

**T.C**  
**DİCLE ÜNİVERSİTESİ**  
**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**YAPAY SİNİR AĞLARI İLE LİNEER OLMAYAN  
MEKANİK VE ELEKTRİK SİSTEMLERİNİN  
MODELLENMESİ**

**Mehmet YILDIRIM**

**MATEMATİK ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**DİYARBAKIR**  
**EYLÜL - 2008**

T.C  
DİCLE UNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ  
DİYARBAKIR

Mehmet YILDIRIM tarafından yapılan “YAPAY SİNİR AĞLARI İLE LİNEER OLMAYAN MEKANİK VE ELEKTRİK SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Matematik Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı                      Adı Soyadı

Başkan : Doç. Dr. Abdulkadir ERTAŞ

Üye : Prof. Dr. Sezai OĞRAŞ

Üye : Doç. Dr. Mehmet AKIN

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 05/09/2008

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2008

Prof. Dr. Hamdi TEMEL  
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

## **TEŐEKKÖR**

Bu çalışmada, bilgisi ve deneyimi ile bana yol gösteren, yönlendiren ve bu tezin oluőmasında büyük emeği ve katkıları olan değerli hocam Doç. Dr. Abdulkadir ERTAŞ' a ve emeği geçen tüm hocalarıma teőekkr ederim.

# İÇİNDEKİLER

<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>I</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>1. YAPAY SİNİR AĞLARI.....</b>	<b>3</b>
<b>Akıl ve Zeka.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Yapay Zeka.....</b>	<b>3</b>
1.2.1. Uzman sistemler.....	4
1.2.2. Bulanık Mantık .....	4
1.2.3. Genetik Algoritma.....	4
1.2.4. Yapay Sinir Ağları .....	5
1.2.4.1. Biyolojik Sinir Sistemi.....	5
1.2.4.2. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri .....	10
1.2.4.2.1. Doğrusal Olmama .....	10
1.2.4.2.2. Öğrenme .....	10
1.2.4.2.3. Genelleme .....	11
1.2.4.2.4. Uyarlanabilirlik .....	11
1.2.4.2.5. Hata Toleransı .....	11
1.2.4.2.6. Donanım ve Hız .....	12
1.2.4.2.7. Analiz ve Tasarım Kolaylığı .....	12
1.2.4.3. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları .....	12
1.2.4.3.1. Arıza Analizi ve Tespiti .....	12
1.2.4.3.2. Tıp Alanında .....	13
1.2.4.3.3. Savunma Sanayi .....	13
1.2.4.3.4. Haberleşme.....	13
1.2.4.3.5. Üretim .....	13
1.2.4.3.6. Otomasyon ve Kontrol.....	13
1.2.4.4. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri Tarihçesi .....	14
1.2.4.5. Yapay Sinir Ağ Hücresi .....	15
1.2.4.6. Aktivasyon Fonksiyonları .....	16
1.2.4.6.1. Eşik Fonksiyonu.....	16
1.2.4.6.2. Doğrusal Fonksiyon .....	17
1.2.4.6.3. Kısmi Doğrusal Fonksiyon .....	17
1.2.4.6.4. Sigmoid Fonksiyonu .....	18
1.2.4.7. Orijinal Algılayıcı .....	19
1.2.4.8. Tek Katmanlı İleri Beslemeli Sinir Ağları .....	20
1.2.4.8. Çok Katmanlı İleri Beslemeli Sinir Ağları.....	21
<b>2. YAPAY SİNİR AĞLARINDA ÖĞRENME.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1. Öğrenme Yöntemleri .....</b>	<b>22</b>
2.1.1. Eğitici Öğrenme .....	22
2.1.2. Eğitici Öğrenme.....	23
2.1.3. Takviyeli Öğrenme.....	24

<b>2.2. Öğrenme Algoritmaları .....</b>	<b>24</b>
2.2.1. Geri Yayınım Öğrenme Algoritması.....	25
2.2.2. Levenberg-Marquardt Algoritması .....	28
<b>3. LİNEER OLMAYAN SİSTEMLERİN MODELLENMESİ.....</b>	<b>31</b>
<b>3.1. Mekanik Sistemler .....</b>	<b>31</b>
3.1.1. Newton Yasaları.....	31
3.1.1.1. Eylemsizlik Yasası.....	31
3.1.1.2. Dinamiğin Temel Yasası.....	31
3.1.1.3. Eylemsizlik Yasası.....	32
3.1.2. Kütle.....	32
3.1.3. Kuvvet.....	33
3.1.4. Mekanik Yay.....	34
3.1.5. Damper.....	35
3.1.6. Sarkaç.....	36
<b>3.2. Elektrik Sistemleri .....</b>	<b>36</b>
3.2.1. Kirchhoff Yasaları.....	37
3.2.1.1. Kirchhoff Akım Yasası.....	37
3.2.1.2. Kirchhoff Gerilim Yasası.....	37
3.2.2. Direnç.....	38
3.2.3. Kapasitör.....	39
3.2.4. İndüktör.....	40
3.2.5. İşlemsel Yükselteç.....	42
3.2.6. Tünel Diyot.....	42
<b>4. YAPAY SINIR AĞLARI İLE LİNEER OLMAYAN ELEKTRİK VE MEKANİK SİSTEMLERİN MODELLENMESİ .....</b>	<b>43</b>
4.1. Elektrik Sistemlerin Modellenmesi.....	43
4.1.1. Lineer Olmayan Dirençli Opamp Devresi.....	44
4.1.2. Tünel Diyot Devresi.....	56
4.1.3. Lineer Olmayan Bobinli Devre.....	70
4.2. Mekanik Sistemlerin Modellenmesi.....	84
4.2.1. Sarkaç Sistemi.....	84
4.2.2. Lineer Olmayan Yay ve Damper ile Bağlanmış Kütle Sistemi.....	100
<b>SONUÇ.....</b>	<b>116</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>117</b>
<b>Ek1. Yapay Sinir Ağı Eğitilirken Oluşan Hata .....</b>	<b>117</b>
<b>Ek2. Sistemin Gerçek Çıkışı ile Yapay Sinir Ağı Çıkışı Arasındaki Hata.....</b>	<b>120</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>125</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### YAPAY SİNİR AĞLARI İLE LİNEER OLMAYAN MEKANİK VE ELEKTRİK SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

**Mehmet YILDIRIM**

Dicle Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Matematik Anabilim Dalı

Bu tezde, lineer olmayan mekanik ve elektrik sistemlerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi çalışılmıştır. Lineer olmayan sistemlerin matematiksel modelleri (diferansiyel denklemleri) elde edilmiştir. Elde edilen bu denklemlerin girişine sinüs işareti uygulanmış ve nümerik yöntemlerle çözülmüştür. Bu çözümler yapay sinir ağının eğitiminde kullanılmıştır. Sinüs işareti ile eğitilmiş yapay sinir ağının çıkışı sistemin gerçek çıkışı ile nümerik ve grafik olarak karşılaştırılmıştır. Ağın genelleme özelliğini göstermek için basamak giriş işareti ile test edilmiştir. Test sonucunda elde edilen yapay sinir ağ çıkışı yine sistemin gerçek çıkışı ile nümerik ve grafik olarak karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, yapay sinir ağlarının lineer olmayan sistemlerin modellenmesinde etkili bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir.

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **MODELLING OF NONLINEAR MECHANIC AND ELECTRICAL SYSTEMS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

**Mehmet YILDIRIM**

Dicle Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Matematik Anabilim Dalı

In this thesis, modelling of non-linear mechanical and electrical systems by artificial neural networks is studied. Mathematical models (differential equations) of non-linear systems is obtained. Sinusoidal signal is applied to input of obtained equations and these equations are solved with numerical methods. These solutions are used for learning of artificial neural networks. The output of artificial neural network learned by sinusoidal signal is also compared with actual output of system in terms of numerical and graphical. To show generalization property of network, step input signal is tested. The output of obtained artificial neural network after test is also compared with actual output of system in terms of numerical and graphical.

In conclusion, it is observed that artificial neural network is an efficient method in modelling of non-linear systems.

## GİRİŞ

İnsanlığın doğayı araştırma ve taklit etme çabalarının en son ürünlerinden bir tanesi de yapay sinir ağları teknolojisidir. Yapay sinir ağları, basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini simüle etmek için tasarlanan programlardır. Bu simülasyon sinir hücreleri (nöronlar) içerir ve bu nöronlar çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak yapay sinir ağını oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler [17].

Bilim dünyası 1940'lı yıllarda yapay sinir ağları ile tanıştı. Bu alanda yapılan ilk çalışmalar beyin hücrelerinin işlevini ve birbirleri ile haberleşme şekillerinin ortaya çıkarılmasını amaçlamaktaydı. O zamandan beri yapay sinir ağları gerek teorik gerekse pratik anlamda dikkate değer miktarda yol katetti. Bugün birçok hücrenin belli bir düzende bir araya getirilmesi ve uygun öğrenme algoritmaları ile yapay sinir ağları kurulabilmekte ve bu ağlar çok karmaşık görevleri başarı ile yerine getirebilmektedirler [8].

Sistemler lineer davrandığında, sistemlerin analiz ve kontrolü için lineer cebirin güçlü özellikleri kullanılabilir. Fakat gerçekte sistemlerin çoğu lineer olmayıp eşdeğer bir lineer gösterim ile modellenirler. Yapay sinir ağlarının özellikle lineer olmayan sistemleri modelleme kabiliyeti bu tip sistemlerin analizinde yaygın olarak kullanmasını sağlamıştır [18].

Lineer olmayan elemanlar uzun zamandan beri yer aldıkları sistemin analizlerini karmaşıklştırmaktadır. Sistemlerde eskiden beri yer alan bu tür elemanlara son yıllarda çok sayıda elektronik ve mekanik eleman da eklenmiştir. Karakteristikleri lineer olmayan bu elemanlar hızlı anahtarlama, küçük bir güçle kontrol edebilme, küçük boyut, sessiz çalışma, düşük maliyet ve uzun ömür gibi çeşitli özelliklerinden dolayı vazgeçilmez hale getirmiştir [20].

Yapay sinir ağı kullanılarak lineer olmayan sistemlerin modellenmesi ile ilgili çalışmalar son yıllarda hız kazanmıştır. Yapay sinir ağlarının paralel çalışabilme, genelleme ve öğrenme yeteneklerinden dolayı lineer olmayan sistem modellemelerinde çok geniş bir uygulama imkanı bulmuştur.

Bu tezde yapay sinir ağları ile mekanik ve elektrik sistemler modellenmiştir. Tezin birinci bölümünde yapay sinir ağları ile ilgili genel bilgiler, ikinci bölümünde



öğrenme yöntemleri, üçüncü bölümünde sistem modellenmesi için kullanılan yöntemler ve sistemleri oluşturan elemanların davranışları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Tezde çalışmanın yapıldığı esas bölüm dördüncü bölümdür burada ele alınan sistemler detaylı bir şekilde incelenmiş ve sonuçlara varılmıştır. Aynı zamanda daha sonra yapılacak çalışmalara ışık tutacak tavsiyelerden bahsedilmiştir.

## 1. YAPAY SİNİR AĞLARI

### 1.1. Akıl ve Zeka

Akıl kelimesi genelde toplumda insanların zeka seviyelerini ifade etmek amacı ile kullanılmaktadır. Sıklıkla akıl kavramı zekayla karıştırılmaktadır. Akıl düşünme, anlama, kavrama, idrak etme, karar verme ve önlem alma yetenekleridir. Akıl aynı zamanda muhakeme etme ve bilgi elde etme gücü olarak ta tanımlanabilir. Zeka gerçekleri algılama, yargılama ve sonuç çıkarma yeteneklerinin tamamıdır.

Akıl genetik yoldan intikal eden sevgi, korku, kıskançlık, doğal savunma güdülerinin yanı sıra bulunduğumuz çevreden aldığımız etkileşimlerden ve toplum şartlarından etkilenilerek gelişmektedir. Dolayısıyla akıl sabit değil aksine insan hayatının sonuna kadar artabilen ve gelişebilen bir yetenektir. Akıl makine bilgisayar, yazılım ve başka bir yol ile taklit edilemez.

Her insan doğuştan belli bir zekaya sahiptir. Zeka belli bir konuda çalışılarak öğretilerek eğitilerek edinilen bilgi ve birikimle deneyimlere dayalı beceriler ile geliştirilebilir. İlk kez karşılaşılan ya da ani gelişen bir olaya uyum sağlayabilme anlama, öğrenme, analiz yeteneği beş duyunun, dikkatin ve düşüncenin yoğunlaştırılması zeka ile gerçekleştirilebilmektedir. Zeka yazılım veya tümleşik yongalar ile taklit edilebilmektedir. Bu durumda zeka yapay zeka olarak adlandırılmaktadır [9].

### 1.2. Yapay Zeka

Literatürde artificial intelligence olarak adlandırılan yapay zeka, insanın zeka yapısını anlamak, bunun benzerini ortaya çıkarmak için tümleşik yongalar ve bilgisayar yazılımlarını geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanabilir. Bir başka deyişle yapay zeka bilgisayarların öğrenme, anlama ve düşünme yeteneğine sahip olmasıdır [15]. Burada şu anda göz ardı edilemeyecek konu şudur ki bilgisayarlar ve tümleşik yongalar insanoğlunun idrak etme ve eğitimle elde ettiği yetenekleri kullanabilme kabiliyetine henüz sahip değildir ve uzun bir sürede sahip olamayacakları görülmektedir. Buna karşın insanoğlunun belli bir konudaki sınırlı

yeteneği bilgisayarlar tarafından taklit edilebilmektedir bazen bu sınırlı taklit mükemmele ulaşabilmektedir. Nesnelere alma ve bunları belli bir yere yerleştirme, veri hesaplama simülasyon vb.

Yapay zeka son yıllarda Uzman sistemler(US), Bulanık mantık(BM), Genetik algoritma(GA) ve Yapay sinir ağları(YSA) gibi alt dallara ayrılarak geniş bir uygulama ve araştırma alanı olmuştur [9].

### **1.2.1. Uzman sistemler**

Belli bir alanda sadece o alan ile ilgili bilgiler ile donatılmış ve problemlere o alanda uzman bir kişinin getirdiği şekilde çözümler getirebilen bilgisayar programlarıdır. Uzman sistemler oluşturulurken o konuda uzman olan bir veya birden fazla kişinin bilgi ve deneyimleri bilgisayara aktarılmaya çalışılmaktadır. Bu aktarım sırasında bilgi ve deneyimlerin bilgisayar tarafından anlaşılabilir olması ve bilgisayarda saklanması gerekmektedir. Bilgi tabanında saklanan bu bilgileri kullanarak insan karar verme sürecine benzer bir süreç ile problemlere çözüm üretilir [11].

### **1.2.2. Bulanık Mantık**

Bulanık küme teorisine dayanan matematiksel bir disiplindir. Bulanık mantık insan mantığında olduğu gibi uzun-kısa, sıcak-soğuk, hızlı-yavaş, siyah-beyaz yerine uzun-ortadan uzun-ortadan kısa-kısa, sıcak-ılık-az soğuk-soğuk-çok soğuk vb. gibi ara değerlere göre çalışmaktadır [10]. Bulanık mantığın uygulama alanları oldukça geniştir sağladığı en büyük fayda insana özgü tecrübe ve öğrenme olayını kolayca modelleyebilme ve belirsiz kavramları ifade edebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım için özellikle uygundur.

### **1.2.3. Genetik Algoritma**

Genetik algoritma Darwin'in evrim kuramı doğada en iyinin yaşaması kuralından esinlenilerek oluşturulan, bir veri öbeğinden özel bir veriyi bulmak için

kullanılan bir arama yöntemidir. Genetik algoritmalar geleneksel yöntemler ile çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılır. Herhangi bir programın genetik algoritma ile çözümü, problemi sanal olarak evrimden geçirerek yapılmaktadır [10].

#### **1.2.4. Yapay Sinir Ağları**

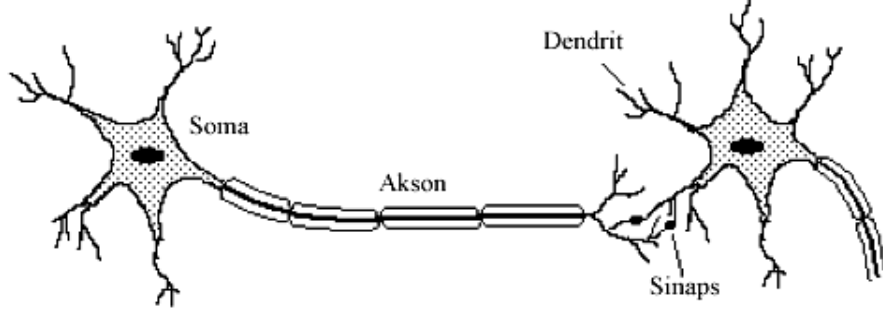
Son yıllarda, insan beyninin çalışma prensibini yapay olarak modellemeyi amaçlayan yapay sinir ağları, nesne (görüntü) tanıma, sinyal işleme, arıza analizi ve tespiti, sistem tanılama (modelleme) ve denetimi v.s gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve kullanıldığı alanlardaki problemlerin çözümüne yeni yaklaşımlar getirmiştir. Genel olarak bir yapay sinir ağı, tek katmanlı ya da çok katmanlı olarak düzenlenebilen ve paralel olarak çalışan çok sayıda doğrusal olmayan yapay hücreden (işlem elemanı) meydana gelen bir sistem ya da matematiksel model olarak tanımlanır. Hücreler arasındaki ağırlıklar, arzu edilen tasarım amaçlarını sağlayacak şekilde çeşitli öğrenme kuralları ile ayarlanır. Bu yapısı ile yapay sinir ağları, öğrenme sürecinde bilgiyi toplayan ve ağırlıkları yardımıyla bu bilgiyi saklayan paralel bir işlemcidir. Bugün, çeşitli yapay sinir ağ yapıları ve öğrenme algoritmaları geliştirilmiştir. Herhangi bir uygulama için uygun yapay sinir ağ yapısını ve öğrenme algoritmasını seçmek ya da geliştirmek gerekir [16].

##### **1.2.4.1. Biyolojik Sinir Sistemi**

İnsan merkezi sinir sisteminin yaklaşık olarak  $1,3 \times 10^{10}$  nörondan oluştuğu iddia edilmekte ve bu nöronların  $1 \times 10^{10}$  tanesi beyinde bulunmaktadır. Herhangi bir anda bazı nöronlar ateşlenmekte ve bunun sonucunda 10 watt lık bir enerji açığa çıkmaktadır. Beyin aktivitelerinin izlenmesi sonucunda, uyku sırasında  $5 \times 10^7$  sinirsel uyarının beyin ile vücudun diğer organları arasında gidip geldiği tespit edilmiştir. Bu oran uyanırken daha da artmaktadır.

