentleri kaydedilmiştir. Sonra bu iki çubuğun (2 ve 3) atalet momentleri oranıyla moment oranları bir grafiğe aktarılmış ve genel bir denklem haline dönüştürülmüştür. Elde edilen bu denklem yapay sinir ağlarının çıktı katmanında bir kontrol mekanizması olarak kullanılmış ve atalet momentlerinin oranı girildiğinde çubukların ortalarında oluşacak moment değerlerinin birbirine oranını elde eden bir yapay sinir ağı elde edilmiştir. Çerçeve moment dağılımı bulunurken kesme kuvveti ve normal kuvvet etkileri ihmal edilmiştir.

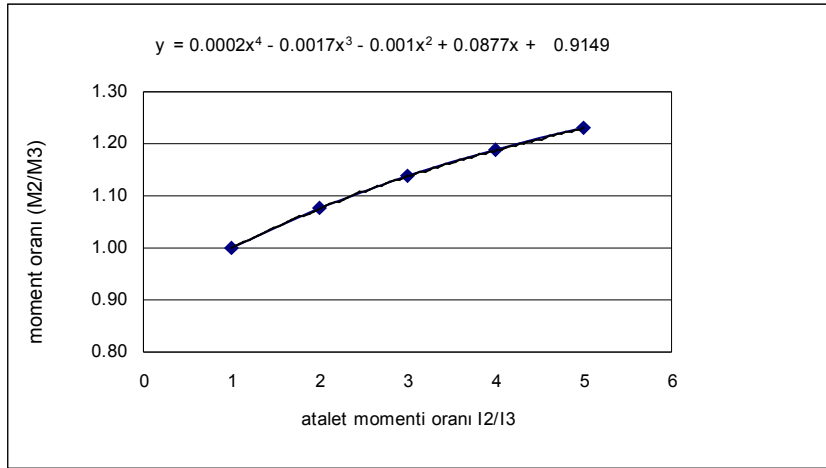
Tablo 43. $L=4$ m için I_2 değişken I_3 sabit durum

Çubuk Uzunlukları (m)		Atalet Momenti	Düzgün yayılı yük t/m		Moment Değerleri (tm)		
L_2	L_3	I_2-I_3	q_2	q_3	M_2	M_3	M_2 / M_3
4	4	I-I	1.00	1.00	0.733	0.733	1.000
4	4	2I-I	1.00	1.00	0.785	0.730	1.075
4	4	3I-I	1.00	1.00	0.828	0.728	1.137
4	4	4I-I	1.00	1.00	0.863	0.727	1.187
4	4	5I-I	1.00	1.00	0.893	0.726	1.230

q_2 , 2 çubuk elemanı üzerindeki düzgün yayılı yük; q_3 , 3 çubuk elemanı üzerindeki düzgün yayılı yük; M_2 , 2 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri; M_3 , 3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri

Tablo 44. $L=4$ m için I_3 değişken I_2 sabit durum

Çubuk Uzunlukları (m)		Atalet Momenti	Düzgün yayılı yük t/m		Moment Değerleri (tm)		
L_2	L_3	I_2-I_3	q_2	q_3	M_2	M_3	M_2 / M_3
4	4	I-I	1.00	1.00	0.733	0.733	1.000
4	4	I-2I	1.00	1.00	0.730	0.785	0.930
4	4	I-3I	1.00	1.00	0.728	0.828	0.879
4	4	I-4I	1.00	1.00	0.727	0.863	0.842
4	4	I-5I	1.00	1.00	0.726	0.893	0.813



Şekil 5.18 M_2 / M_3 için moment - atalet momenti oranı

Şekil 5.18’de “I” (atalet momenti) değerinin değişimi ile çubuklarda oluşan moment oranının nasıl değiştiği görülmektedir. Belirtilen noktalardan geçen en uygun eğri ve bunların denklemi Excel programında bulunmuştur. Sadece $I_2 > I_3$ durumu için denklem çıkartılmıştır. Sistem ve yükleme simetrik olduğundan $I_3 > I_2$ durumunda da bu sinir ağı kullanılabilecektir. Programın bulduğu denklem aşağıda belirtilmiştir:

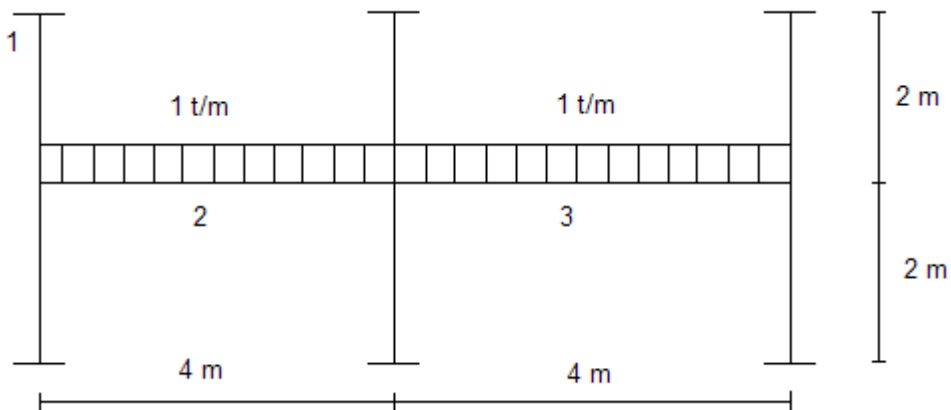
$I_2 > I_3$ için

$$M_2 / M_3 = 0.0002x^4 - 0.0017x^3 - 0.0010x^2 + 0.0877x + 0.9149 \quad (1)$$

M_2 , 2 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri $x = I_2 / I_3$

M_3 , 3 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri

5.3.1.1 YSA İle Uygulama 4



Şekil 5.19 Çerçeve Sistemde Yayıllı yükleme durumu

Yukarıda tam ortadan 1 t/m 'lik düzgün yayılı yükü yüklenmiş olan çerçeve sistemin 2 ve 3 nolu elemanlarında bu yüklemeye bağlı olarak oluşmuş momentlerin, atalet momentleri ile ilişkisini ortaya koyan denklemler çıkarılmıştı. Şimdi bu denklemler ağı çıktığı katmanında bir kontrol mekanizması olarak kullanılacak, yapay sinir ağına sistem tanıtılacak ve eğitim setinde kullanılmayan veriler ile bir test seti oluşturulacaktır. Kullanılacak olan momentler M_2 ve M_3 'tür. Ağı verdiği cevaplar ve hata miktarlarının ara katman nöron sayısı ve iterasyon sayısına bağlı değişimi araştırılacaktır.

Tablo 45. Uygulama 4 için eğitim seti

Veri No	I_2	I_3	M_2 / M_3
1	4.40 I	4.40 I	0.1000
2	3.10 I	3.10I	0.1000
3	0.14 I	0.14 I	0.1000
4	4.40 I	2.20 I	0.1076
5	0.86 I	0.43 I	0.1076
6	0.51 I	0.17 I	0.1139
7	0.72 I	0.24 I	0.1139
8	3.20 I	0.80 I	0.1192
9	0.40 I	0.10 I	0.1192
10	1.80 I	0.36 I	0.1241
11	4.15 I	0.83 I	0.1241
12	5.00 I	1.00 I	0.1241

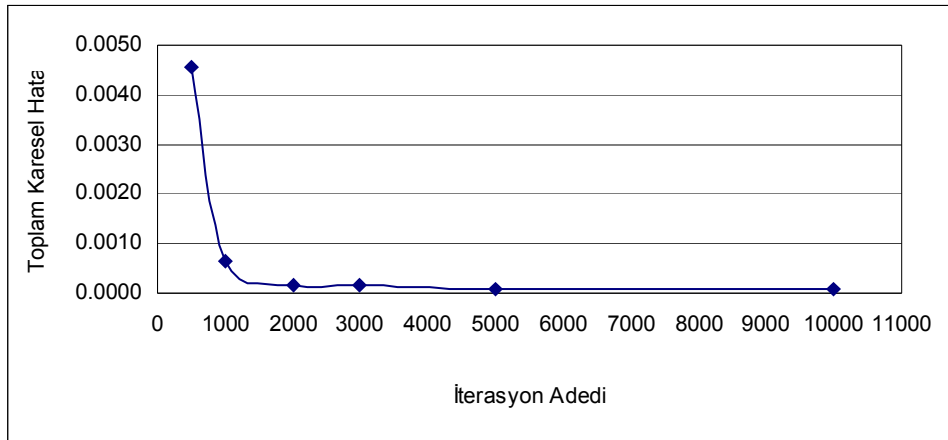
Tablo 46. Uygulama 4 için test seti

Veri No	I_2	I_3	M_2 / M_3
1	1.80 I	0.90 I	0.1076
2	3.50 I	1.00 I	0.1167
3	3.70 I	0.78 I	0.1228
4	4.50 I	1.8 I	0.1109
5	3.90 I	2.60 I	0.1039

Eğitim setindeki oniki adet veri kullanılarak eğitilen sistem, 500 iterasyondan başlanarak 10000 iterasyona kadar yine eğitim setindeki veriler kullanılarak çalıştırılmış ve 500, 1000, 2000, 3000, 5000, 10000 iterasyon adımlarında her bir verinin hatası kaydedilmiştir (Tablo 47). Bu hataların kareleri alınarak toplanmış ve toplam sonuç ikiye bölünmüştür. Toplam karesel hatalar bulunmuş ve Şekil 5.20’de gösterilmiştir.