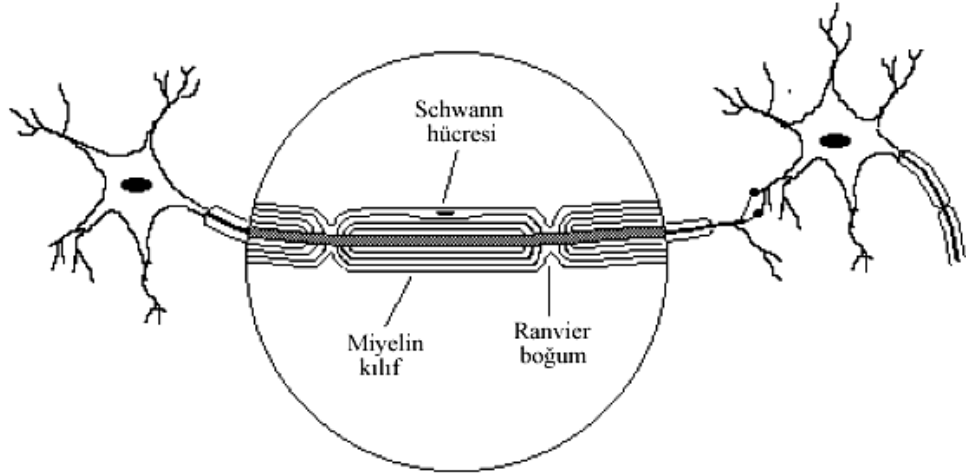
Bir nöron kabaca küre şeklinde bir vücut hücresidir ve soma olarak adlandırılır. Somada oluşan sinyaller diğer nöronlara akson veya sinir ağları ile

iletilir. Aksonun devamında çalı şeklindeki bir başka nöron uzantısı vardır. Bu uzantıya dendrit denir. Dendritler diğer nöronlardan gelen sinyalleri almakla sorumludur.



**Şekil 1.1** Tipik Nöron

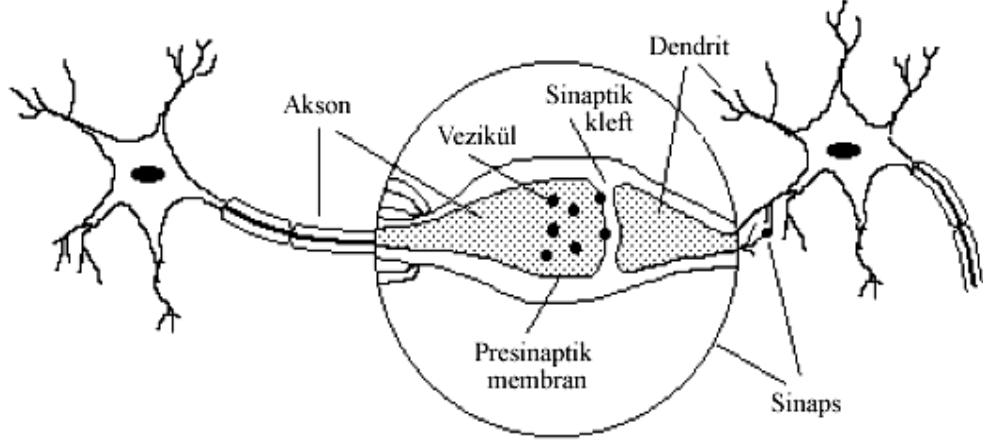
Bir akson insan vücudunda 1 mm den 1 metreye kadar değişen uzunluktadır. Somanın aksona bağlandığı noktaya akson tepeciği denir. Aksonlar çeşitli bölümlere ayrılmıştır. Aksonun bitiminde aksonun genişlediği bölümde sinapslar vardır ve içinde terminal düğmeler denilen özel yapılar bulunur. Bu yapılar bir nörondan gelen sinyali diğer nörona iletir. Bir nöron tipik olarak  $10^3$ 'den  $10^4$ 'e kadar sinaptik kavşaktan oluşur. Sinaptik vezikül birkaç bin kimyasal iletici molekül barındırır ve terminal düğmeler içerir.



**Şekil 1.2** Akson

Bir sinir sinyal yolladığında sinapsa gelir, bazı kimyasal ileticiler ile bu sinyal sinaptik kleflere iletilir. Sinaptik klef iletici nöronun terminal düğmeleri ile alıcı nöron arasındaki dar bir boşluktur. Genel olarak sinapslar bir nöronun aksonu ile

başka bir nöronun dendriti arasında bulunur. Nadiren iki akson, farklı hücrelerin iki dendriti veya akson ile bir vücut hücresi arasında bulunabilir.



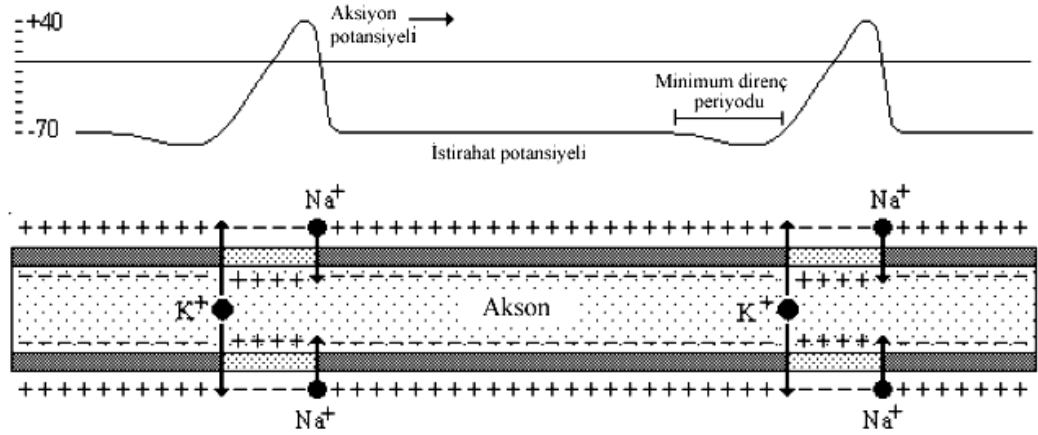
**Şekil 1.3** Sinaps

Nöronlar 5 nanometre kalınlığında yarı geçirgen bir zar ile kaplanmıştır. Zar seçici olarak hücre içi sıvıdaki iyonları geçirebilme özelliğine sahiptir ve temel olarak hücre içi sıvısı ve hücre dışı sıvısındaki iyon konsantrasyonunu dengeleyen bir iyon pompası şeklinde çalışır. Sodyum iyonları sürekli olarak hücre içi sıvısından hücre dışı sıvısına taşınırken, potasyum iyonları hücre dışı sıvısıyla dengede olacak şekilde hücre içine geçer. Hücre içi ve dışı arasındaki iyon konsantrasyonundaki farklılık sebebiyle hücre zarı polarize olur. Denge durumunda hücre içinin hücre dışına göre 70 milivolt negatif yüklü olduğu gözlenmiştir. Bu potansiyele istirahat potansiyeli denir.

Nöronlar sinaptik bağlantılar yoluyla çok sayıda nörondan ileti alırlar. Sinirlerden presnaptik hücre zarına gelen sinyaller snaptik kleftten kimyasal bir taşıyıcı yayarlar. Bu kimyasal taşıyıcılar sinaptik aralıktan geçerek postsinaptik zardaki alıcı bölgeye taşınırlar. Postsnaptik hücre zarı kimyasal alıcıları toplar. Bu da soma potansiyelini ya artırır ya da azaltır. Bu potansiyele artmış potansiyel denir. Artmış potansiyel snaptik kleftte serbest kalan kimyasallarla bağlıdır. Bu çeşit sinapslara ateşleyen sinaps denir ve depolarizasyona sebep olur. Diğer sinapslar polarizasyonu artırır bunlara inhibitör sinaps denir. Eğer polarizasyondaki azalma bir eşik sınırını aşarsa postsnaptik nöronlar ateşlenir.

Uyarılmış sinapslara gelen sinyaller somada depolarizasyona sebep olurken, inhibitör etki ile yeni bir polarizasyonu durdurur. Genel olarak bir tek sinapstaki depolarizasyon nöronun ateşlenmesi için yeterli değildir. Fakat hücrenin diğer bölgelerinden gelen sinyalleri alan sinapslar aynı anda polarizasyona sebep olacağından bu uyarı eşik değerini aşar ve ateşlenmeye sebep olur.

Akson tepesiğinde uyarılmış etkilerin sonucunda hücre zarından geçen düzenli iyon geçirgenliği kesilir. Hücre içindeki iyonik konsantrasyon hücre dışına iyonların atılmasıyla dengelenir. Eğer polarizasyon yeterince büyük ise, hücre potansiyeli giderek azalır ve çok kısa bir süre için iç potansiyel pozitif olur. Bu kısa süreli potansiyel hareketli potansiyel denir. Bu da hareketli potansiyelin bulunduğu bölgeden komşu bölgedeki aksone istirahat potansiyeline doğru bir elektrik akımı akışına sebep olur. Bu akım komşu sabit bölgedeki potansiyelin değişmesine sebep olur ki, bu dalganın tüm akson hücresi boyunca tekrarlanmasına sebep olur.



Şekil 1.4 Akson üzerindeki potansiyel hareketi

Hareketli potansiyel bir noktadan geçtiğinde, yeni bir potansiyel akım için kısa bir süre yetersizdir ve bu süreye direnç dönemi denir. Çünkü nöronun depolarize edilmiş bölümü iyileşme durumunda olduğunda hemen tekrar aktif olmaz elektriksel aktivite sinyali daima ileri yönde ilerler. Akson üzerinde tetiklenen bölgede sodyum potasyum pompalanması sebebiyle hızlı bir şekilde polarize edilmiş durumunu iyileştirir. Direnç dönemi yaklaşık olarak 1 milisaniyedir ve bu da sinir sinyal iletimini sınırlar, öyle ki bir nöron ateşlenebilir ve bunun sonucunda saniyede 1000 sinyale kadar sinir sinyalleri oluşturabilir. Sinaptik kavşaklara gelen uyarı sayısı ve

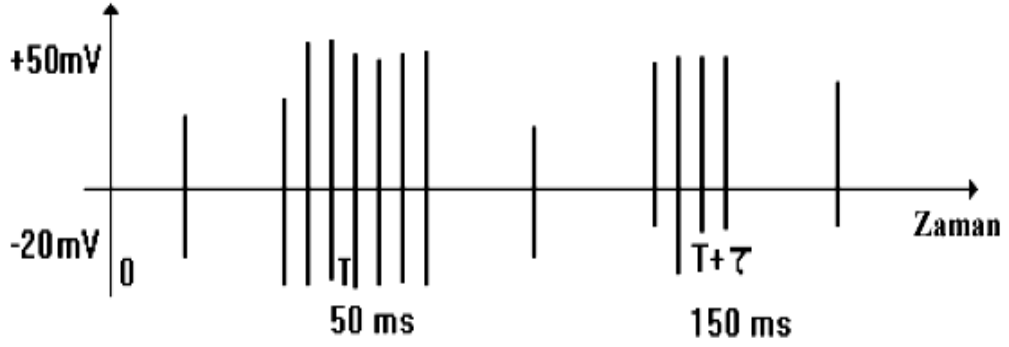
hızına göre belirli bir nöron depolarizasyonun yeterli olması durumunda ateşlenebilir ve sinir uyarısını aksonlarına iletir. Depolarizasyon etkisi soma hücresi boyunca ilerleyebilir. Fakat bu etkilenme akson tepeciğine varmadan ortadan kaldırılır. Bununla beraber sinir uyarısı akson tepeciğine ulaştığında ilerlemeye devam eder ve sinapslara ulaşır ve burada da depolarizasyonun etkisiyle sinaptik klefte kimyasal ileticilerin serbest bırakılmasını sağlar.

Aksonlar genellikle miyelin bir kılıf ile kaplanmıştır. Bu kılıf aksonun da büyümesini sağlayan çok tabakalı Schwann hücrelerinden oluşur. Aksonlara doğru ilerleyişin hızı bu miyelin kılıfın kalınlığına bağlıdır. Bu kılıfın kalınlığı aksonun hücre dışı sıvı ile izolasyonunu sağlar ve zardan iyon geçişini engeller. Miyelin kılıf ranvier boğumu adı verilen sabit aralıklarla kesilmiştir. Bu aralıklarda hücre dışı sıvısı miyelin zarı ile temas geçer ve iyon geçişi oluşur. Aksonlar zayıf iletkenler olduklarından, aktif potansiyel iletilerek ranvier boğumunda depolarizasyon oluşur. Bu olay bir dizi şeklinde gerçekleşir, öyleki bir boğumdaki polarizasyon diğerinin polarizasyonunu tetikler. Sinir uyarı kayıplarını dengelemek için bir yükseltici gibi etkili bir şekilde bir boğumdan diğerine atlar. Akson tepeciğinde oluşan aktif potansiyel aksonlar boyunca diğer nöronlara iletilir.

Biyolojik nöronun temsili çıkış davranışı şekil 1.5'te şematik olarak gösterilmiştir  $t=0$  anında nöron sabittir.  $T$  zamanında genellikle 50 milisaniyede nöron aksonlar boyunca bir uyarı treni oluşturur. Her bir uyarı pratik olarak genliğe denktir. Belirli bir süre sonra,  $t=T+t$  zamanında, aynı sabit oluşumun sonucu olarak nöron yeni bir uyarı treni oluşturur. Fakat ikinci uyarı treni genellikle daha küçük sayıdadır. Nöron sabit olmadığı zamanda bile, rasgele uyarılar yollayabilir. Fakat sabit olduğunda uyarı sıklığı daha azdır.

Bir nöronun elektrokimyasal yapısını ve çalışmasını açıklamak için dikkate değer sayıda araştırmalar yapılmıştır. Bununla beraber, hala ilerde cevaplanması gereken sorular bulunmaktadır [13].





**Şekil 1.5** Biyolojik nöronun  $t=0$  anında sinyal çıkışından sonraki gösterimi.

#### 1.2.4.2. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yapay sinir ağları hesaplama ve bilgi işleme gücünü, paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden alır. Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde karşılaşılmayan girişler için de yapay sinir ağlarının uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, yapay sinir ağlarının karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. Günümüzde birçok bilim alanında yapay sinir ağları, aşağıdaki özellikleri nedeniyle etkin olmuş ve uygulama yeri bulmuştur [14].

##### 1.2.4.2.1. Doğrusal Olmama

Yapay sinir ağlarının temel işlem elemanı olan hücre doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen yapay sinir ağında doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. Bu özelliği ile yapay sinir ağları, doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümünde çok önemli bir araç olmuştur [14].

##### 1.2.4.2.2. Öğrenme

Yapay sinir ağlarının arzu edilen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak ayarlanması gerekir. Bu, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılması ve

bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerektiğini ifade eder. Yapay sinir ağının karmaşık yapısı nedeniyle bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlı olarak verilemez ya da tasarlanamaz. Bu nedenle yapay sinir ağı, istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği problemde aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir [14].

#### **1.2.4.2.3. Genelleme**

Yapay sinir ağı ilgilendiği problemi öğrendikten sonra eğitim sırasında karşılaşmadığı test örnekleri için de arzu edilen tepkiyi üretebilir. Örneğin, karakter tanıma amacıyla eğitilmiş bir yapay sinir ağı, bozuk karakter girişlerinde de doğru karakterleri verebilir ya da bir sistemin eğitilmiş yapay sinir ağı modeli, eğitim sürecinde verilmeyen giriş sinyalleri için de sistemle aynı davranışı gösterebilir [14].

#### **1.2.4.2.4. Uyarlanabilirlik**

Yapay sinir ağı ilgilendiği problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlar. Yani, belirli bir problemi çözmek amacıyla eğitilen yapay sinir ağı, problemdeki değişimlere göre tekrar eğitilebilir, değişimler devamlı ise gerçek zamanda da eğitime devam edilebilir. Bu özelliği ile yapay sinir ağı uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanılama ve denetim gibi alanlarda etkin olarak kullanılır [14].

#### **1.2.4.2.5. Hata Toleransı**

Yapay sinir ağı çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanmasından oluştuğundan paralel dağılmış bir yapıya sahiptir ve ağına sahip olduğu bilgi, ağdaki bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Bu nedenle, eğitilmiş bir yapay sinir ağının bazı bağlantılarının hatta bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir [14].

#### **1.2.4.2.6. Donanım ve Hız**

Yapay sinir ağı paralel yapısı nedeniyle büyük ölçekli entegre devre (VLSI) teknolojisi ile gerçekleştirilebilir. Bu özellik yapay sinir ağının hızlı bilgi işleme yeteneğini artırır ve gerçek zamanlı uygulamalarda arzu edilir [14].

#### **1.2.4.2.7. Analiz ve Tasarım Kolaylığı**

Yapay sinir ağlarının temel işlem elemanı olan hücrenin yapısı ve modeli, bütün yapay sinir ağ yapılarında yaklaşık aynıdır. Dolayısıyla, yapay sinir ağlarının farklı uygulama alanlarındaki yapıları da standart yapıdaki bu hücrelerden oluşacaktır. Bu nedenle, farklı uygulama alanlarında kullanılan yapay sinir ağları benzer öğrenme algoritmalarını ve teorilerini paylaşabilirler. Bu özellik, problemlerin yapay sinir ağları ile çözümünde önemli bir kolaylık getirecektir [14].

#### **1.2.4.3. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları**

Son yıllarda yapay sinir ağları, özellikle günümüze kadar çözümü güç ve karmaşık olan ya da ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmış ve genellikle başarılı sonuçlar alınabilmektedir. Yapay sinir ağları çok farklı alanlara uygulanabildiğinden bütün uygulama alanlarını burada sıralamak zor olmakla birlikte genel bir sınıflandırma ile yapay sinir ağlarının uygulama alanları aşağıdaki gibi altı grup içerisinde toplanabilir [14].

##### **1.2.4.3.1. Arıza Analizi ve Tespiti**

Bir sistemin, cihazın ya da elemanın düzenli (doğru) çalışma şeklini öğrenen bir yapay sinir ağının yardımıyla bu sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tanımlanma olanağı vardır. Bu amaçla yapay sinir ağları elektrik makinelerinin, uçakların ya da bileşenlerinin, entegre devrelerin v.s. arıza analizinde kullanılmıştır [14].

#### **1.2.4.3.2. Tıp Alanında**

EEG ve ECG gibi tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu v.s gibi uygulama yeri bulmuştur [14].

#### **1.2.4.3.3. Savunma Sanayi**

Silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesnelere (görüntüleri) ayırma ve tanıma, yeni algılayıcı tasarımı ve gürültü önleme v.s gibi alanlara uygulanmıştır [14].

#### **1.2.4.3.4. Haberleşme**

Görüntü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi sunma servisleri, konuşmaların gerçek zamanda çevirisi v.s gibi alanlarda uygulama örnekleri vardır [14].

#### **1.2.4.3.5. Üretim**

Üretim sistemlerinin optimizasyonu, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin (entegre, kağıt, kaynak v.s.) kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi v.s. alanlarına uygulanmıştır [14].

#### **1.2.4.3.6. Otomasyon ve Kontrol**

Uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma (gösterme), robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü v.s. gibi yaygın bir uygulama yeri bulmuştur [14].

#### 1.2.4.4. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri Tarihçesi

İnsan beyninin ve düşünme yeteneğinin taklit edilmesi isteği sanıldığı gibi aksine çok eski zamanlarda var olmuş bir istektir. İnsan beyni ve düşünebilme yeteneğine ilişkin ilk açıklayıcı teori geliştirme denemeleri Antik Yunan düşünürleri olan Plato (M.Ö. 427–327) ve Aristoteles'e (M.Ö. 384–322) kadar uzanmaktadır. Daha sonra ise Descartes (1596–1650) insanın düşünme yeteneğiyle ilgilenen 17. yüzyıl düşünürü olmuştur.

Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve beynin nörofiziksel yapısından esinlenerek matematiksel modeli çıkarılmaya çalışılmıştır. Beynin bütün davranışlarını modelleyebilmek için fiziksel bileşenlerinin doğru olarak modellenmesi gerektiği düşüncesi ile çeşitli yapay hücre ve ağ modelleri geliştirilmiştir. Böylece, yapay sinir ağları denen günümüz bilgisayarlarının algoritmik hesaplama yöntemlerinden farklı bir bilim alanı ortaya çıkmıştır. Genel anlamda yapay sinir ağı, beynin bir işlevini yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistem olarak tanımlanabilir. Bir yapay sinir ağı, yapay sinir hücrelerinin birbirleri ile çeşitli şekillerde başlanmasında oluşur. Yapay sinir ağları öğrenme algoritmaları ile öğrenme sürecinden geçtikten sonra, bilgiyi toplama, hücreler arasındaki bağlantı ağırlıkları ile bu bilgiyi saklama ve genelleme yeteneğine sahip olurlar. Yapay sinir ağları yapılarına göre farklı öğrenme yaklaşımları kullanırlar [21].

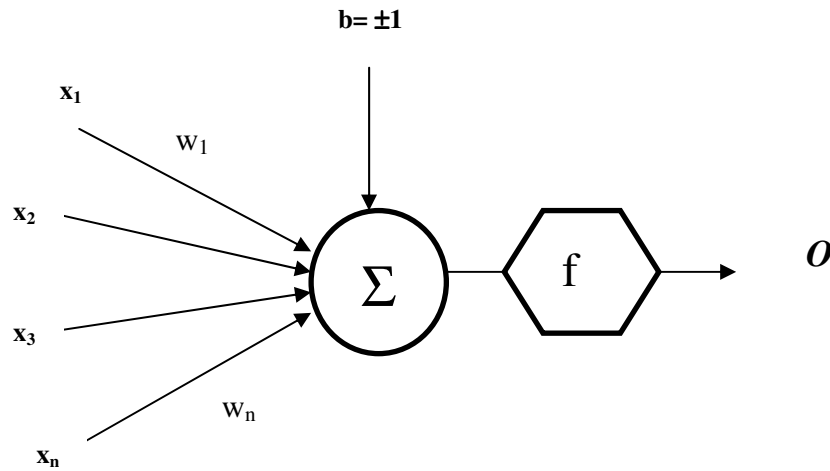
Yapay sinir ağlarının dayandığı ilk hesaplama modelinin temelleri 1940'ların başında araştırmalarına başlayan W.S. McCulloch ve W.A. Pitts'in 1943 yılında yayınladıkları bir makaleyle atılmış oldu. Daha sonra 1954 yılında B.G. Farley ve W.A. Clark tarafından bir ağ içerisinde uyarılara tepki veren, uyarılara adapte olabilen model oluşturulmuştur. 1960 yılı ise ilk neural bilgisayarın ortaya çıkış yılıdır. 1963 yılında basit modellerin ilk eksiklikleri fark edilmiş, ancak başarılı sonuçların alınması 1970 ve 1980'lerde termodinamikteki teorik yapıların doğrusal olmayan ağların geliştirilmesinde kullanılmasına kadar gecikmiştir. Seksenli yıllar sinirsel hesaplama çalışmaları için bir atılım dönemi olmuştur. Hopfield 1982 yılında ağların önemli sınıflarının matematik temellerini üretmiştir. Hopfield'in yaklaşımı beyne benzeyen basit bir model yerine kullanışlı bir alet yaratmaktı. Açık matematiksel analizleri kullanarak, böyle bir nasıl çalışabileceğini ve ne yapacağını

gösterdi. 1982 de Kohonen sinirlerin düzenli sıralanışına eşleme özelliği için danışmansız öğrenme kuralını geliştirmiştir.

1985 yılına kadar **Amerikan Ulusal Fizik Akademisi (NASUSA)** yapay sinir ağları ile ilgili gelişmeleri izlemiş ve desteklemiştir.1986 da Rumelhart ve McClelland karmaşık ve çok katmanlı ağlar için geri yayımlı öğrenme algoritmasını ortaya koydular. 1987 yılında **Elektrik Elektronik Mühendisliği Enstitüsü (IEEE)** tarafından sinir ağlarını konu alan ilk uluslararası konferans 1800'ü aşkın katılımcıyla gerçekleştirilmiştir [9].

#### 1.2.4.5. Yapay Sinir Ağ Hücresi

Temel bir yapay sinir ağı hücresi (nöron) biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel nöron modeli aşağıdaki şekil 1.6'da görülmektedir. Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar, net giriş, girişlerle bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan (nonlinear) bir fonksiyondur. Şekilde görülen  $b$  bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır [22].



**Şekil 1.6** Temel yapay sinir ağı hücresi.

Temel yapay sinir ağı hücresinin çıkışı

$$o = f(w.x + b) \quad (1.1)$$

şeklinde hesaplanır

Burada  $w$  ( $w = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ) ağırlıklar matrisi,  $x$  ( $x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ) ise girişler matrisidir.  $n$  giriş sayısı olarak kabul edilirse yapay sinir hücresi

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \quad (1.2)$$

şeklinde formüle edilir.

$$o = f(net) \quad (1.3)$$

oduğundan formül

$$o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \quad (1.4)$$

şeklinde yazılır.

Yukarıdaki formülde görülen  $f$  aktivasyon fonksiyonudur.

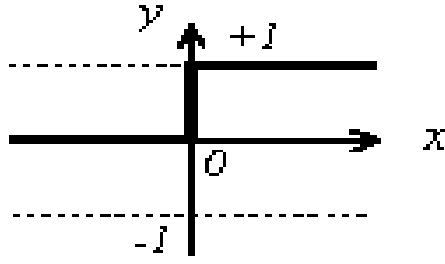
#### 1.2.4.6. Aktivasyon Fonksiyonları

##### 1.2.4.6.1. Eşik Fonksiyonu

Eşik fonksiyonu kullanılarak yapılmış bir nöron literatürde McCulloch-Pitts modeli olarak adlandırılır. Fonksiyonun grafiği şekil 1.7'de gösterilmiştir [23].

$$f(x) = y \quad (1.5)$$

$$f(x) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{array} \right\} \quad (1.6)$$



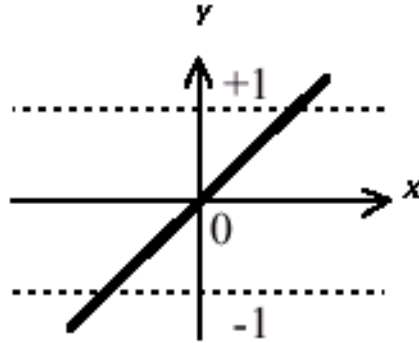
**Şekil 1.7** Eşik Fonksiyonu

#### 1.2.4.6.2. Doğrusal Fonksiyon

Lineer aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun lineer aktivasyon fonksiyonu olabildiğine dikkat edilmelidir. Şekil 1.8’de doğrusal aktivasyon fonksiyonu görülmektedir [23].

$$f(x) = y \quad (1.7)$$

$$f(x) = x \quad (1.8)$$



**Şekil 1.8** Doğrusal Fonksiyon

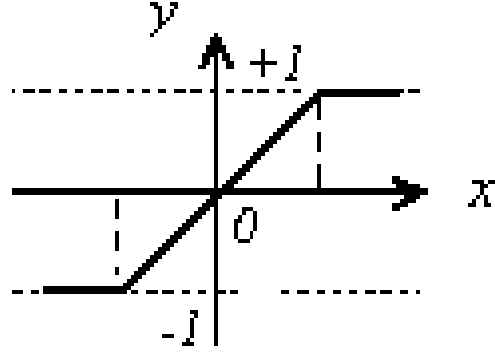
#### 1.2.4.6.3. Kısmi Doğrusal Fonksiyon

Doğrusal olmayan bir genlik artımı sağlayan bu aktivasyon fonksiyonu şekil 1.9’da gösterilmiştir. Eğer doğrusal bölgedeki genlik arttırıcı katsayı yeterince büyük alınırsa parçalı doğrusal fonksiyon eşik fonksiyonuna dönüşür [23].



$$f(x) = y \quad (1.9)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 1/2 \\ x & 1/2 > x > -1/2 \\ 0 & x \leq -1/2 \end{cases} \quad (1.10)$$



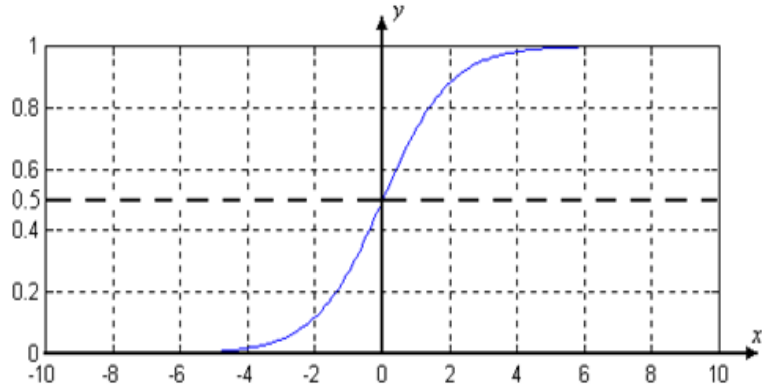
**Şekil 1.9** Kısmi Doğrusal Fonksiyon

#### 1.2.4.6.4. Sigmoid Fonksiyonu

Yapay sinir ağları oluşturulurken en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonudur. Doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlar arasında denge sağlayan sürekli artan bir fonksiyon olarak tanımlanır. Sigmoid fonksiyona bir örnek lojistik fonksiyondur ve şekil 1.10'da gösterilmiştir [23].

$$f(x) = y \quad (1.11)$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1.12)$$



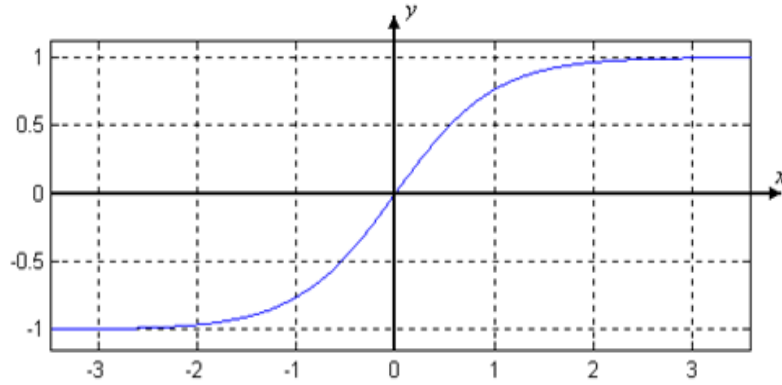
**Şekil 1.10** Lojistik Sigmoid Fonksiyonu

Görüleceği üzere sigmoid fonksiyonunun türevi alınabilirken eşik fonksiyonunun türevi alınamaz.

Hiperbolik tanjant fonksiyonu da sigmoid fonksiyon örneğidir ve şekil 1.11’de görülebilir [23].

$$f(x) = y \quad (1.13)$$

$$f(x) = \frac{e^{-x} - e^x}{e^{-x} + e^x} \quad (1.14)$$



**Şekil 1.11** Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu

#### 1.2.4.7. Orijinal Algılayıcı

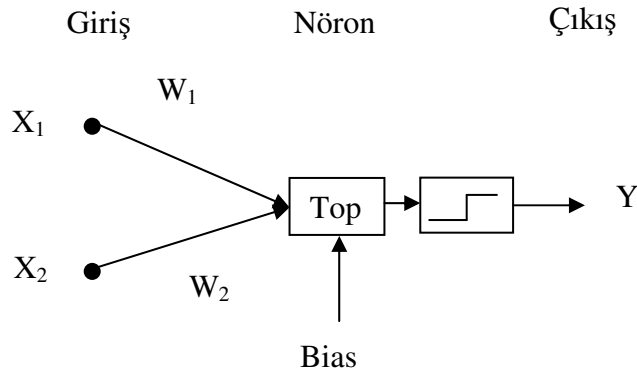
Orijinal algılayıcı en basit tek katmanlı nöron olup 1958’de Frank Rosenblatt tarafından geliştirilmiştir. Bu algılayıcı eşik aktivasyon fonksiyonunu

kullanarak tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağı olarak meydana getirilmiştir. İleri besleme, katmanlar arasındaki tüm bağlantıları bir sonraki katmana yaymayı ifade eder. Şekil 1.12’de iki girişli tek çıkışlı tek katmanlı algılayıcı görülmektedir. Basit algılayıcı, bir biaslı eşik aktivasyonludur ve dolayısıyla binary çıkışlıdır. Binary çıkışlı algılayıcının sıfır ve bir olan iki çıkışı vardır. Eğitici öğrenme ile çalıştırılır ve lineer olarak ayrılabilen yalnız sıfırsız giriş üyeleri olabilir.

Çalışma, algılayıcıya ait giriş verileri girildikten sonra küçük rastgele başlangıç değerleri olan ağırlıklar ve bias ile yapılır. Çıkış ve hedef çıkış karşılaştırılıp ağırlıklar Hebb öğrenme kuralına göre adapte edilir [19].

Bu kural aşağıdaki gibi yürütülebilir.

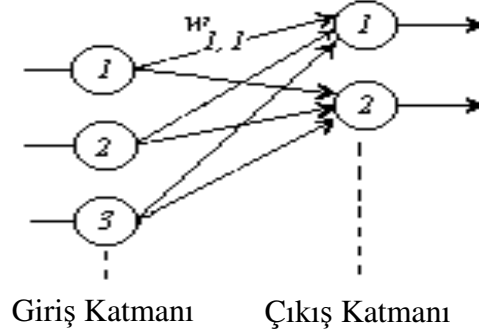
Eğer $y = \text{hedef}$ ise	$w = w;$	Çıkış doğru değişiklik yok
Eğer $y = 0$ ise	$w = w + x;$	Hedef=1, ağırlıklar artırılır.
Hiçbiri olmazsa	$w = w - x;$	Hedef=0, ağırlıklar azaltılır



Şekil 1.12 Orijinal Algılayıcı

#### 1.2.4.8. Tek Katmanlı İleri Beslemeli Sinir Ağları

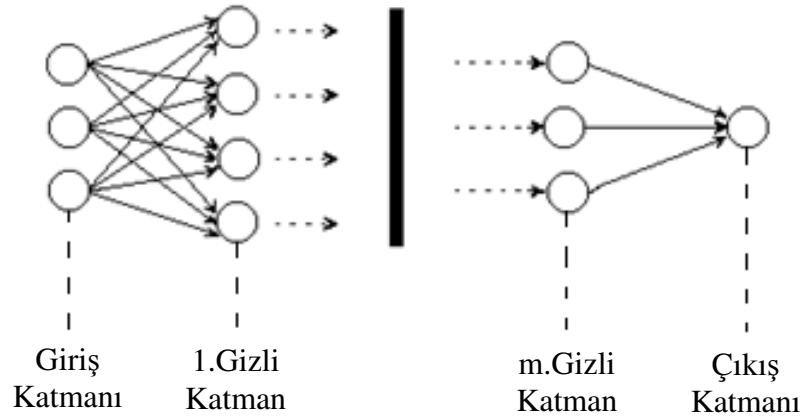
Tek katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağı en basit ağ yapısıdır. Bir giriş katmanı ve bir çıkış katmanı vardır. Örnek yapısı şekil 1.13’te gösterilmiştir. Bu tip bir ağda bilgi girişten çıkışa doğru ilerler yani ağ ileri beslemedir. Tek katmanlı olarak isimlendirilmesinin sebebi, giriş katmanının veri üzerinde hiçbir işlem yapmadan veriyi çıkış katmanına iletmesidir [22].



Şekil 1.13 Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağı

### 1.2.4.9. Çok Katmanlı İleri Beslemeli Sinir Ağları

Bu tip yapay sinir ağlarının özelliği, şekil 1.14'te de görüleceği üzere bir veya daha fazla gizli katman içermesidir. Gizli katmanların amacı giriş ve çıkış katmanları arasında gerekli bir takım işlemler yapmaktır. Giriş katmanı geniş olduğu zaman gizli katmanlar sayesinde yüksek dereceli istatistiksel veri elde edilebilir. Çok katmanlı yapılarda  $(n)$ . katmanın çıkış sinyalleri  $(n+1)$ . katmanın giriş sinyalleri olarak kullanılır.  $m$  adet giriş düğümü, ilk gizli katmanında  $h_1$  adet nöron, ikinci gizli katmanında  $h_2$  adet nöron ve çıkış katmanında  $q$  adet nöron bulunan bir çok katmanlı ileri besleme ağı  $m-h_1-h_2-q$  ağı olarak adlandırılır. Eğer her katmanda bulunan nöronlar bir sonraki katmanın tüm nöronlarına bağlı ise bu tip ağa tam bağlantılı ağ denir. Eğer bu sinaptik bağlantılardan bazıları eksikse ağ, kısmi bağlantılı ağ adını alır [22].



Şekil 3. 1 Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı

## 2.YAPAY SİNİR AĞLARINDA ÖĞRENME

Yapay sinir ağlarının en önemli özelliklerinden biri, ilgilendiği problemde aldığı örneklerle problemi öğrenerek öz yeteneğini düzeltebilmesidir. Yapay sinir ağı, tanımlanan bir ölçüte göre ağın serbest parametrelerinin ardışıl olarak uyarlanmasıyla problemi öğrenir. Yapay sinir ağı açısından öğrenme aşağıdaki gibi tanımlanır.

Öğrenme, yapay sinir ağlarının ilgilendiği ortam tarafından ağın belirli bir süre uyarılmasıyla yapay sinir ağlarının serbest parametrelerinin, arzu edilen öz yeteneği sağlayacak şekilde ayarlanması işlemidir ve öğrenmenin tipi, parametre değişikliklerinin yapılış şekline bağlıdır.

Bu tanıma göre öğrenme (ya da eğitim) sürecinde ağın uyarılması, bu uyarının sonucu olarak ağın parametrelerinin uyarlanması ve ağın probleme yeni tepkisini vermesi gerekir. Yapay sinir ağındaki herhangi bir ağırlık ele alınırsa öğrenme, matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$W_{yeni} = W_{eski} \pm \Delta W \quad (2.1)$$

Burada  $\Delta W$ , belirli bir kurala göre hesaplanarak o anki ağırlıklara uygulanacak düzeltme miktarını verir ve  $\Delta W$ 'yi belirlemek için tanımlanmış kurallara öğrenme algoritmaları ya da kuralları denir. Yapay sinir ağının ilgilendiği ortam tarafından uyarılma yöntemi de öğrenmede önemli bir etkidir ve bu tanımlara göre öğrenme çeşitli sınıflara ayrılır [16].