Tablo 47. Eğitim seti verileri için iterasyon adedine bağlı hata değerleri

Veri Seti	İterasyon Adedi					
	500	1000	2000	3000	5000	10000
1	0.0320	0.0081	0.0003	0.0019	0.0031	0.0027
2	0.0146	0.0003	0.0032	0.0019	0.0010	0.0008
3	0.0451	0.0226	0.0117	0.0112	0.0011	0.0011
4	0.0263	0.0040	0.0051	0.0053	0.0053	0.0053
5	0.0242	0.0119	0.0047	0.0043	0.0042	0.0042
6	0.0256	0.0079	0.0011	0.0015	0.0016	0.0016
7	0.0219	0.0071	0.0009	0.0012	0.0012	0.0012
8	0.0178	0.0058	0.0015	0.0008	0.0003	0.0002
9	0.0226	0.0032	0.0064	0.0067	0.0068	0.0066
10	0.0034	0.0057	0.0083	0.0080	0.0078	0.0077
11	0.0317	0.0123	0.0033	0.0020	0.0012	0.0011
12	0.0398	0.0146	0.0015	0.0003	0.0012	0.0014



Şekil 5.20 Eğitim seti için iterasyon adedine bağlı toplam karesel hata değişimi

Şekil 5.20'ye bakıldığında iterasyon adımları ilerledikçe ağın toplam karesel hatası giderek azalmakta ve sıfıra yaklaşmaktadır. Yakınsama ilk başlarda çok hızlı gerçekleşmekte fakat 5000 iterasyondan sonra hızı oldukça düşmektedir. Yani bu ağda 5000 iterasyon yapmak yeterli olacaktır. Daha fazla iterasyon yapılsa bile artık daha sağlıklı bir sonuç alınamayacaktır. Tablo 48-51'de gizli katman nöron adedi 2, 6 ve 10 olmak üzere, test seti verileri için 5000 iterasyon sonucu bulunan hata değerleri ve yüzdeleri verilmiştir:

Tablo 48. 5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 2 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.1076	0.1121	0.0045	4.18
2	0.1167	0.1186	0.0019	1.63
3	0.1228	0.1212	0.0016	1.30
4	0.1109	0.1165	0.0056	5.05
5	0.1039	0.1078	0.0039	3.75

Tablo 49. 5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 6 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.1076	0.1124	0.0048	4.46
2	0.1167	0.1181	0.0014	1.20
3	0.1228	0.1204	0.0024	1.95
4	0.1109	0.1162	0.0053	4.78
5	0.1039	0.1084	0.0045	4.33

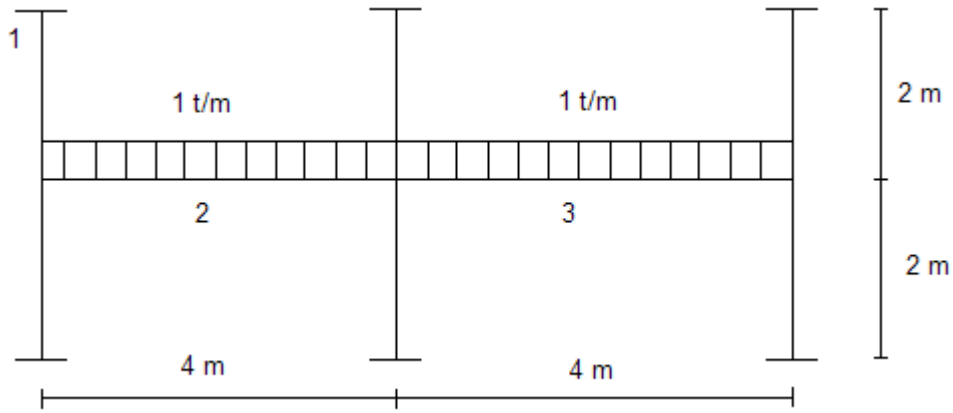
Tablo 50. 5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 10 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.1076	0.1125	0.0049	4.55
2	0.1167	0.1184	0.0017	1.46
3	0.1228	0.1209	0.0019	1.55
4	0.1109	0.1164	0.0055	4.66
5	0.1039	0.1083	0.0044	4.23