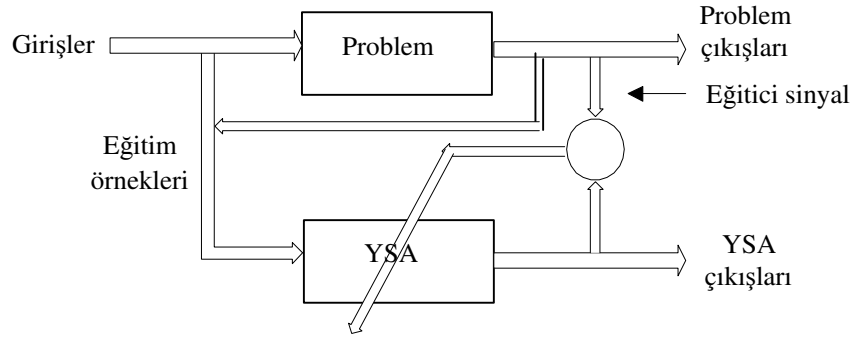
### 2.1. Öğrenme Yöntemleri

Öğrenmenin tanımından, yapay sinir ağının bir problemi çözebilmesi için ilgilendiği problem tarafından uyarılması gerektiği anlaşılmaktadır. Yapay sinir ağının ağırlıklarının uyarlanabilmesi için ihtiyaç duyduğu uyarı sinyallerine göre öğrenme üç gruba ayrılır [16].

#### 2.1.1. Eğitici Öğrenme

Yapay sinir ağının öğrenebilmesi için ağın ilgilendiği ortamın (problemin) davranışlarını ihtiva eden bir eğitici sinyal kullanılır ve bu sinyal, yapay sinir ağı için

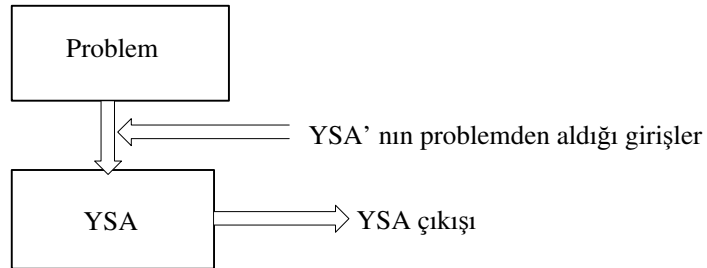
arzu edilen tepkiyi temsil eder. Eğitici sinyalle birlikte problemden alınan ağ girişleri eğitim örneklerini oluşturur. Eğitici çıkış ile gerçek ağ çıkışı arasındaki hata sinyaline göre yapay sinir ağının ağırlıkları uyarlanır. Sonuçta, eğitici sinyalde bulunan ilgili problemin davranışları yapay sinir ağı tarafından bilinir ve eğitimsiz de aynı davranışı gösterebilir. Bu özelliği ile eğitici öğrenme fonksiyon yaklaşırma nesne tanıma, sistem tanılama ve uyarlamalı denetim alanlarında kullanılan yapay sinir ağları için etkin bir öğrenme yöntemidir. Eğitici öğrenme yöntemi şekil 2.1’de verilen blok şema ile gösterilebilir [16].



**Şekil 2.1** Eğitici Öğrenme Yöntemi

### 2.1.2. Eğitici Öğrenme

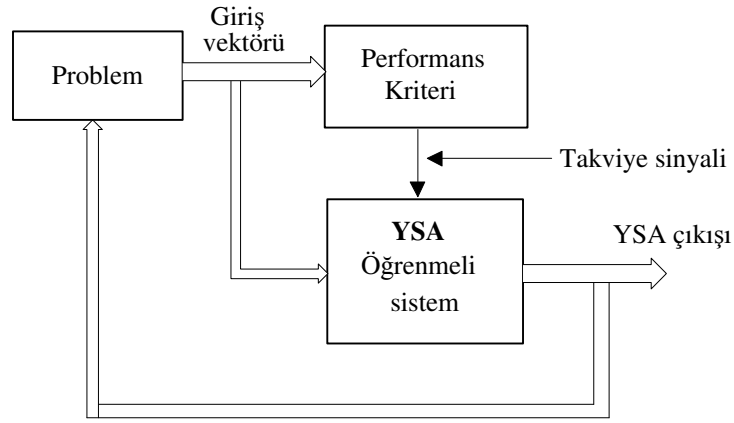
Eğitici ya da kendiliğinden düzenlemeli öğrenme yönteminde ağın öğreneceği belirgin davranış örnekleri yani eğitici bir sinyal yoktur. Ağ girişleri üzerinden gerçekleştirilmek istenen bir amaca göre yapay sinir ağının ağırlıkları ayarlanır [16].



**Şekil 2.2** Eğitici Öğrenme Yöntemi

### 2.1.3. Takviyeli Öğrenme

Takviyeli öğrenme yönteminde, yapay sinir ağının öğrenmesi için bir eğitici sinyal bulunmaz ancak, ağın davranışının uygun olup olmadığını bildiren bir öz yetenek bilgisine göre ağırlıklar ayarlanır. Bu nedenle genellikle gerçek zamanda öğrenme yöntemidir. Yapay sinir ağı deneme yanılma esasına göre öğrenir [16].



Şekil 2.3 Takviyeli Öğrenme Yöntemi

## 2.2. Öğrenme Algoritmaları

1990'lı yıllardan bugüne gelinceye kadar birçok öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Öğrenme algoritmaları temelde üç grupta toplanmaktadır. Eğitici öğrenme, eğitici öğrenme ve takviyeli öğrenme algoritmaları.

Eğitici öğrenmede, her bir örnekleme zamanında giriş uygulandığında sistemin arzu edilen cevabı eğitici tarafından sağlanır. Arzu edilen çıkış ile sinir ağı çıkışı arasındaki fark hata ölçüsüdür ve ağ parametrelerini güncellemekte kullanılır. Ağırlıkların güncellenmesi süresince eğitici ödüllendirme cezalandırma şemasını ağa uygulayarak hatayı azaltır. Bu öğrenme modelinde giriş ve çıkış örnekleri kümesi eğitim kümesi olarak adlandırılır.

Eğitici öğrenmede, eğitici öğrenmedeki gibi arzu edilen çıkışları bilinmemektedir. Bu yüzden kesin bir hata bilgisini ağın davranışını değiştirmekte

kullanmak mümkün değildir. Cevabın doğruluğu veya yanlışlığı hakkında bilgi sahibi olunmadığı için öğrenme, girişlerin verdiği cevaplar gözlenerek başarıya ulaşılır. Aslında eğitici-siz öğrenme demek doğru değildir, çünkü eğitici-siz öğrenme gerçekte mümkün değildir. Eğiticinin her öğrenme adımında dahil olmamasına rağmen, amaçları ayarlamaktadır.

Takviyeli öğrenmede, ağıın davranışının uygun olup olmadığını belirten bir öz yetenek bilgisine ihtiyaç duyulur. Bu bilgiye göre ağırlıklar ayarlanır. Gerçek zamanda öğrenme yöntemi olup deneme-yanılma esasına göre sinir ağı eğitilmektedir.

Birçok öğrenme algoritmasının bulunmasından dolayı bu kısımda sadece en popüler öğrenme algoritması olan Geri Yayınım Algoritması ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmaları anlatılacaktır.

Geri yayınım algoritması eğitici-li öğrenmede kullanılan en genel algoritmadır. Basit olması ve iyi bir öğrenme kapasitesine sahip olması birçok alana uygulanmasını sağlamıştır [22].

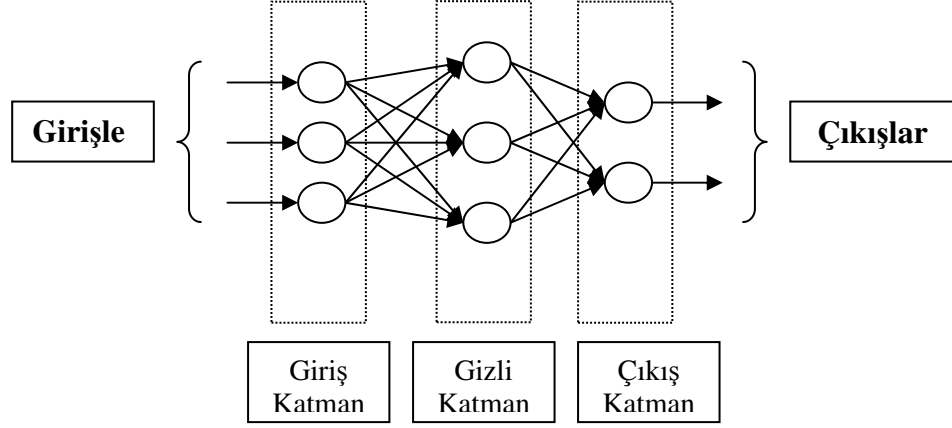
### 2.2.1. Geri Yayınım Öğrenme Algoritması

Geri yayınım algoritması, sinir ağıının eğitici-li sınıfına giren genel bir algoritmadır. Daha öncede belirtildiği gibi girişlerle çıkışlar arasındaki hata sinyali bulunarak, ağırlıklar bu hata sinyaliyle güncellenmektedir. Hata gerçek çıkış ile sinir ağıının çıkışı arasındaki farktır.

$$e(k) = y(k) - o(k) \quad (2.2)$$

Aşağıdaki şekilde birçok sinir hücresinin birbirine bağlandığı ileri yönlü çok katmanlı bir yapay sinir ağı görülmektedir. Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katman veya katmanlar gizli katman olarak adlandırılır. Sinir ağılarında kaç tane gizli katman kullanılacağı ve her bir gizli katmanda kaç nöron olacağı bugüne kadar belirlenememiştir, probleme göre değişen bu nitelikler deneme-yanılma yoluyla bulunur.





**Şekil 2.4** İleri Beslemeli Çok Katmanlı Sinir Ağı

Şekildeki çok katmanlı ağı düşünürsek  $k+1$ . katmanda  $i$ . birime net giriş

$$n^{k+1}(i) = \sum_{j=1}^{S_k} w^{k+1}(i, j) o^k(j) + b^{k+1}(i) \quad (2.3)$$

(2.3) denkleminde yazılı şekilde olacaktır. Birim  $i$ 'nin çıkışı

$$o^{k+1}(i) = f^{k+1}(n^{k+1}(i)) \quad (2.4)$$

(2.4) denkleminde yazılı şekilde olacaktır.

$m$  katmanlı bir ağ matris biçiminde ifade edilirse

$$\underline{o}^0 = \underline{x} \quad (2.5)$$

$$\underline{o}^{k+1} = \underline{f}^{k+1}(\underline{W}^{k+1} \underline{o}^k + \underline{b}^{k+1}) \quad (2.6)$$

$k = 0, 1, \dots, m-1$  için (2.6) denkleminde yazılı şekilde ifade edilir.

Yapay sinir ağının temel görevi giriş çıkış çiftleri arasındaki ilişkiyi öğrenmektir. Bu ilişkiden yola çıkarak ağın performansına bakarsak

$$E = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q (\underline{y}_q - \underline{o}_q^M)^T (\underline{y}_q - \underline{o}_q^M) = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q \underline{e}_q^T \underline{e}_q \quad (2.7)$$

olur.

Buradaki  $\underline{o}_q^M$ ,  $q$ . giriş ( $\underline{x}_q$ ) olduğunda ağın çıkışıdır,  $\underline{e}_q = \underline{y}_q - \underline{o}_q^M$  ise  $q$ . girişin hatasıdır. Standart geri yayılım algoritması yaklaşık adım düşümü algoritmasını kullanır. Performans indeksiyle denklem (2.8)'de ifade edilen şekilde yaklaşım gösterir.

$$E = \frac{1}{2} \underline{e}_q^T \underline{e}_q \quad (2.8)$$

Burada toplam karelerin toplamı tek giriş çıkış çifti için karesel hatayla yer değiştirilir. Yaklaşık adım (eğim) düşümü algoritması bundan sonra denklem (2.9) ve (2.10) şeklinde olur.

$$\Delta w^k(i, j) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} \quad (2.9)$$

$$\Delta b^k(i) = -\alpha \frac{\partial E}{\partial b^k(i)} \quad (2.10)$$

Denklem (2.9) ve (2.10)'daki  $\alpha$  öğrenme oranıdır, denklem (2.11)'deki gibi tanımlanır.

$$\delta^k(i) \equiv \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \quad (2.11)$$

performans indeksinin duyarlılığı  $k$ . katmanda  $i$ . birimin net girişinde değiştirilir. Buradan (2.3),(2.8) ve (2.11) denklemleri kullanılarak

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial w^k(i, j)} = \delta^k(i) o^{k-1}(j) \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b^k(i)} = \frac{\partial E}{\partial n^k(i)} \frac{\partial n^k(i)}{\partial b^k(i)} = \delta^k(i) \quad (2.13)$$

elde edilir.

Hassaslık yeterliği aşağıdaki yinelemeli ilişkiyle de gösterilebilir.

$$\underline{\delta}^k = \underline{F}^k(\underline{n}^k) W^{k+1} \underline{\delta}^{k+1} \quad (2.14)$$

Burada

$$\dot{F}^k(\underline{n}^k) = \begin{bmatrix} \dot{f}^k(n^k(1)) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dot{f}^k(n^k(2)) & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & \dot{f}^k(n^k(Sk)) \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

ve

$$f^k(n) = \frac{df^k(n)}{dn} \quad (2.16)$$

$$\underline{\delta}^M = -\dot{F}^M(\underline{n}^M)(\underline{y}_q - \underline{o}_q) \quad (2.17)$$

olur.

Öğrenme algoritmalarında şu adımlar izlenir. İlk önce denklem (2.5), (2.6) kullanılarak giriş ileri yönde yayılır, sonra denklem (2.17) ve (2.14) kullanılarak geri yayılır ve son olarak ağırlıklar ve denge denklem (2.9), (2.10), (2.12) ve (2.13) kullanılarak güncellenir [22].

### 2.2.2. Levenberg- Marquardt Algoritması

Geri yayılım algoritması çok kullanılmasına rağmen bazı dezavantajları bulunmaktadır. Geri yayılım algoritması sonuca çok yavaş olarak yaklaşmaktadır. Ayrıca lokal minimuma yakalanma riski de vardır. Geri yayılım, bir adım düşme algoritmasıyken, Levenberg –Marquardt algoritması Newton metoduna bir yaklaşımdır. Levenberg –Marquardt algoritması, Newton metodunun hızıyla, adım düşme metodunun sağlamlığının bileşkesidir.

Levenberg –Marquardt öğrenme algoritması minimumu araştırma metotlarının ikincisidir. Her bir iterasyon adımında hata yüzeyine parabolik yaklaşımla yaklaşılar ve parabolün minimumu o adım için çözümü oluşturur.  $E(x)$  fonksiyonuna sahip olduğumuzu ve  $\underline{x}$  parametresine göre minimize etmek istediğimizi düşünürsek, Newton metodunda şöyle olacaktır.

$$\Delta \underline{x} = -[\nabla^2 E(\underline{x})]^{-1} \nabla E(\underline{x}) \quad (2.18)$$

Burada  $\nabla^2 E(\underline{x})$  ifadesi Hessian matrisidir ve  $\nabla E(\underline{x})$  ise eğimdir.  $E(\underline{x})$ 'in karelerin toplamı fonksiyonu olduğunu farz edilirse

$$E(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i^2(\underline{x}) \quad (2.19)$$

elde edilir. Gerekli işlemler yapılırsa gösterim

$$\nabla E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) e(\underline{x}) \quad (2.20)$$

$$\nabla^2 E(\underline{x}) = J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + S(\underline{x}) \quad (2.21)$$

olur. Burada  $J(\underline{x})$  Jacobian matristir.

$$J(\underline{x}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_1(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_2(\underline{x})}{\partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial e_N(\underline{x})}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Buradan hareketle

$$S(\underline{x}) = \sum_{i=1}^N e_i(\underline{x}) \nabla^2 e_i(\underline{x}) \quad (2.23)$$

elde edilir. Gauss-Newton metodu için  $S(\underline{x}) \approx 0$  kabul edilir ve (2.18) güncellenerek

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x}) J(\underline{x})]^{-1} J^T(\underline{x}) e(\underline{x}) \quad (2.24)$$

elde edilir.

Levenberg-Marquardt modifikasyonu ile Gauss-Newton metodu

$$\Delta \underline{x} = [J^T(\underline{x}) J(\underline{x}) + \mu I]^{-1} J^T(\underline{x}) e(\underline{x}) \quad (2.25)$$

şeklinde ifade edilir.

Denklem (2.25)'te  $\mu$  parametresi, bir adımda  $E(\underline{x})$  artımı sonucunda bir faktörle ( $\beta$ ) ile çarpılır, bir adım  $E(\underline{x})$  azaltışında,  $\mu$  parametresi  $\beta$  ya bölünür.  $\mu$  büyükse algoritma adım düşümü ( $1/\mu$  adımı ile) olur, küçük  $\mu$  parametresi için algoritma Gauss-Newton olur.

Bu algoritmadaki anahtar adım Jacobian matrisinin hesaplanmasıdır. Yapay sinir ağı tasarım probleminde Jacobian matristeki terimler geri yayılım algoritmasının basitçe değiştirilmesiyle hesaplanabilir. Tasarım problemi için performans indeksi denklem (2.7)'de verilmiştir. Bu, (2.19)'daki eşitlikte kolayca görülebilir. Burada  $\underline{x} = [w^1(1,1)w^1(1,2)...w^1(S1,R)b^1(S1)w^2(1,1)..b^M(SM)]^T$  ve  $N=Qx$   $SM$ 'dir. Standart geri yayılım algoritmasının terimleri

$$\frac{\partial E}{\partial w^k(i, j)} = \frac{\partial \sum_{m=1}^{SM} e_q^2(m)}{\partial w^k(i, j)} \quad (2.26)$$

şeklinde hesaplanır.

Levenberg-Marquardt algoritması için Jacobian matrisin elemanları

$$\frac{\partial e_q(m)}{\partial w^k(i, j)} \quad (2.27)$$

şeklinde hesaplanır. Bu terimler standart geri yayılım algoritması kullanılarak son katmanda bir değişiklik ile hesaplanabilir.

$$\Delta^M = -\dot{F}^M(n^M) \quad (2.28)$$

(2.28)'deki matrisin her bir kolonu bir vektördür, Jacobianın bir satırını üretmek için ağ geri yayınılmalıdır [22].

### 3. LİNEER OLMAYAN SİSTEMLERİN MODELLENMESİ

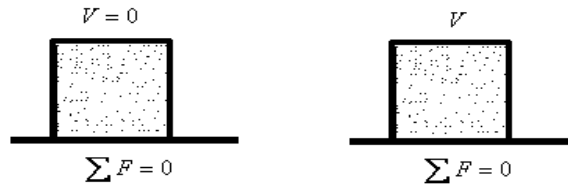
#### 3.1. Mekanik Sistemler

Bu kısımda tezde kullanılan mekanik sistemlerin matematiksel modellerinin elde edilmesi için gerekli kural ve kanunlar üzerinde durulmuştur. Mekanik sistemleri modellemek için o sistemi oluşturan mekanik elemanların davranış tarzlarını iyi bilmek gerekir. Aynı zamanda mekanik sistemlerin modellenmesinde temel yasalar olan Newton yasalarını bilmek ve sisteme uygun bir şekilde uygulamak ile sistem iyi bir şekilde modellenebilir.

##### 3.1.1. Newton Yasaları

###### 3.1.1.1. Eylemsizlik Yasası

Bir cismin sahip olduğu hareket ve şekil durumunu koruma isteğine eylemsizlik denir. Yani cisme etkiyen kuvvetlerin bileşkesi sıfır ise cisim durumunu korur. Hareket halinde ise hareketine duruyorsa durmaya devam eder.

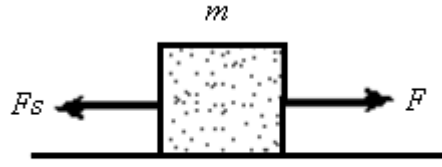


Şekil 3.1 Newton Eylemsizlik Yasası

###### 3.1.1.2. Dinamiğin Temel Yasası

Bir cisme etkiyen net kuvvet etkilediği cisme bir ivme kazandırır. Bu ivme cisme etkiyen kuvvet ile doğru orantılıdır. Net kuvvet cismin hareketi yönünde ise düzgün hızlanan hareket yönünün tersine ise düzgün yavaşlatan hareket yapar [4].

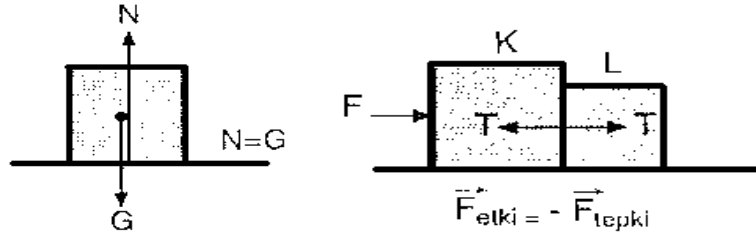
$$ma = \sum F \quad (3.1)$$



Şekil 3.2 Dinamiğin Temel Prensipleri

### 3.1.1.3. Etkiye Tepki Yasası

Bir cisim kendisine etkiyen her kuvvete karşı zıt yönde ve eşit bir tepki kuvveti oluşturur.



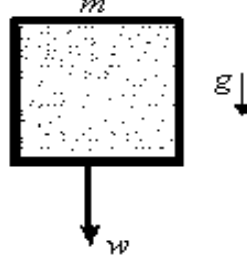
Şekil 3.3 Etkiye Tepki Yasası

### 3.1.2. Kütle

Bir cismin içerdiği madde miktarına o cismin kütlesi denir. Kütle skaler bir büyüklüktür. Dünyanın ve uzayın herhangi bir yerinde sabittir değişmez. Kütle cismin bir özelliğidir ve eylemsizliği gösterir. Genellikle cisme uygulanan net kuvvetin cisme kazandırdığı ivmeye oranla bulunur. Örneğin bütün cisimler dünya tarafından çekilir. Dünya tarafından çekilen cisme etkiyen net kuvvete cismin ağırlığı denir. Eğer ağırlık ve cisme etkiyen net kuvvet bilinirse kütle aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$m = \frac{w}{g} \quad (3.2)$$

$w$ : Cismin ağırlığı,  $g$ : Yerçekimi ivmesi,  $m$ : Kütle



**Şekil 3.4** Kütleye Etkiyen Kuvvetler

$g$  yerçekimi ivmesi dünyanın farklı yerlerinde küçük değişiklikler göstermesine rağmen genelde  $9.81 \text{ m/s}^2$  olarak kabul edilir. Buradan diyebiliriz ki dünyanın farklı yerlerinde cisimlerin ağırlıkları farklıdır ama cismin kütlesi sabittir. Kütle için en çok kullanılan birimler kilogram(kg) ve gramdır(g).

### 3.1.3. Kuvvet

Cisimlerin hareket durumlarını ve şekillerini değiştiren etkiye kuvvet denir. Etki ettiği cisimlerin şeklinin değişmesi veya cismin şeklinin uzayıp gitmesi kuvvetin statik etkilerindedir. Duran cismi hareket ettirmesi ve hareket halindeki cismin hızında değişiklik yapması kuvvetin dinamik etkilerindedir. Kuvvet vektörel bir büyüklüktür. Kuvvetler genelde direk kuvvetler ve alan kuvvetleri olarak iki bölüme ayrılırlar. Bir kuvvet eğer etki ettiği cisim ile direk kontakta ise bu kuvvete direk kuvvet denir. Bir kuvvet cisim ile direk kontakta olmayıp sadece cisim üzerinde etki yaratan bir kuvvet ise bu kuvvete alan kuvveti denir. Kuvvet için birçok birim kullanılmasına rağmen en çok kullanılan birimler Newton(N) ve Dyn(dyn) dir. 1 Newton demek 1 Kg kütleyle  $1 \text{ m/s}^2$  ivmelendirebilen kuvvet demektir.

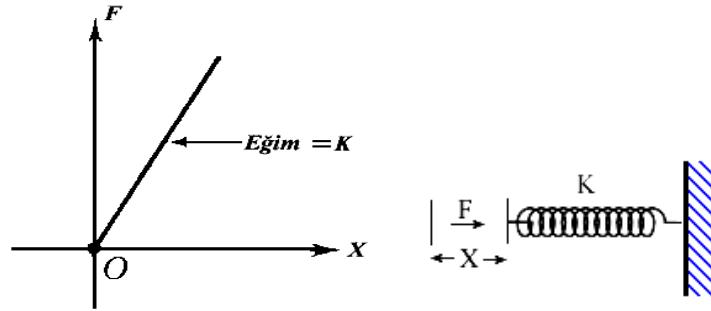


### 3.1.4. Mekanik Yay

Mekanik yay bir kuvvet ile mekanik potansiyel enerjiyi biriktiren ve yine dışarıdan bir kuvvet uygulandığında bu enerjiyi boşaltan mekanik bir elemandır. Yaylar kullanım amaçlarına göre farklı şekilde farklı malzemeden üretilirler ve yapılarına göre yumuşak (hafif) ve sert (ağır) yay olarak iki bölümde ayrılırlar.

Eğer bir yay  $X-F$  düzleminde orijinden geçen bir doğru ile gösterilebiliyorsa bu yay lineer yay denir ve matematiksel olarak  $F=Kx$  şeklinde gösterilir. Burada  $K$  yay sabitidir. Birimi Newton/metre(N/m) dir. Genelde yumuşak yaylar lineer davranış gösterirler [12].

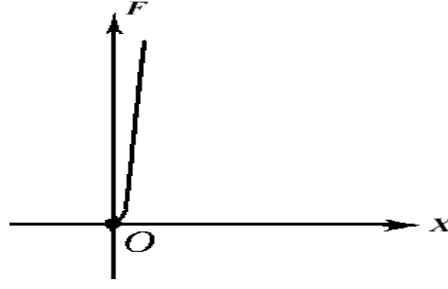
$$F = KX \quad [K] = \left[ \frac{N}{m} \right] \quad (3.3)$$



Şekil 3.4 Lineer Yay Kuvvet Yol Değişimi

Eğer bir yay  $X-F$  düzleminde orijinden geçen bir doğrudan farklı olarak bir eğri ile gösteriliyorsa bu yaya lineer olmayan yay denir. Bu durumda yay sabiti tek bir sayı ile gösterilemez. Genelde sert yaylar lineer olmayan davranış gösterirler. Örneğin  $F=K_1X+K_0X^3$  şeklinde davranış gösteren yaylar mevcuttur [6].

$$F = K_1X + K_0X^3 \quad (3.4)$$



Şekil 3.5 Linear Olmayan Yay Kuvvet Yol Değişimi

### 3.1.5. Damper

Damper içi sıvı dolu bir silindir ve pistondan oluşan, hızla orantılı olarak sıvı sürtünme kuvveti sağlayan mekanik bir elemandır. Piston kolunda herhangi bir hareket olduğunda silindir içindeki sıvı piston üzerindeki deliklerden geçmeye çalışarak bir kuvvet oluşturur ve bu kuvvet damperin bağlı olduğu sistemi etkiler.

Damper kesinlikle mekanik veya potansiyel enerji depolamaz hareketten kaynaklan enerjiyi emer ve emilen bu enerji ısı olarak çevreye dağılır. Damper hızla orantılı olarak kuvvet oluşturur [12]. Damper

$$F = B \frac{dx}{dt} \quad [B] = \left[ \frac{N}{(m/s)} \right] \quad (3.5)$$



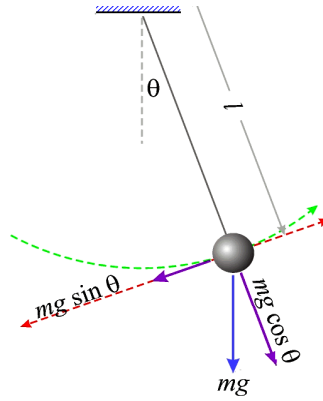
Şekil 3.6 Damper

şeklinde matematiksel olarak modellenenbilir. Burada  $B$  damper sabiti olup birimi  $N/(m/s)$  dir. Damper sabiti damperin silindir, piston ve silindir içindeki sıvının yapısına göre değişkenlik gösterir.

Mekanikte kapı menteşeleri gibi bazı sistem elemanları ve viskozitesi yüksek bazı sıvılar içinde hareket eden yaylarda damper şeklinde modellenir [5].

### 3.1.6. Sarkaç

Ağırlığı ihmal edilen ipin veya bir metalin ucuna asılan  $m$  kütleli cisimden oluşan mekanik düzeneğe sarkaç denir. Sarkaç denge konumunda iken ani bir  $F$  kuvveti etki ettirilip bırakılırsa yerçekimi ivmesinin etkisi ile bir salınım hareketi yapar. Salınım yapan sarkaç için Newton'un ikinci kanunu yazılırsa (3.6) denkleminde gösterildiği şekilde modellenenabilir. Bu denkleme sarkacın hareket denkleminin denir [6].



Şekil 3.6 Sarkaç

$$ml \frac{d\theta}{dt} + mg \sin \theta = 0 \quad (3.6)$$

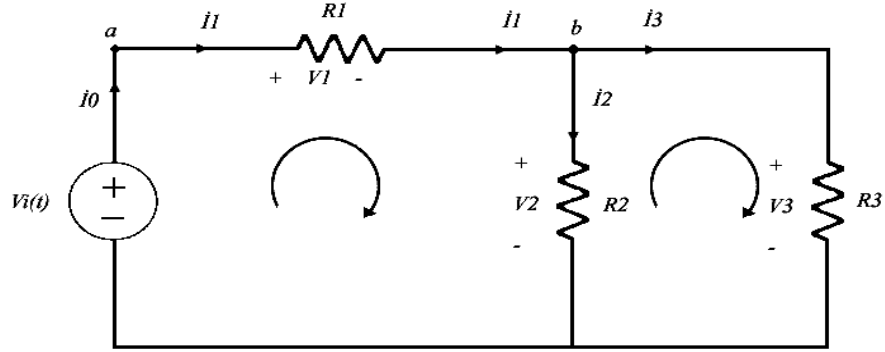
### 3.2. Elektrik Sistemleri

Bu kısımda tezde kullanılan elektrik sistemlerinin matematiksel modellerinin elde edilmesi için gerekli kural ve kanunlar üzerinde durulmuştur. Elektrik sistemlerini modellemek için o sistemi oluşturan elektriksel elemanların davranış tarzlarını iyi bilmek gerekir. Aynı zamanda elektrik sistemlerinin modellenmesinde temel yasalar olan Kirchhoff akım ve gerilim yasalarını bilmek ve sisteme uygun bir şekilde uygulamak ile sistem iyi bir şekilde modellenenabilir.

### 3.2.1. Kirchhoff Yasaları

#### 3.2.1.1. Kirchhoff Akım Yasası

Bir devrenin herhangi bir düğüm noktasına giren ve çıkan bütün akımların cebirsel toplamı sıfırdır [2].



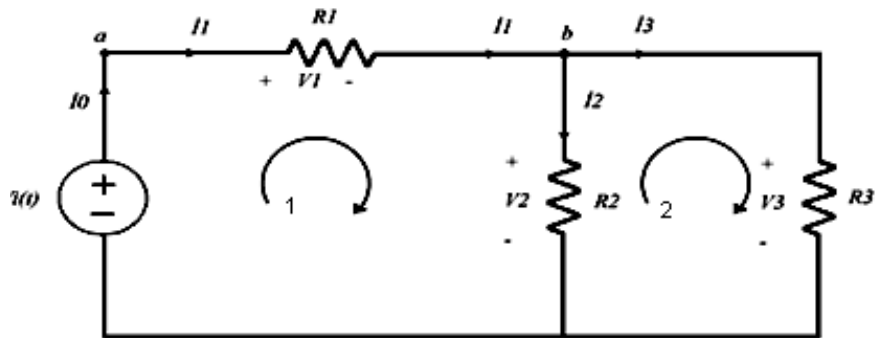
Şekil 3.7 Kirchhoff Akım Yasası

$$\text{Düğüm a} \quad \dot{I}_1 - \dot{I}_0 = 0 \quad (3.7)$$

$$\text{Düğüm b} \quad \dot{I}_2 - \dot{I}_3 - \dot{I}_1 = 0 \quad (3.8)$$

#### 3.2.1.2. Kirchhoff Gerilim Yasası

Bir devrenin kapalı bir döngüsü boyunca bütün gerilimlerin cebirsel toplamı sıfırdır [2].



Şekil 3.8 Kirchhoff Gerilim Yasası

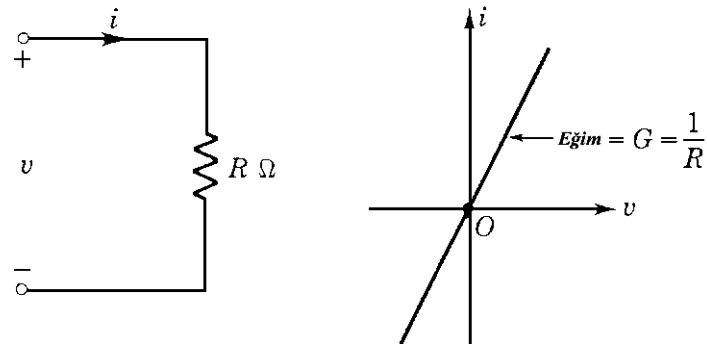
$$\text{Döngü 1} \quad V_1 + V_2 - V_i = 0 \quad (3.9)$$

$$\text{Döngü 2} \quad V_3 - V_2 = 0 \quad (3.10)$$

### 3.2.2. Direnç

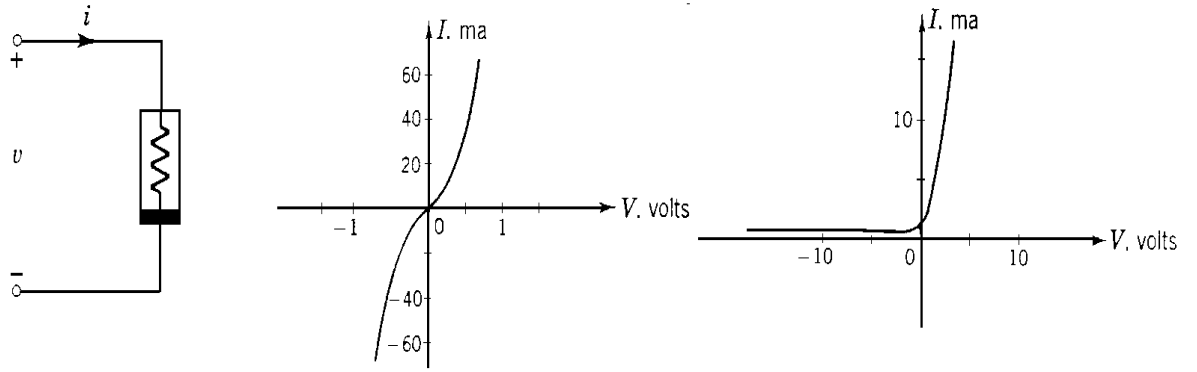
Bir devre elemanı eğer  $v-i$  düzleminde bir eğri ile gösterilebiliyorsa bu devre elemanına iki uçlu direnç denir. Eğer  $v-i$  düzleminde bir devre elemanı orijinden geçen bir doğru ile gösterilebiliyorsa bu devre elemanına lineer direnç denir ve matematiksel olarak  $i=Gv$  veya  $v=iR$  şeklinde modellenir. Burada  $R$  bir sabit sayı olup direnç sabiti veya rezistans olarak adlandırılır. Birimi ohm( $\Omega$ ) dur.  $G$  rezistansın tersi olup iletkenlik olarak adlandırılır ve birimi mho dur.

$$v = iR \quad (3.11)$$



Şekil 3.9 Lineer Direnç

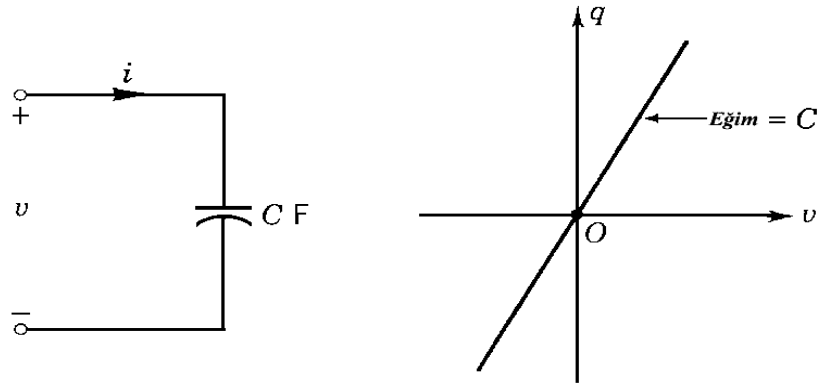
Eğer  $v-i$  düzleminde bir devre elemanı orijinden geçen bir doğrudan farklı olarak bir eğri ile gösteriliyorsa bu devre elemanına lineer olmayan direnç denir. Bu durumda rezistans bir sabit sayı olarak gösterilemez. Burada  $v-i$  arasındaki ilişki üretici tarafından bildirileceği gibi deney yolu ile de bulunabilir. Örneğin  $i=kv^{3/2}$  gibi burada  $k$  sabit sayı olup direncin fiziksel yapısı ile ilgilidir [1].