Tablo 51. Gizli katman nöron adedine bağlı toplam hata yüzdeleri

Gizli katman nöron adedi	Toplam hata yüzdesi
2	15.91
6	16.42
10	16.75

5.3.2 Basit Çerçeve Düzgün Yayılı Yük Durumu (2)



Şekil 5.21 Çerçeve sistemde yayılı yükleme durumu

Son olarak yukarıda görülen çerçeveye düşey yönde 1 t/m 'lık düzgün yayılı yük uygulanmıştır. İlk olarak tüm çubukların atalet momentleri sabit tutularak 1 numaralı çubuğun atalet momenti beş katına kadar arttırılmış, ardından diğer tüm çubukların atalet momentleri sabit tutularak 2 numaralı çubuğun atalet momenti de beş katına kadar arttırılmış, M_1 ve M_2 (M_1 1 numaralı elemanın mesnet momenti, M_2 2 numaralı elemanın ortasında oluşan açıklık momenti) momentleri kaydedilmiştir. Sonra bu kolon ve kirişin (1 ve 2 numaralı elemanlar) atalet momentleri oranıyla moment oranları bir grafiğe aktarılmış ve genel bir denklem haline dönüştürülmüştür. Elde edilen bu denklem yapay sinir ağlarının çıktı katmanında bir kontrol mekanizması olarak kullanılmış ve atalet momentlerinin oranı girildiğinde çubukların alacağı moment değerlerinin birbirine oranını elde eden bir yapay sinir ağı elde edilmiştir. Çerçevede moment dağılımı bulunurken kesme kuvveti ve normal kuvvet etkileri ihmal edilmiştir.

Tablo 52. $L=4$ m için I_1 değişken I_2 sabit durum

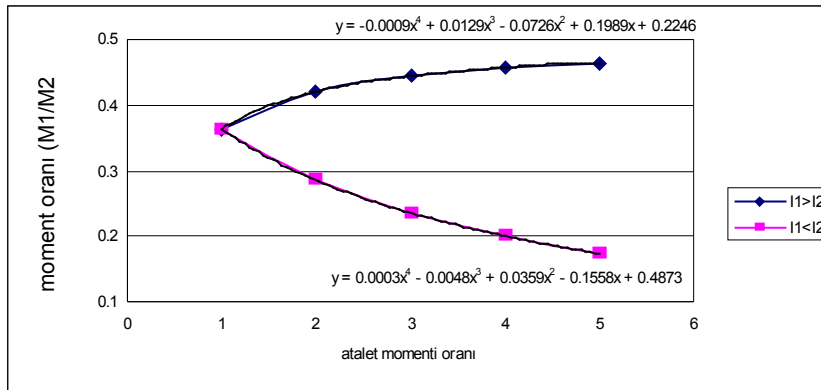
Çubuk Uzunlukları (m)		Atalet Momenti	Düzgün yayılı yük t/m		Moment Değerleri (tm)		
L_1	L_2	I_1-I_2	q_2	q_3	M_1	M_2	M_1/ M_2
4	4	I-I	1.00	1.00	0.266	0.733	0.363
4	4	2I-I	1.00	1.00	0.295	0.701	0.421
4	4	3I-I	1.00	1.00	0.306	0.689	0.444
4	4	4I-I	1.00	1.00	0.312	0.682	0.457
4	4	5I-I	1.00	1.00	0.315	0.678	0.465

q_2 , 2 çubuk elemanı üzerindeki düzgün yayılı yük; q_3 , 3 çubuk elemanı üzerindeki düzgün yayılı yük; M_1 , 1 çubuk elemanının mesnet noktasındaki moment değeri; M_2 , 2 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri

Tablo 53. $L=4$ m için I_2 değişken I_1 sabit durum

Çubuk Uzunlukları (m)		Atalet Momenti	Düzgün yayılı yük t/m		Moment Değerleri (tm)		
L_1	L_2	I_1-I_2	q_2	q_3	M_1	M_2	M_1/ M_2
4	4	I-I	1.00	1.00	0.266	0.733	0.363
4	4	I-2I	1.00	1.00	0.224	0.785	0.285
4	4	I-3I	1.00	1.00	0.195	0.828	0.236
4	4	I-4I	1.00	1.00	0.173	0.863	0.200
4	4	I-5I	1.00	1.00	0.155	0.893	0.174

q_2 , 2 çubuk elemanı üzerindeki düzgün yayılı yük; q_3 , 3 çubuk elemanı üzerindeki düzgün yayılı yük; M_1 , 1 çubuk elemanının mesnet noktasındaki moment değeri; M_2 , 2 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri



Şekil 5.22 M_1 / M_2 için moment - atalet momenti oranı

Şekil 5.22’de “I” (atalet momenti) değerinin değişimi ile çubuklarda oluşan moment oranının nasıl değiştiği görülmektedir. Belirtilen noktalardan geçen en uygun eğriler ve bunların denklemleri Excel programında bulunmuştur. Programın bulduğu denklemler aşağıda belirtilmiştir:

$I_1 > I_2$ için

$$M_1 / M_2 = -0.0009x^4 + 0.0129x^3 - 0.0726x^2 + 0.1989x + 0.2246 \quad (1)$$

$$x = I_1 / I_2$$

$I_2 > I_1$ için

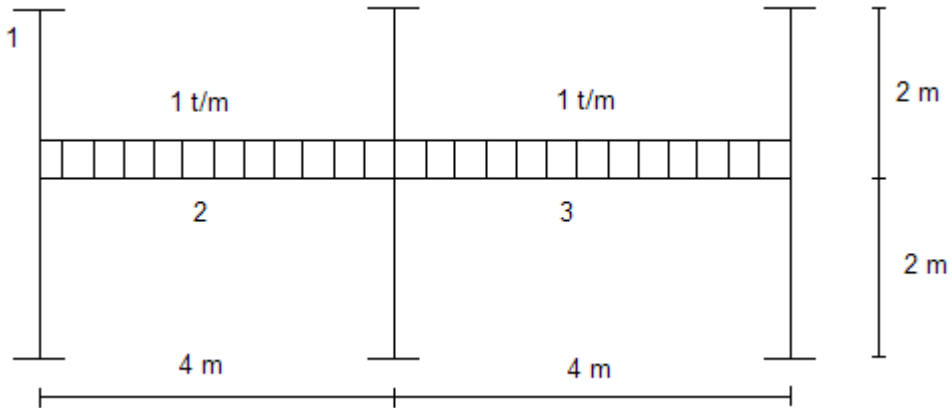
$$M_1 / M_2 = 0.0003x^4 - 0.0048x^3 + 0.0359x^2 - 0.1558x + 0.4873 \quad (2)$$

$$x = I_2 / I_1$$

M_1 , 1 çubuk elemanının mesnet noktasındaki moment değeri

M_2 , 2 çubuk elemanının orta noktasındaki moment değeri

5.3.2.1 YSA İle Uygulama 5



Şekil 5.23 Çerçeve Sistemde Yayılı Yükleme Durumu

Yukarıda düzgün yayılı yükle yüklenmiş olan basit çerçevenin 1 ve 2 numaralı elemanlarda bu yüke bağlı oluşmuş momentlerin, atalet momentleri ile ilişkisini ortaya koyan denklemler çıkarılmıştı. Şimdi bu sistem yapay sinir ağına tanıtılıp ağ eğitilecektir.

Tablo 54. Uygulama 5 için eğitim seti

Veri No	I_1	I_2	M_1 / M_2
1	4.40 I	4.40 I	0.3629
2	3.10I	3.10 I	0.3629
3	0.14 I	0.14 I	0.3629
4	2.20 I	4.40 I	0.2857
5	0.86 I	0.43 I	0.4208
6	0.17 I	0.51 I	0.2377
7	0.72 I	0.24 I	0.4433
8	3.20 I	0.80 I	0.4538
9	0.10 I	0.40 I	0.2081
10	1.80 I	0.36 I	0.4541
11	0.83 I	4.15 I	0.1933
12	5.00 I	1.00 I	0.4541

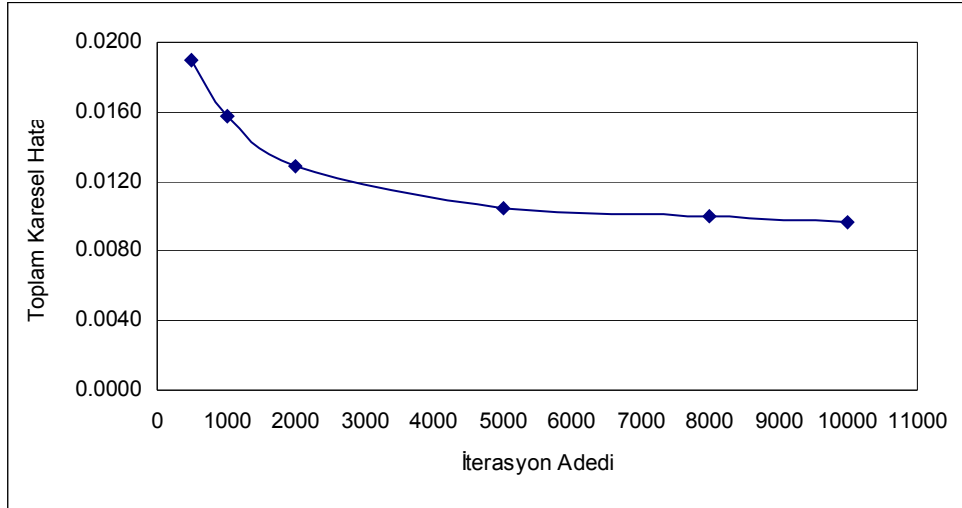
Tablo 55. Uygulama 5 için test seti

Veri No	I_1	I_2	M_1 / M_2
1	0.9 I	1.80 I	0.2857
2	2.7 I	0.9 I	0.4433
3	3 I	2 I	0.3986
4	2.5 I	2.5 I	0.3629
5	0.88 I	4.2 I	0.1953

Eğitim setindeki oniki adet veri kullanılarak eğitilen sistem, 500 iterasyondan başlanarak 10000 iterasyona kadar yine eğitim setindeki veriler kullanılarak çalıştırılmış ve 500, 1000, 2000, 5000, 8000, 10000 iterasyon adımlarında her bir verinin hatası kaydedilmiştir (Tablo 56). Bu hataların kareleri alınarak toplanmış ve toplam sonuç ikiye bölünmüştür. Toplam karesel hatalar Şekil 5.24’de gösterilmiştir:

Tablo 56. Eğitim seti verileri için iterasyon adedine bağlı hata değerleri

Veri Seti	İterasyon Adedi					
	500	1000	2000	5000	8000	10000
1	0.022	0.023	0.025	0.023	0.025	0.026
2	0.016	0.011	0.002	0.020	0.020	0.019
3	0.032	0.035	0.045	0.057	0.057	0.058
4	0.019	0.017	0.010	0.001	0.005	0.007
5	0.065	0.063	0.054	0.042	0.039	0.037
6	0.079	0.066	0.064	0.050	0.048	0.047
7	0.086	0.080	0.078	0.068	0.066	0.065
8	0.000	0.007	0.023	0.032	0.029	0.026
9	0.110	0.102	0.094	0.077	0.075	0.074
10	0.045	0.038	0.012	0.018	0.019	0.020
11	0.029	0.024	0.007	0.016	0.018	0.018
12	0.054	0.045	0.017	0.018	0.016	0.014



Şekil 5.24 Eğitim seti için iterasyon adedine bağlı toplam karesel hata değişimi

Şekil 5.24'e bakıldığında iterasyon adımları ilerledikçe ağın toplam karesel hatası giderek azalmakta ve sıfıra yaklaşmaktadır. Yakınsama ilk başlarda çok hızlı gerçekleşmekte fakat 5000 iterasyondan sonra hızı oldukça düşmektedir. Yani bu ağda 5000 iterasyon yapmak yeterli olacaktır. Daha fazla iterasyon yapılırsa bile artık daha sağlıklı bir sonuç alınamayacaktır. Tablo 57-60'de gizli katman nöron

adedi 2, 6 ve 10 olmak üzere, test seti verileri için 5000 iterasyon sonucu bulunan hata değerleri ve yüzdeleri verilmiştir:

Tablo 57. 5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 2 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.2857	0.2848	0.0009	0.32
2	0.4433	0.4444	0.0011	0.25
3	0.3986	0.4131	0.0145	3.64
4	0.3629	0.3603	0.0026	0.72
5	0.1953	0.1802	0.0151	7.73

Tablo 58. 5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 6 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.2857	0.2883	0.0026	0.91
2	0.4433	0.4665	0.0232	5.23
3	0.3986	0.4145	0.0159	3.99
4	0.3629	0.3813	0.0184	5.07
5	0.1953	0.1724	0.0229	11.73

Tablo 59. 5000 iterasyon ve gizli katman nöron adedi 10 için hata yüzdeleri

Veri No	Beklenen Çıktı	Ağın Çıktısı	Mutlak Hata	Hata Yüzdesi (%)
1	0.2857	0.2920	0.0063	2.21
2	0.4433	0.4649	0.0216	4.87
3	0.3986	0.4195	0.0209	5.24
4	0.3629	0.3855	0.0226	6.23
5	0.1953	0.1731	0.0222	11.37

Tablo 60. Gizli katman nöron adedine bağı toplam hata yüzdeleri

Gizli katman nöron adedi	Toplam hata yüzdesi
2	12.66
6	26.93
10	29.92

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Birinci uygulamada yedi adet veri içeren eğitim seti için yapay sinir ağı eğitilmiş ve yine eğitim setinin elemanları kullanılarak ağı eğitilip eğitilmediği kontrol edilmiştir. Toplam karesel hatalar bulunmuş ve grafiği çizdirilmiştir. Sonuç olarak ağı sonuca büyük bir hızla yakınsadığı görülmüş ve 10000 iterasyonun bu ağ için yeterli yakınsamayı sağladığı kabul edilmiştir. En iyi yakınsamayı hangi gizli katman nöron adedinin sağlayacağını bulmak için, gizli katman nöron adedi 2, 6 ve 10 olarak değiştirilmiş ve hata yüzdeleri kaydedilmiştir. En iyi sonuç olarak gizli katman nöron adedi 6 iken toplam hata yüzdesi 11.46 olarak bulunmuştur.

İkinci uygulamada yine yedi adet veri içeren eğitim seti için yapay sinir ağı eğitilmiş ve eğitim setinin elemanları kullanılarak ağı eğitilip eğitilmediği kontrol edilmiştir. Toplam karesel hatalar bulunmuş ve grafiği çizdirilmiştir. Sonuç olarak 12000 iterasyonun bu ağ için yeterli yakınsamayı sağladığı kabul edilmiştir. En iyi yakınsama gizli katman nöron adedi 2 iken toplam hata yüzdesi 10.27 olarak bulunmuştur.