Şekil 3.10 Lineer Olmayan Direnç

### 3.2.3. Kapasitör

Bir devre elemanı eğer  $v$ - $q$  düzleminde bir eğri ile gösterilebiliyorsa bu devre elemanına kapasitör denir. Eğer  $v$ - $q$  düzleminde bir devre elemanı orijinden geçen bir doğru ile gösterilebiliyorsa bu devre elemanına lineer kapasitör denir ve matematiksel olarak  $q=Cv$  şeklinde modellenir. Burada  $C$  sabit bir sayı olup kapasitans olarak adlandırılır. Birimi farad( $F$ ) dır. Lineer kapasitörden akım geçmeye başlayınca  $i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$  şeklinde davranış gösterir.



Şekil 3.11 Lineer Kapasitör

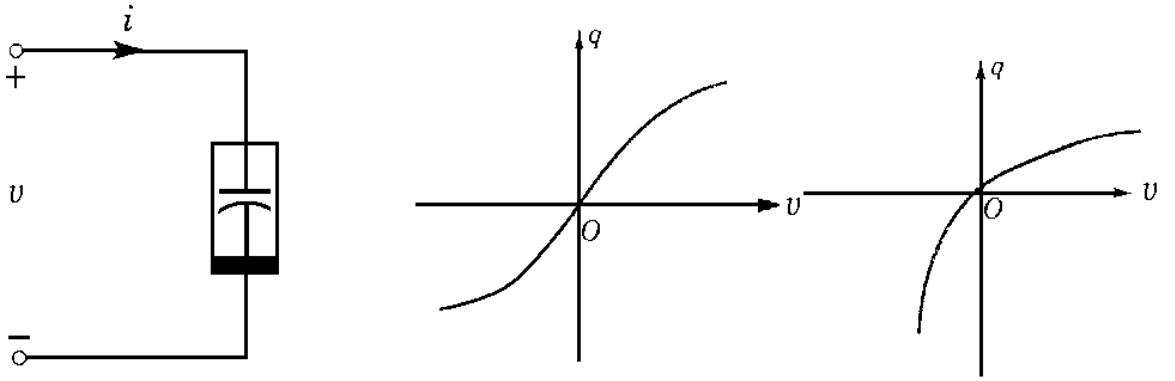
Eğer  $v$ - $q$  düzleminde bir devre elemanı orijinden geçen bir doğrudan farklı olarak bir eğri ile gösteriliyorsa bu devre elemanına lineer olmayan kapasitör denir. Bu durumda kapasitans bir sabit sayı ile gösterilemez. Lineer olmayan kapasitörde

$q=q(v)$  şeklinde voltajın bir fonksiyonudur. Kapasitörden akım geçmeye başlayınca

$$i(t) = \frac{dq(v)}{dt} = \frac{dq(v)}{dv} \frac{d(v(t))}{dt} \text{ veya } i(t) = C(v(t)) \frac{dv(t)}{dt} \text{ şeklinde davranış gösterir. Bu}$$

durumda  $C(v(t)) = \frac{dq(v)}{dv}$  şeklindeki kapasitansa artan (artmış) kapasitans denir ve

bir sabit sayı olarak gösterilemeyip voltajın bir fonksiyonu şeklinde tanımlanır [1].

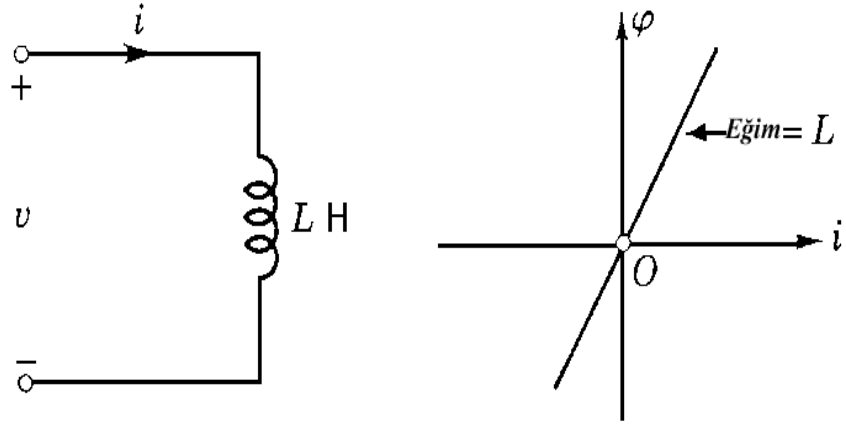


**Şekil 3.12** Lineer Olmayan Kapasitör

### 3.2.4. İndüktör

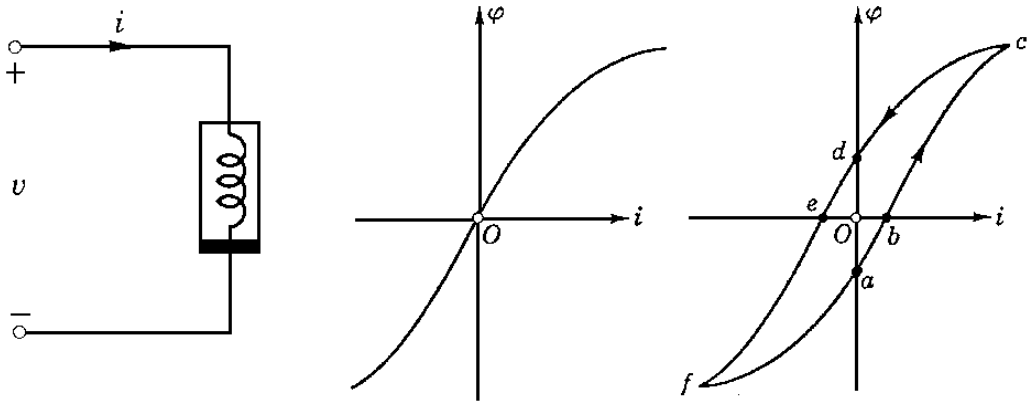
Bir devre elemanı eğer  $i-\varphi$  ( $\varphi$ : halkalama akısı) düzleminde bir eğri ile gösterilebiliyorsa bu devre elemanına indüktör denir. Eğer  $i-\varphi$  düzleminde bir devre elemanı orijinden geçen bir doğru ile gösterilebiliyorsa bu devre elemanına lineer indüktör denir ve matematiksel olarak  $\varphi = Li$  şeklinde modellenir. Burada  $L$  sabit bir sayı olup indüktans olarak adlandırılır. Birimi henry( $H$ ) dir. Lineer indüktöre voltaj

uygulanınca  $v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$  şeklinde davranış gösterir.



**Şekil 3.13** Lineer İndüktör

Eğer  $i-\varphi$  düzleminde bir devre elemanı orijinden geçen bir doğrudan farklı olarak bir eğri ile gösteriliyorsa bu devre elemanına lineer olmayan indüktör denir. Bu durumda indüktans bir sabit sayı ile gösterilemez. Lineer olmayan indüktörde  $\varphi=\varphi(i)$  şeklinde akımın bir fonksiyonudur. İndüktöre gerilim uygulanınca  $v(t) = \frac{d\varphi(i)}{dt} = \frac{d\varphi(i)}{di} \frac{d(i(t))}{dt}$  veya  $v(t) = L(i(t)) \frac{di(t)}{dt}$  şeklinde davranış gösterir. Bu durumda  $L(i(t)) = \frac{d\varphi(i)}{di}$  şeklindeki indüktansa artan (artmış) indüktans denir ve bir sabit sayı olarak gösterilemeyip akımın bir fonksiyonu şeklinde tanımlanır [1].

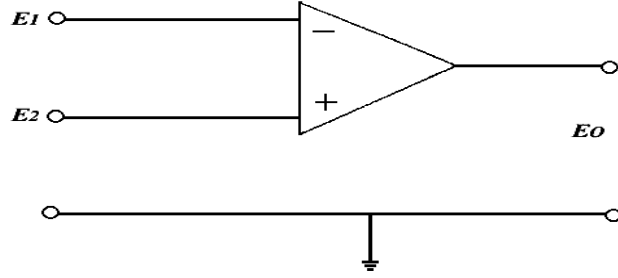


**Şekil 3.14** Lineer Olmayan İndüktör



### 3.2.5. İşlemsel Yükselteç

İşlemsel yükselteçler pratikte her uygulamada kullanıldığı için temel bir devre elemanı olma özelliğine sahiptir. Bu devre elemanı opamp olarak da adlandırılır ve sık sık sensör devrelerinin sinyallerini yükseltmek için kullanılır [3].

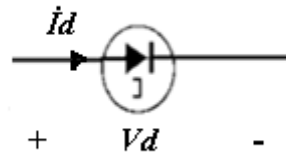


Şekil 3.15 İşlemsel Yükselteç

Opampın şekil 3.15'te görüldüğü gibi iki adet girişi bulunmaktadır.  $E_1$  girişi opampın eksi ucu olup tersleme yapar.  $E_2$  girişi opampı artı ucu olup tersleme yapmaz. Bu bilgilerin ışığında opampın girişi  $E_2 - E_1$  şeklinde olacağı söyleyebilir. Opampın çıkışı  $E_0 = k(E_1 - E_2) \cong -k(E_1 - E_2)$  şeklinde hesaplanır. Burada  $k$  voltaj veya fark kazancını göstermektedir. Opamp belli devre elemanları ile farklı şekillerde bağlanarak birçok amaç için kullanılmaktadır

### 3.2.6. Tünel Diyot

Tünel diyot ilk defa 1958 yılında Leo Esaki tarafından geliştirilmiştir. Normal diyottan farkı negatif direnç bölgesine sahip olmasıdır. Bu bölgede uç gerilimdeki bir artış, diyot akımında bir azalışa sebep olmaktadır. Tünel diyotların p-n jonksiyonu oluşturan malzemeleri normal bir yarı iletken diyoğuna göre yüzlerce ve binlerce kat daha fazla katkılayarak üretilir [7].



Şekil 3.16 Tünel Diyot

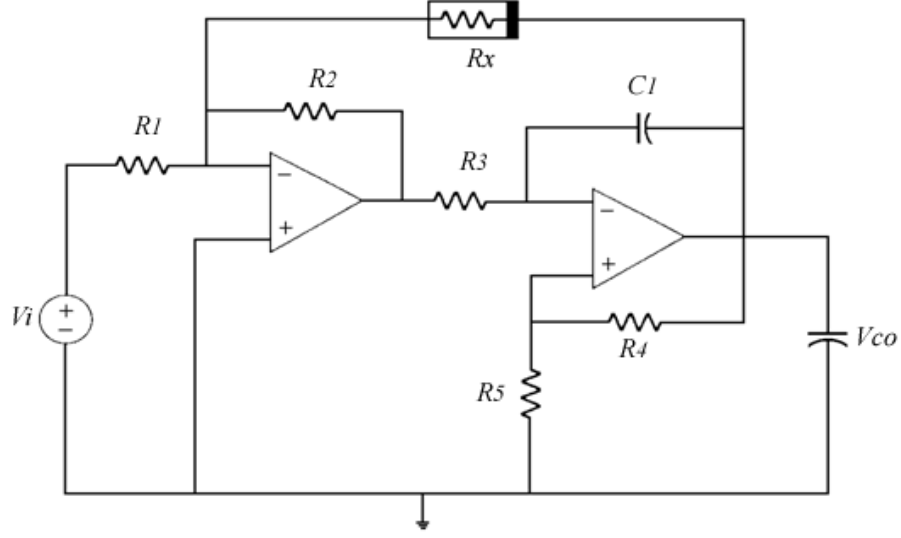
## 4. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE LİNEER OLMAYAN ELEKTRİK VE MEKANİK SİSTEMLERİN MODELLENMSİ

Bu bölümde hazırlanan tezin özelliklerini ortaya koymak için farklı beş adet çalışma yapılmıştır. Çalışmalardan üç adeti elektriksel sistemlerden iki adeti mekanik sistemden oluşmaktadır. Bu çalışmalarda yapay sinir ağı sistemin girişine uygulanan sinüzoidal giriş işaretinden elde edilen değerler ile eğitilmiş ve eğitim sonucunda elde edilen değerler nümerik ve grafik olarak karşılaştırılmıştır. Yapay sinir ağının iyi eğitilip eğitilmediğini, genelleme özelliğine sahip olup olmadığını test etmek için basamak işareti kullanılmış, test sonucunda elde edilen değerler nümerik ve grafik olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen nümerik değerler çok fazla olduğundan sadece yüz adedi tablo halinde çalışmaya yazılmıştır. Çalışma sonucunda yapay sinir ağlarının lineer olmayan elektrik ve mekanik sistemler için uygun bir modelleme yöntemi olduğu sonucuna varılmaya çalışılmıştır.

### 4.1. Elektrik Sistemlerin Modellenmesi

Elektrik sistemleri genellikle devre olarak adlandırılır. Bizde bu bölümde sistem kelimesi yerine genellikle devre kelimesini kullanacağız. Bu bölümde elektrik devreleri oluşturulurken lineer olmayan devre elemanları kullanılmıştır. Lineer olmayan devre elemanı kullanılan devrelerin matematiksel modelleri de lineer olmayan diferansiyel denklem şeklinde ifade edilir. Elde edilen diferansiyel denklemler nümerik yöntemler ile belli zaman aralıklarında çözümlenerek nümerik değerler elde edilmiş ve bu değerler yapay sinir ağının eğitiminde kullanılmıştır. Yapay sinir ağının genelleme özelliğini göstermek için ağ basamak işareti ile test edilmiştir. Bu devrelerde giriş için  $V_i$  çıkış için  $V_{co}$  kullanılmıştır. Yapay sinir ağı tasarlanırken ve programlar yazılırken giriş işareti için  $V$ , çıkış işareti için  $Y_m$  kullanılmıştır.

#### 4.1.1. Lineer Olmayan Dirençli Opamp Devresi



Şekil 4.1 Lineer Olmayan Dirençli Opamp Devresi

Şekil 4.1’de gösterilen lineer olmayan dirençli opamp devresinde  $R_x$  direnci  $\dot{I}_x = -2V_x^3$  şeklinde davranış gösteren lineer olmayan bir devre elemanıdır. Bu devreye Kirchhoff yasaları uygulanmış ve gerekli işlemler yapılarak

$$V_i(t) = -\frac{R_1 R_5}{R_2 (R_4 + R_5)} V_{co}(t) + 2V^3 co(t) + \frac{C_1 R_1 R_3 R_4}{R_2 (R_4 + R_5)} \frac{dV_{co}(t)}{dt} \quad (4.1)$$

diferansiyel denklemi elde edilmiştir.

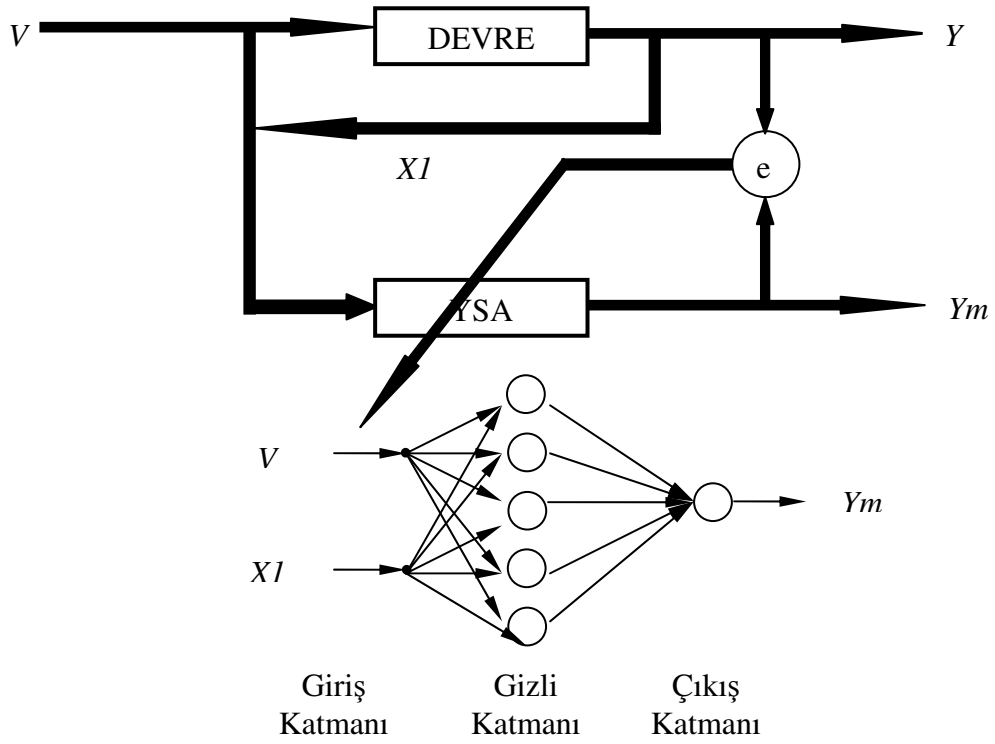
$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 2K\Omega \quad , \quad C_1 = C_2 = 2mF$$

Rezistans ve kapasitans değerleri yerine yazılarak

$$V_i(t) = -500V_{co}(t) + 2V^3 co(t) + 2 \frac{dV_{co}(t)}{dt} \quad (4.2)$$

diferansiyel denklemi elde edilmiştir.

Devreyi yapay sinir ağı ile modellemek için şekil 4.2’de gösterilen ileri beslemeli, eğiticili öğrenme yöntemini kullanan yapay sinir ağı yapısı tasarlanmıştır.



Şekil 4.2 Yapay Sinir Ağ Yapısı

Şekil 4.2’de gösterilen ağ yapısında  $V$  ile giriş işareti,  $Y$  ile çıkış işareti,  $XI$  ile çıkış işaretinin bir gecikmiş değeri ve  $Ym$  ile yapay sinir ağının çıkışı gösterilmiştir.