Üçüncü uygulamada onbir adet veri içeren eğitim seti için yapay sinir ağı eğitilmiş ve yine eğitim setinin elemanları kullanılarak ağı eğitilip eğitilmediği kontrol edilmiştir. Toplam karesel hatalar bulunmuş ve grafiği çizdirilmiştir. Sonuç olarak 2000 iterasyonun bu ağ için yeterli yakınsamayı sağladığı kabul edilmiştir. En iyi yakınsama gizli katman nöron adedi 10 iken toplam hata yüzdesi 9.80 olarak bulunmuştur.

Dördüncü uygulamada oniki adet veri içeren eğitim seti için yapay sinir ağı eğitilmiş ve yine eğitim setinin elemanları kullanılarak ağı eğitilip eğitilmediği kontrol edilmiştir. Toplam karesel hatalar bulunmuş ve grafiği çizdirilmiştir. Sonuç olarak ağı sonuca büyük bir hızla yakınsadığı görülmüş ve 5000 iterasyonun bu ağ için yeterli yakınsamayı sağladığı kabul edilmiştir. En iyi yakınsama gizli katman nöron adedi 2 iken toplam hata yüzdesi 15.91 olarak bulunmuştur.

Beşinci uygulamada oniki adet veri içeren eğitim seti için yapay sinir ağı eğitilmiş ve yine eğitim setinin elemanları kullanılarak ağı eğitilip eğitilmediği kontrol

edilmiştir. Toplam karesel hatalar bulunmuş ve grafiğı çizdirilmiştir. Sonuç olarak 5000 iterasyonun bu ağ için yeterli yakınsamayı sağladığı kabul edilmiştir. En iyi yakınsama gizli katman nöron adedi 2 iken toplam hata yüzdesi 12.66 olarak bulunmuştur.

7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında basit çerçeve sistemlerde moment dağılımının, çubukların atalet momentleriyle olan ilişkilerinin, yapay sinir ağları ile belirlenmesi hedeflenmiştir. İlk olarak kontrollü bir şekilde atalet momentleri değiştirilen çubuk elemanların aldığı moment değerleri bulunmuş bu işlemler farklı yük kombinasyonlarında ve farklı çerçeve tipleri için tekrar edilmiştir. Daha sonra çubukların atalet momentleri oranlarıyla, aldıkları momentlerin oranlarının birbiriyle ilişkisi hesaplanmış ve genel denklemler haline getirilmiştir. Sonra bu denklemler yapay sinir ağının çıkış katmanında bir kontrol mekanizması oluşturularak ağlar eğitilmiş ve denenmiştir. Bu çalışmalar sonucu çıkarılan sonuçlar maddeler halinde şöyledir:

- 1) Çerçeve sistemlerde moment dağılımı, çubukların sahip oldukları atalet momentleriyle ilişki içerisindedir. Burada gözönünde tutulması gereken önemli bir husus çerçevelerdeki moment dağılımı hesaplanırken kesme kuvveti ve normal kuvvet etkilerinin ihmal edilmesidir.
- 2) Yükleme farklı şekilde yapılması hallerinde dahi bu ilişki korunmaktadır. Yükleme yatay olsun, düşey olsun, tekil yükleme ya da yayılı yükleme olsun atalet momentleri oranlarıyla, moment oranları arasında belli bir ilişki vardır.
- 3) İterasyonlar arttıkça mutlak hata yüzdelerinde düşüş gözlenmektedir. Belli bir noktaya kadar büyük bir hızla düşen toplam karesel hata değerleri belli bir iterasyon sayısından sonra yavaşlamakta ve durmaktadır. Toplam karesel hata değişim grafiğine bakılarak iterasyonun hangi değerde kesilmesi gerektiği belirlenir.
- 4) Ağdan çözüm bulması istenilen problemler non-lineer özellikte olmasına rağmen büyük bir başarıyla çözümlenmiştir.
- 5) En iyi yakınsamanın bulunabilmesi için eğitim ve deney setleri arasında belirli bir ilişki kurmak gereklidir.

- 6) Yapılan beş uygulama sonucunda en iyi gizli katman nöron sayısı ile ilgili somut bir genellemeye ulaşılamamıştır. Çünkü uygulamalarda en iyi sonucu veren gizli katman nöron adetleri sırasıyla 6, 2, 10, 2 ve 2'dir. Dolayısıyla hangi gizli katman nöron sayısının en iyi sonucu verdiğini şu an için sadece deneme yanılma yöntemiyle bulabilmek mümkündür.
- 7) Uygulamaların bir tanesinde iterasyon sayısı 2000'de bırakılırken bir başkasında ise 12000'e kadar çıkmıştır. Bu farkın eğitim setinin, deney setindeki elemanlar için iyi bir örnek uzay teşkil edip etmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Unutulmamalıdır ki yapay sinir ağları sadece kendisine gösterilen veriler ile bire bir ilişkili deney setleri üzerinde varlık gösterebilirler. İterasyonun kesilmesi gereken değer her bir ağ için farklıdır.

KAYNAKLAR

- Civalek, Ö., 1998, “*Nöro-fuzzy tekniği ile Dikdörtgen Plakların Analizi*”, 3. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı, İstanbul, 16-18 Kasım,
- Civalek, Ö., Çatal, H.H., 2004 , “*Geriye yayılma yapay sinir ağı kullanılarak elastik kirişlerin statik ve dinamik analizi*”, D.E.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi, cilt 6, sayı1, sh 1-16
- Elmas, Ç., 2003, “*Yapay sinir ağları (kuram, mimari, uygulama)*”, Seçkin Yayınları
- Emrem, T., 2001, “*Yapı Statiği*”, Birsen Yayınevi
- Fırat, M., Güngör, M., 2004 , “*Askı madde konsantrasyonu ve miktarının yapay sinir ağları ile belirlenmesi*”, İ.M.O. Teknik Dergi, 3267-3282, yazı 219
- Göktepe, A. B., Açar, E., Lav, A.H. ,2005, “*Esnek üstyapılarda mekanik özelliklerin yapay sinir ağları kullanılarak geri hesaplanması*”, İ.T.Ü. Mühendislik Dergisi, cilt 4, sayı 2, s:31-42
- Harvey, R.L., 1994, “*Neural Network Principles*”, Prentice Hall Inc., s197, New Jersey
- Haykin, S. ,1999, “*Neural Networks*”, A Comprehensive Foundation, Prentice Hall International, Inc.
- Hopfield, J.J.,1982, “*Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*”, In Proc. of National Academy of Sciences, 2554-2558
- Koç, L.M, Balas, C.E., Arslan, A., 2004, “*Taş dolgu dalgakıranların yapay sinir ağları ile ön tasarımı*”, İ.M.O Teknik Dergi, 3351-3375, yazı 225

- Minsky, M. L., Papert, S.A., 1969, “Perceptrons” , Mit press, Cambridge M.A
- Neupane, K. M., Adhikari, N. R., 2006, “ *Prediction of tunnelling-induced ground movement with the multilayer perceptron*”, Tunnelling and Underground Space Technology 21, p: 151-159
- Öztemel, E., (1993), “ *Yapay Sinir Ağları*”, Papatya Yayıncılık
- Roberts, C., Okine, N.O., 1998, “*A comparative analyse of two artificial neural networks using pavement performance prediction*”, Journal of Computer-Aided Civil Engineering, vol 113, p: 339-348
- Rummelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J., 1986, “ *Learning internal representation by error propagation in parallel distributed processing*”, Mit Press, Cambridge MA
- Sağıroğlu, S., Beşdok, E., Erler, M., 2003, “ *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları Yapay Sinir Ağları*” , Ufuk Yayınları
- Saraç, T., 2004, “ *Yapay Sinir Ağları Seminer Projesi*”, Gazi Üniversitesi End.Müh.Bölümü, Ankara
- Terzi, Ö., Keskin, M. E., 2005, “ *Yapay sinir ağları yaklaşımı kullanılarak günlük tava ve buharlaşma tahmini*” , İ.M.O. Teknik Dergi, s: 3683-3693
- Tuzcuoğlu, H., 2003, “ *Yapay zeka teknikleri, depremde kullanılması ve küme kuramları*”, D.E.Ü. Fen ve Müh. Dergisi, İzmir, cilt 5, sayı 1, sh: 73-88
- Uysal, M., 2002, “ *Visual Basic 6.0 ile Yazılım Geliştirme*”, Beta Basım Yayınevi
- Ülker, M., Civalek, Ö., 2000, “ *Yapay sinir ağları ile eksenel yüklü kolonların burkulma analizi*”, Turkish J. Eng. Env. Sci.,117-125

Zapico, J. L., Gonzalez, M.P., 2005, “*Numerical simulation of a method for seismic damage identification in buildings*”, Engineering structures 28, p :255-263

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana yol gösteren, çalışmanın her safhasında büyük sabır ve ilgi göstererek ilgisini eksik etmeyen Sayın Hocam Yard. Doç. Dr. Yılmaz İÇAĞA ‘ ya,

teşekkürü borç bilirim....

Murat HİÇYILMAZ

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

E-mail: murathicyilmaz@aku.edu.tr

KİŞİSEL BİLGİLER

Uyruğu : T.C
Doğum Yeri : Afyon
Doğum Tarihi : 06/04/1980
Askerlik Durumu : Tecilli

EĞİTİM DURUMU

1998 - 2002 : Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
1991 - 1998 : Afyon Kocatepe Anadolu Lisesi

YABANCI DİL

İngilizce: İyi derecede

BİLGİSAYAR

Windows XP, Microsoft Ofis 2000; Excel, Word, PowerPoint, Visual Basic, Sap2000, Sta4cad