Girişe sinüzoidal işaret uygulanmış ve diferansiyel denklem  $[0, 0.1]$  zaman aralığında başlangıç koşulları sıfır kabul edilerek nümerik yöntemler ile çözülmüştür. Bu çözüm için şekil 4.3’deki Matlab programı yazılmıştır.

```

File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 clear all
2 close all
3 [t,y]=ode45('ornek1',[0 .1],0);
4
5 V=sin(2*pi*100*t);
6 by=size(y);
7
script Ln 6 Col 12 OVR

```

Şekil 4.3 Nümerik Çözüm İçin Yazılan Matlab Programı

Bu programda ode45 fonksiyonu ile şekil 4.4'te gösterilen ornek1 dosyasındaki diferansiyel denklem [0 0,1] zaman aralığında dört adımlı Runge-Kutta yöntemi ile çözümlenerek nümerik sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu nümerik sonuçlar tablo 4.1'de gösterilmiştir.

```

File Edit Text Desktop Window Help
1 function d=ornek1(t,y)
2 V=sin(2*pi*100*t);
3 d=(V-2*y^3+500*y)/2;

```

Şekil 4.4 Ornek1 Dosyası

ZAMAN (t)	GİRİŞ (V)	ÇIKIŞ (Y)
0	0	0
0,001066	0,62082	0,000197
0,002132	0,97338	0,000754
0,003198	0,90537	0,001572
0,004264	0,44615	0,002492
0,00533	-0,20584	0,003333
0,006396	-0,76889	0,004051
0,007462	-0,99971	0,004736
0,008528	-0,79858	0,005607
0,009856	-0,09019	0,007441
0,011185	0,67746	0,010592
0,012513	0,99997	0,015438
0,013841	0,66542	0,022234
0,015055	-0,03481	0,030367
0,01627	-0,71575	0,040861
0,017484	-0,99995	0,05472
0,018698	-0,72988	0,073484
0,019888	-0,07	0,098685
0,021079	0,62726	0,13306

ZAMAN (t)	GİRİŞ (V)	ÇIKIŞ (Y)
0,02227	0,98955	0,17973
0,02346	0,8234	0,24273
0,024635	0,22705	0,32603
0,025811	-0,48755	0,43713
0,026986	-0,94823	0,58565
0,028161	-0,91506	0,78462
0,029332	-0,40759	1,05
0,030503	0,3108	1,4046
0,031674	0,86835	1,8771
0,032845	0,97657	2,5023
0,034029	0,57283	3,3284
0,035213	-0,13356	4,4011
0,036397	-0,76939	5,7457
0,037581	-0,9987	7,342
0,038713	-0,7235	9,0345
0,039844	-0,09778	10,724
0,040976	0,57531	12,243
0,042107	0,96968	13,468
0,042481	0,99993	13,796
0,042856	0,97512	14,086
0,04323	0,89662	14,341
0,043604	0,76874	14,563
0,043979	0,59853	14,755
0,044353	0,39536	14,921
0,044727	0,17042	15,062
0,045102	-0,0639	15,183
0,045872	-0,52098	15,379
0,046643	-0,85835	15,517
0,047413	-0,9985	15,608
0,048183	-0,90923	15,669
0,048922	-0,62667	15,713
0,049661	-0,21148	15,744
0,0504	0,24845	15,764
0,051138	0,65581	15,778
0,05211	0,97016	15,792
0,053082	0,93387	15,801
0,054054	0,56005	15,804
0,055026	-0,01618	15,806

ZAMAN (t)	GİRİŞ (V)	ÇIKIŞ (Y)
0,056276	-0,71849	15,809
0,057526	-0,99987	15,811
0,058776	-0,69546	15,81
0,060026	0,016398	15,809
0,0617	0,87619	15,811
0,063373	0,85324	15,812
0,065047	-0,02933	15,812
0,06672	-0,88235	15,811
0,06922	-0,47059	15,815
0,07172	0,88235	15,816
0,07422	0,47059	15,81
0,07672	-0,88235	15,807
0,078289	-0,87955	15,811
0,079858	-0,08898	15,814
0,081427	0,78129	15,81
0,082996	0,9518	15,808
0,084565	0,26983	15,813
0,086134	-0,65381	15,814
0,087703	-0,99187	15,81
0,089272	-0,44155	15,808
0,09103	0,60317	15,812
0,092789	0,98358	15,815
0,094547	0,28072	15,811
0,096305	-0,73132	15,808
0,097229	-0,98555	15,809
0,098153	-0,91707	15,81
0,099076	-0,5483	15,81
0,1	4,66E-15	15,81

**Tablo 4.1** (4.2) Diferansiyel Denkleminin Çözümünden Elde Edilen Nümerik Değerler

Ornek1 dosyasında yazılan (4.2) diferansiyel denkleminin çözülmesi sonucunda elde edilen nümerik değerler kullanılarak şekil 4.2’de gösterilen, iki adet giriş hücresi, beş adet saklı katman hücresi, bir adet çıkış hücresi, saklı katman aktivasyon fonksiyonu sigmoid, çıkış katman aktivasyon fonksiyonu doğrusal olan, levenberg marquard yöntemine göre eğitilen yapay sinir ağ programı yazılmıştır. Bu program yazılırken Matlab programlama dili kullanılmıştır.

```

File Edit Text Desktop Window Help
1
2 V=sin(2*pi*100*t);
3 by=size(y);
4
5 x1=[0 y(2:by)'];
6
7 x=[x1;V'];
8
9 net = newff(minmax(x),[5 1],{'tansig' 'purelin'},'trainlm');
10 net.inputs{1}.size=2;
11 net.trainParam.show=50;
12 net.trainParam.lr = 0.005;
13 net.trainParam.epochs = 150;
14 net.trainParam.goal = 1e-4;
15 net.trainParam.perform='mse';
16 net = train(net,x,y');
17 ym=sim(net,x);
18
19 figure
20 plot(t,y,'r',t,ym,'b');
21
22
script Ln 23 Col 1 OVR

```

**Şekil 4.5** Şekil 4.2’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağı İçin Yazılmış Program

Eğitim sonucunda elde edilen ağ çıkışı ile sistemin çıkışı tablo 4.2’de nümerik şekil 4.6’da grafik olarak karşılaştırılmıştır.

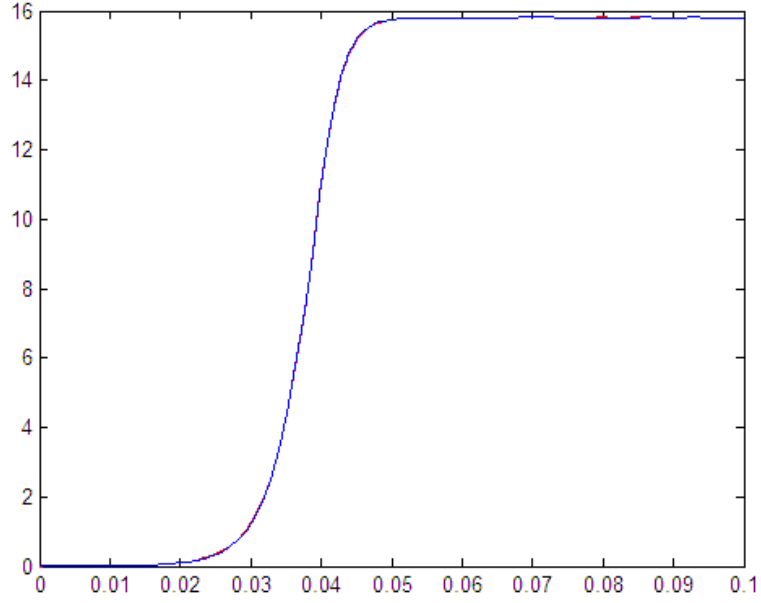
ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0	0	0,005968	0,005968
0,001066	0,000197	0,005308	0,00511
0,002132	0,000754	0,005352	0,004598
0,003198	0,001572	0,006202	0,00463
0,004264	0,002492	0,007673	0,005182
0,00533	0,003333	0,009344	0,006011
0,006396	0,004051	0,010787	0,006737
0,007462	0,004736	0,011744	0,007008
0,008528	0,005607	0,012274	0,006667
0,009856	0,007441	0,013	0,005559
0,011185	0,010592	0,014884	0,004292
0,012513	0,015438	0,018955	0,003517
0,013841	0,022234	0,02572	0,003486
0,015055	0,030367	0,034237	0,00387
0,01627	0,040861	0,044945	0,004084



ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,017484	0,05472	0,058255	0,003535
0,018698	0,073484	0,075383	0,001899
0,019888	0,098685	0,098018	0,000667
0,021079	0,13306	0,12925	0,00381
0,02227	0,17973	0,17261	0,00712
0,02346	0,24273	0,23224	0,01049
0,024635	0,32603	0,31201	0,01402
0,025811	0,43713	0,419	0,01813
0,026986	0,58565	0,56254	0,02311
0,028161	0,78462	0,75587	0,02875
0,029332	1,05	1,0162	0,0338
0,030503	1,4046	1,3689	0,0357
0,031674	1,8771	1,846	0,0311
0,032845	2,5023	2,4858	0,0165
0,034029	3,3284	3,3356	0,0072
0,035213	4,4011	4,4315	0,0304
0,036397	5,7457	5,7813	0,0356
0,037581	7,342	7,3494	0,0074
0,038713	9,0345	9,0054	0,0291
0,039844	10,724	10,692	0,032
0,040976	12,243	12,241	0,002
0,042107	13,468	13,494	0,026
0,042481	13,796	13,826	0,03
0,042856	14,086	14,119	0,033
0,04323	14,341	14,375	0,034
0,043604	14,563	14,597	0,034
0,043979	14,755	14,788	0,033
0,044353	14,921	14,951	0,03
0,044727	15,062	15,089	0,027
0,045102	15,183	15,207	0,024
0,045872	15,379	15,397	0,018
0,046643	15,517	15,53	0,013
0,047413	15,608	15,617	0,009
0,048183	15,669	15,676	0,007
0,048922	15,713	15,717	0,004
0,049661	15,744	15,746	0,002
0,0504	15,764	15,766	0,002
0,051138	15,778	15,779	0,001

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,05211	15,792	15,792	0
0,053082	15,801	15,8	0,001
0,054054	15,804	15,804	0
0,055026	15,806	15,805	0,001
0,056276	15,809	15,808	0,001
0,057526	15,811	15,81	0,001
0,058776	15,81	15,809	0,001
0,060026	15,809	15,808	0,001
0,0617	15,811	15,81	0,001
0,063373	15,812	15,811	0,001
0,065047	15,812	15,81	0,002
0,06672	15,811	15,809	0,002
0,06922	15,815	15,813	0,002
0,07172	15,816	15,814	0,002
0,07422	15,81	15,809	0,001
0,07672	15,807	15,806	0,001
0,078289	15,811	15,81	0,001
0,079858	15,814	15,812	0,002
0,081427	15,81	15,809	0,001
0,082996	15,808	15,807	0,001
0,084565	15,813	15,812	0,001
0,086134	15,814	15,813	0,001
0,087703	15,81	15,809	0,001
0,089272	15,808	15,807	0,001
0,09103	15,812	15,811	0,001
0,092789	15,815	15,813	0,002
0,094547	15,811	15,81	0,001
0,096305	15,808	15,807	0,001
0,097229	15,809	15,808	0,001
0,098153	15,81	15,809	0,001
0,099076	15,81	15,809	0,001
0,1	15,81	15,809	0,001

**Tablo 4.2** Şekil 4.2’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağının Eğitimi Sonucunda Elde Edilen Nümerik Değerler



**Şekil 4.6** 4.1.1 Devresinin Sinüzoidal Giriş İşaretine Karşılık Cevabı \_\_\_ ve Model Ağ Cevabı\_\_\_

Ağın genellenme özelliğini göstermek için basamak işareti ile ağ test edilmiştir. Bu test için ornek1\_t dosyası yazılmış ve yapay sinir ağının girişine uygulanmıştır. Yapay sinir ağının testi başarı ile geçtiği görülmüştür. Sonuçlar tablo 4.3'te nümerik, şekil 4.9'da grafik olarak karşılaştırılmıştır.

```

File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 function d=ornek1_t(t,y)
2 V=1;
3 d=(V-2*y^3+500*y)/2;
Ln 1 Col 1 OVR

```

**Şekil 4.7** Ornek1\_t Dosyası

```

File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 [t,y]=ode45('orneki_t',[0 .1],0);
2 by=size(y);
3 V=1*ones(1,by);
4 x1=[0 y(2:by)'];
5 x=[x1;V];
6 ym=sim(net,x);
7
8 figure
9 plot(t,y,'r',t,ym,'b');
10

```

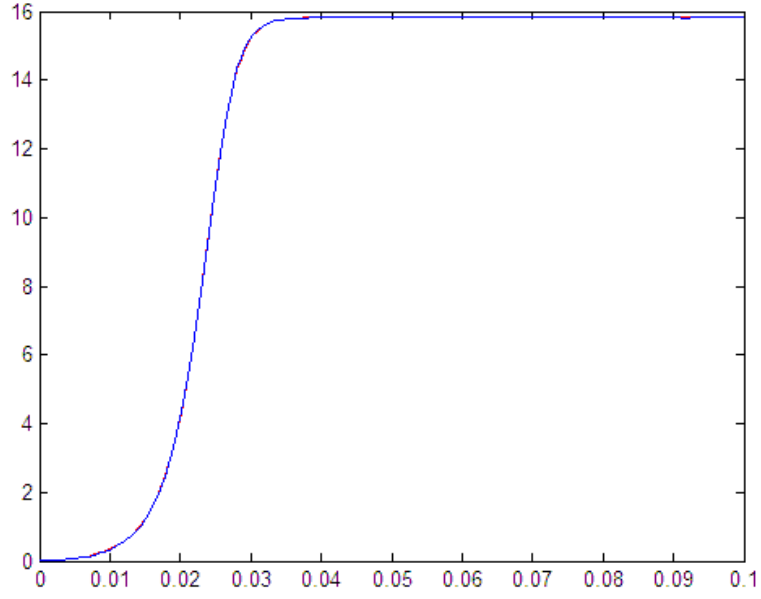
Şekil 4.8 Yapay Sinir Ağının Testi İçin Yazılmış Program

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0	0	0,0046165	0,0046165
0,0001005	5,09E-05	0,0046637	0,00461283
0,000201	0,00010304	0,0047121	0,00460906
0,0003014	0,00015654	0,0047618	0,00460526
0,0004019	0,00021139	0,0048127	0,00460131
0,0009043	0,00050734	0,0050874	0,00458006
0,0014067	0,00084288	0,0053989	0,00455602
0,001909	0,0012233	0,005752	0,0045287
0,0024114	0,0016547	0,0061524	0,0044977
0,0032328	0,002488	0,0069261	0,0044381
0,0040543	0,0035111	0,0078758	0,0043647
0,0048757	0,0047672	0,0090421	0,0042749
0,0056972	0,0063099	0,010475	0,0041651
0,0066958	0,008668	0,012665	0,003997
0,0076945	0,011692	0,015474	0,003782
0,0086932	0,015574	0,019081	0,003507
0,0096919	0,020559	0,023715	0,003156
0,010783	0,027636	0,030296	0,00266
0,011873	0,036921	0,038935	0,002014
0,012964	0,049115	0,050292	0,001177
0,014055	0,065143	0,065235	0,00009
0,015189	0,087179	0,085809	0,00137
0,016324	0,1164	0,11315	0,00325
0,017458	0,15521	0,14954	0,00567
0,018593	0,20678	0,19807	0,00871

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,019747	0,27664	0,26409	0,01255
0,020901	0,36972	0,35256	0,01716
0,022055	0,49388	0,47141	0,02247
0,023209	0,65955	0,63143	0,02812
0,024372	0,88227	0,84893	0,03334
0,025535	1,1792	1,1427	0,0365
0,026699	1,5745	1,5391	0,0354
0,027862	2,0985	2,0718	0,0267
0,029039	2,795	2,787	0,008
0,030215	3,7082	3,7281	0,0199
0,031392	4,875	4,9184	0,0434
0,032569	6,3063	6,3387	0,0324
0,033744	7,9801	7,9711	0,009
0,03492	9,756	9,7197	0,0363
0,036096	11,452	11,432	0,02
0,037271	12,9	12,913	0,013
0,037911	13,535	13,561	0,026
0,038551	14,06	14,094	0,034
0,039192	14,482	14,516	0,034
0,039832	14,812	14,844	0,032
0,040472	15,068	15,095	0,027
0,041112	15,263	15,285	0,022
0,041752	15,408	15,425	0,017
0,042392	15,515	15,527	0,012
0,04312	15,605	15,614	0,009
0,043848	15,669	15,675	0,006
0,044577	15,712	15,715	0,003
0,045305	15,741	15,743	0,002
0,046152	15,766	15,768	0,002
0,046998	15,783	15,783	0
0,047845	15,793	15,792	0,001
0,048692	15,798	15,798	0
0,049782	15,805	15,804	0,001
0,050872	15,809	15,808	0,001
0,051962	15,81	15,808	0,002
0,053051	15,81	15,809	0,001
0,054513	15,812	15,811	0,001
0,055975	15,813	15,812	0,001

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,057436	15,812	15,811	0,001
0,058898	15,811	15,81	0,001
0,060879	15,815	15,813	0,002
0,062859	15,816	15,815	0,001
0,06484	15,811	15,81	0,001
0,066821	15,809	15,807	0,002
0,068495	15,814	15,813	0,001
0,070168	15,816	15,815	0,001
0,071842	15,811	15,81	0,001
0,073516	15,808	15,807	0,001
0,07519	15,814	15,813	0,001
0,076863	15,817	15,815	0,002
0,078537	15,811	15,81	0,001
0,080211	15,808	15,807	0,001
0,081945	15,816	15,814	0,002
0,08368	15,818	15,817	0,001
0,085414	15,811	15,809	0,002
0,087149	15,806	15,805	0,001
0,088836	15,816	15,814	0,002
0,090524	15,819	15,818	0,001
0,092212	15,811	15,809	0,002
0,093899	15,805	15,804	0,001
0,095425	15,813	15,811	0,002
0,09695	15,816	15,814	0,002
0,098475	15,811	15,81	0,001
0,1	15,808	15,806	0,002

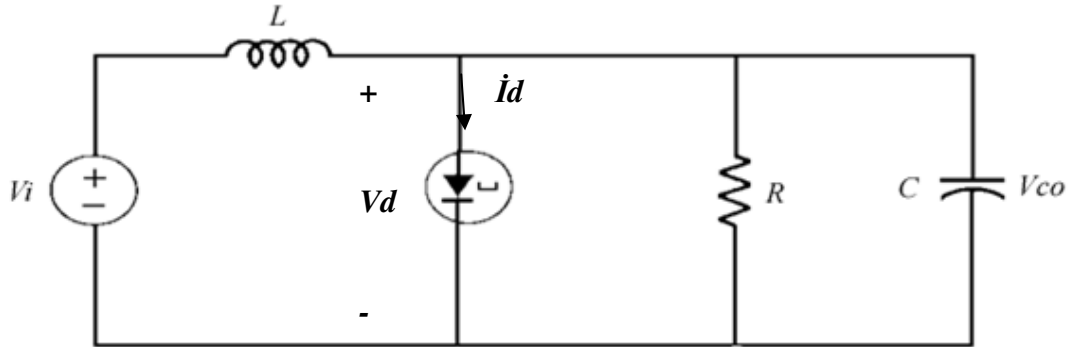
**Tablo 4.3** Şekil 4.2’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağının Testi Sonucunda Elde Edilen Nümerik Değerler



**Şekil 4.9** 4.1.1 Devresinin Basamak Giriş İşaretine Karşılık Cevabı \_\_\_ ve Model Ağ Cevabı \_\_\_

Bu çalışmada yapay sinir ağının eğitiminden sonra hatanın yaklaşık olarak 0,0095 başarı yüzdesinin % 99,97, testinden sonra hatanın yaklaşık olarak 0,0085 başarı yüzdesinin %99,96 olduğu görülmüştür.

#### 4.1.2. Tünel Diyot Devresi



**Şekil 4.10** Tünel Diyot Devresi

Şekil 4.10'da gösterilen tünel diyot devresinde tünel diyot  $I_d = 10,1V_d - 26,5V_d^2 + 17,4V_d^3$  şeklinde davranış göstermektedir. Bu devreye Kirchhoff yasaları uygulanmış ve gerekli işlemler yapılarak

$$V_i(t) = V_{co}(t) + \left( \frac{L}{R} + 10,1L - 53LV_{co}(t) + 52,2LV^2_{co}(t) \right) \frac{dV_{co}(t)}{dt} + LC \frac{d^2V_{co}(t)}{dt^2} \quad (4.3)$$

diferansiyel denklemi elde edilmiştir.

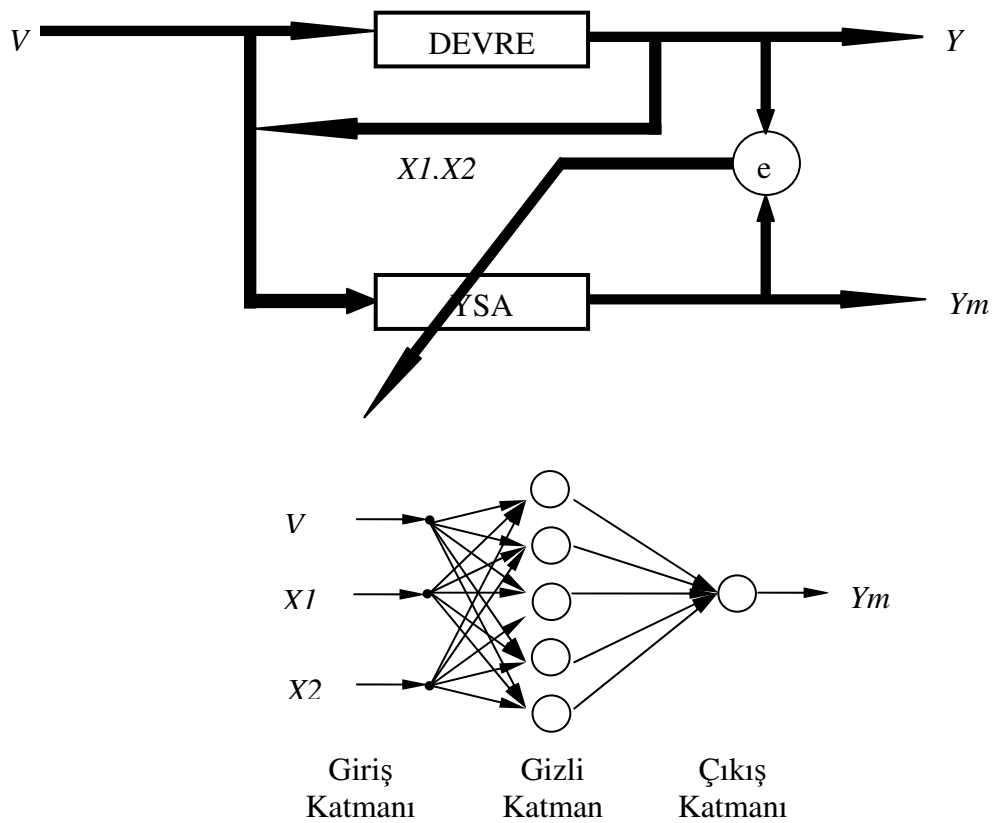
$$L = 5H, C = 3F, R = 10\Omega$$

Rezistans, kapasitans ve indüktans değerleri yerine yazılarak

$$V_i(t) = V_{co}(t) + (51 - 265V_{co}(t) + 261V^2_{co}(t)) \frac{dV_{co}(t)}{dt} + 15 \frac{d^2V_{co}(t)}{dt^2} \quad (4.4)$$

diferansiyel denklemi elde edilmiştir.

Devreyi yapay sinir ağı ile modellemek için şekil 4.11'de gösterilen ileri beslemeli, eğitici öğrenme yöntemini kullanan yapay sinir ağı yapısı tasarlanmıştır.

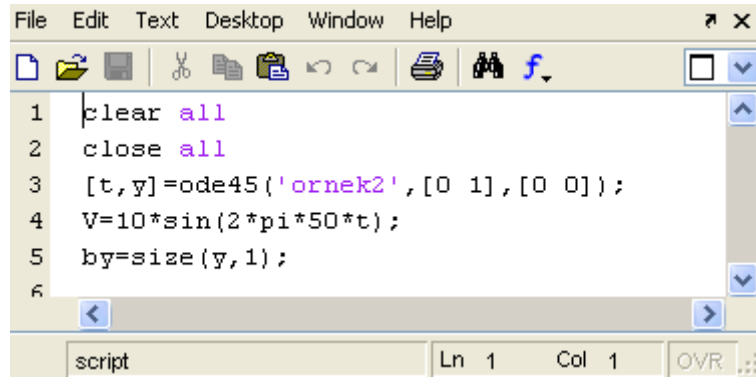


Şekil 4.11 Yapay Sinir Ağ Yapısı



Şekil 4.11’de gösterilen ağ yapısında  $V$  ile giriş işareti,  $Y$  ile çıkış işareti,  $X1$  ile çıkış işaretinin bir gecikmiş değeri,  $X2$  ile çıkış işaretinin iki gecikmiş değeri ve  $Ym$  ile yapay sinir ağının çıkışı gösterilmiştir.

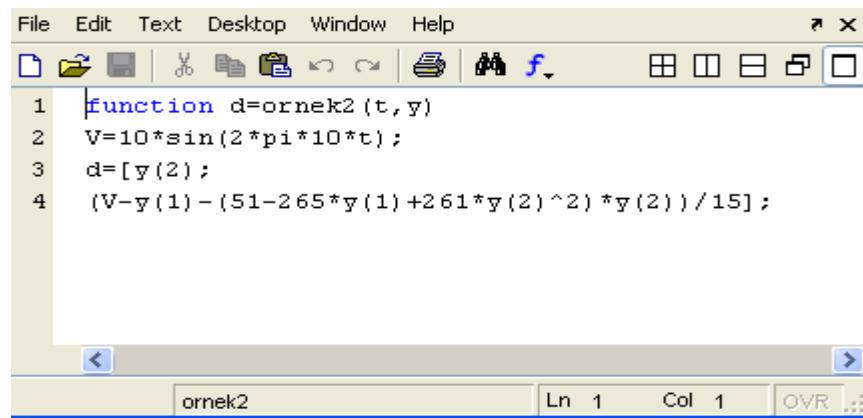
Girişe sinüzoidal işaret uygulanmış ve diferansiyel denklem  $[0\ 1]$  zaman aralığında başlangıç koşulları sıfır kabul edilerek nümerik yöntemler ile çözülmüştür. Bu çözüm için şekil 4.12’deki Matlab programı yazılmıştır.



```
File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 clear all
2 close all
3 [t,y]=ode45('ornek2',[0 1],[0 0]);
4 V=10*sin(2*pi*50*t);
5 by=size(y,1);
6
script Ln 1 Col 1 OVR
```

Şekil 4.12 Nümerik Çözüm İçin Yazılan Matlab Programı

Bu programda ode45 fonksiyonu ile şekil 4.13’te gösterilen ornek2 dosyasındaki diferansiyel denklem  $[0\ 1]$  zaman aralığında dört adımlı Runge-Kutta yöntemi ile çözümlenerek nümerik değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu nümerik değerler tablo 4.4’te gösterilmiştir.



```
File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 function d=ornek2(t,y)
2 V=10*sin(2*pi*10*t);
3 d=[y(2);
4 (V-y(1)-(51-265*y(1)+261*y(2)^2)*y(2))/15];
ornek2 Ln 1 Col 1 OVR
```

Şekil 4.13 Ornek2 Dosyası

ZAMAN (t)	GİRİŞ (Y)	ÇIKIŞ (Y)
0	0	0
0,0079096	4,7677	0,0012912
0,015819	8,3818	0,0047357
0,023729	9,9681	0,0094644
0,031638	9,1427	0,014308
0,039548	6,1053	0,017982
0,047457	1,5908	0,019542
0,055367	-3,3086	0,018559
0,063276	-7,4075	0,015214
0,070418	-9,5885	0,010767
0,07756	-9,8709	0,0058657
0,084702	-8,1989	0,0014185
0,091843	-4,9035	-0,0017586
0,10024	0,14859	-0,0030326
0,10863	5,1603	-0,0014585
0,11702	8,7699	0,0025014
0,12542	9,9966	0,007752
0,13285	8,807	0,012259
0,14029	5,7285	0,015568
0,14773	1,4214	0,01695
0,15517	-3,1906	0,016087
0,16297	-7,277	0,0129
0,17077	-9,6493	0,0081468
0,17857	-9,7488	0,0028758
0,18638	-7,5522	-0,0017482
0,19519	-2,9784	-0,004814
0,204	2,4849	-0,0048238
0,21281	7,2061	-0,0018121
0,22162	9,7749	0,0033041
0,22954	9,5959	0,0083909
0,23746	7,0875	0,012592
0,24539	2,8587	0,014884
0,25331	-2,0641	0,014707
0,26183	-6,7686	0,011715
0,27036	-9,5775	0,0067175
0,27888	-9,7041	0,0010275
0,28741	-7,1131	-0,0038552
0,2961	-2,4234	-0,0065273
0,3048	2,9724	-0,0061837
0,3135	7,5021	-0,0029444

ZAMAN (t)	GİRİŞ (Y)	ÇIKIŞ (Y)
0,3222	9,8458	0,0022451
0,33058	9,3921	0,0076276
0,33895	6,3964	0,011844
0,34733	1,6695	0,013762
0,35571	-3,5093	0,012864
0,36412	-7,7537	0,0092761
0,37254	-9,8805	0,0040479
0,38095	-9,3089	-0,0014665
0,38937	-6,195	-0,0058411
0,3977	-1,4431	-0,0078074
0,40602	3,6951	-0,0069673
0,41435	7,8443	-0,0035516
0,42268	9,894	0,0015337
0,43136	9,2113	0,0071037
0,44005	5,8546	0,011283
0,44873	0,79815	0,012876
0,45741	-4,49	0,011428
0,46573	-8,3502	0,0074831
0,47404	-9,982	0,0021717
0,48236	-8,9497	-0,003153
0,49068	-5,5288	-0,0071397
0,49874	-0,79221	-0,0086493
0,5068	4,1434	-0,0075168
0,51486	8,0385	-0,0040253
0,52292	9,9149	0,00096142
0,53181	9,0988	0,0066579
0,5407	5,519	0,010818
0,54958	0,26279	0,012201
0,55847	-5,0732	0,010403
0,5667	-8,6694	0,0062812
0,57492	-9,9999	0,00096686
0,58315	-8,7168	-0,0042083
0,59138	-5,1555	-0,0079534
0,59926	-0,46708	-0,0092218
0,60713	4,3335	-0,0079645
0,61501	8,094	-0,0044782
0,62289	9,912	0,00041572
0,6319	9,0743	0,0062068
0,64092	5,4025	0,010399
0,64993	0,043252	0,011713

ZAMAN (t)	GİRİŞ (Y)	ÇIKIŞ (Y)
0,65895	-5,3295	0,0097581
0,6671	-8,7922	0,0055906
0,67525	-9,9988	0,00031182
0,6834	-8,6396	-0,0047756
0,69155	-5,0634	-0,0084222
0,69931	-0,43068	-0,009627
0,70708	4,3025	-0,0083759
0,71484	8,0319	-0,0049539
0,72261	9,8872	-0,00014311
0,73169	9,1288	0,0057224
0,74078	5,4756	0,010002
0,74986	0,086155	0,011373
0,75895	-5,3306	0,0094258
0,76704	-8,7739	0,005306
0,77512	-9,9997	8,08E-05
0,78321	-8,6981	-0,004977
0,7913	-5,1981	-0,0086412
0,79901	-0,61972	-0,0099169
0,80673	4,1014	-0,0087675
0,81444	7,878	-0,0054501
0,82215	9,8403	-0,00071185
0,83127	9,2347	0,0052107
0,84038	5,682	0,009615
0,8495	0,31593	0,011136
0,85861	-5,1509	0,0093162
0,86665	-8,6553	0,0053064
0,87469	-9,9981	0,00014572
0,88273	-8,8439	-0,0049219
0,89077	-5,481	-0,0086804
0,89848	-0,95644	-0,010115
0,90618	3,7882	-0,0091294
0,91389	7,6615	-0,0059413
0,9216	9,7726	-0,0012677
0,93072	9,3612	0,0046948
0,93984	5,9589	0,0092405
0,94896	0,65283	0,010961
0,95808	-4,8618	0,0093398
0,96608	-8,4708	0,0054763
0,97408	-9,9834	0,00038871
0,98209	-9,0253	-0,0047067

ZAMAN (t)	GİRİŞ (Y)	ÇIKIŞ (Y)
0,99009	-5,8336	-0,0085966
0,99257	-4,5034	-0,009378
0,99504	-3,0642	-0,0099247
0,99752	-1,5509	-0,010223
1	-2,45E-14	-0,010267

**Tablo 4.4** (4.4) Diferansiyel Denkleminin Çözümünden Elde Edilen Nümerik Değerler

Ornek2 dosyasında yazılan (4.4) diferansiyel denkleminin çözülmesi sonucu elde edilen nümerik değerler kullanılarak şekil 4.11’de gösterilen üç adet giriş hücresi, beş adet saklı katman hücresi, bir adet çıkış hücresi, saklı katman aktivasyon fonksiyonu sigmoid, çıkış katman aktivasyon fonksiyonu doğrusal olan, levenberg marquard yöntemine göre eğitilen yapay sinir ağı programı yazılmıştır. Bu program yazılırken Matlab programlama dili kullanılmıştır.

```

File Edit Text Desktop Window Help
1
2 V=10*sin(2*pi*50*t);
3 by=size(y,1);
4
5 x1=[0 y(2:by,2)']; x2=[0 0 y(3:by,2)']; x=[x1;x2;V'];
6
7 net = newff(minmax(x),[5 1],{'tansig' 'purelin'},'trainlm');
8 net.inputs{1}.size=3;
9 net.trainParam.show=150;
10 net.trainParam.lr = 0.004;
11 net.trainParam.epochs =500;
12 net.trainParam.goal = 1e-4;
13 net.trainParam.perform='mse';
14 net = train(net,x,y(:,2)');
15 ym=sim(net,x);
16
17 figure
18 plot(t,y(:,2),'r',t,ym(1,:),'b');
19
20
script Ln 21 Col 1 OVR

```

**Şekil 4.14** Şekil 4.11’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağı İçin Yazılmış Program

Eğitim sonucunda elde edilen ağı çıkışı ile sistemin çıkışı tablo 4.5’te nümerik şekil 4.15’te grafik olarak karşılaştırılmıştır.

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0	0	-7,50E-05	0,000075003
0,0079096	0,0012912	0,0012218	6,94E-05
0,015819	0,0047357	0,0046653	0,0000704
0,023729	0,0094644	0,009397	6,74E-05
0,031638	0,014308	0,014243	6,5E-05
0,039548	0,017982	0,017919	6,3E-05
0,047457	0,019542	0,019479	6,3E-05
0,055367	0,018559	0,018495	6,4E-05
0,063276	0,015214	0,015147	6,7E-05
0,070418	0,010767	0,010697	7E-05
0,07756	0,0058657	0,0057926	7,31E-05
0,084702	0,0014185	0,0013429	7,56E-05
0,091843	-0,0017586	-0,0018353	7,67E-05
0,10024	-0,0030326	-0,0031088	7,62E-05
0,10863	-0,0014585	-0,0015326	7,41E-05
0,11702	0,0025014	0,0024302	0,0000712
0,12542	0,007752	0,0076837	6,83E-05
0,13285	0,012259	0,012193	6,6E-05
0,14029	0,015568	0,015503	6,5E-05
0,14773	0,01695	0,016885	6,5E-05
0,15517	0,016087	0,016022	6,5E-05
0,16297	0,0129	0,012832	6,8E-05
0,17077	0,0081468	0,0080751	7,17E-05
0,17857	0,0028758	0,0028009	7,49E-05
0,18638	-0,0017482	-0,0018253	7,71E-05
0,19519	-0,004814	-0,0048916	7,76E-05
0,204	-0,0048238	-0,0048999	0,0000761
0,21281	-0,0018121	-0,0018856	0,0000735
0,22162	0,0033041	0,0032336	7,05E-05
0,22954	0,0083909	0,0083228	6,81E-05
0,23746	0,012592	0,012525	6,7E-05
0,24539	0,014884	0,014818	6,6E-05
0,25331	0,014707	0,01464	6,7E-05
0,26183	0,011715	0,011646	6,9E-05
0,27036	0,0067175	0,0066449	7,26E-05
0,27888	0,0010275	0,00095156	0,00007594
0,28741	-0,0038552	-0,0039331	7,79E-05
0,2961	-0,0065273	-0,0066054	7,81E-05
0,3048	-0,0061837	-0,0062601	7,64E-05
0,3135	-0,0029444	-0,0030182	7,38E-05

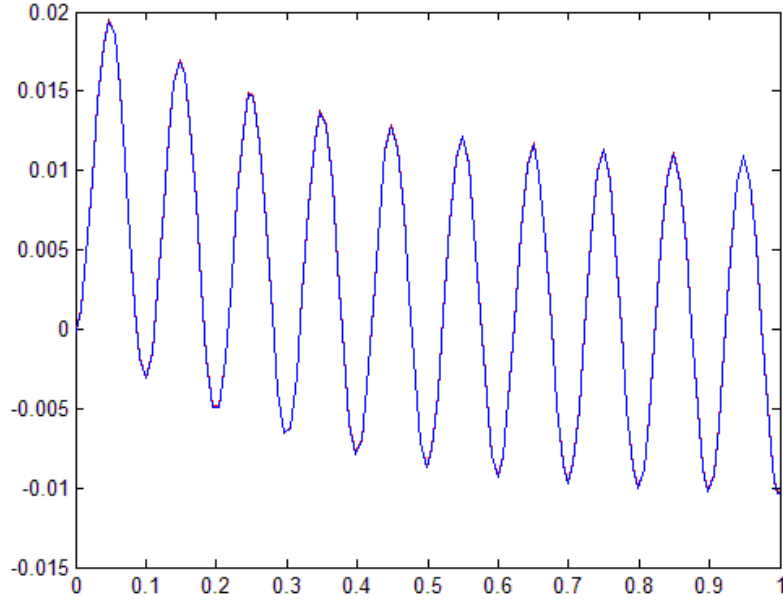
ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,3222	0,0022451	0,0021742	0,0000709
0,33058	0,0076276	0,0075591	0,0000685
0,33895	0,011844	0,011777	6,7E-05
0,34733	0,013762	0,013695	6,7E-05
0,35571	0,012864	0,012796	6,8E-05
0,36412	0,0092761	0,0092053	7,08E-05
0,37254	0,0040479	0,0039736	7,43E-05
0,38095	-0,0014665	-0,0015436	7,71E-05
0,38937	-0,0058411	-0,0059197	7,86E-05
0,3977	-0,0078074	-0,0078856	7,82E-05
0,40602	-0,0069673	-0,0070436	7,63E-05
0,41435	-0,0035516	-0,0036254	7,38E-05
0,42268	0,0015337	0,0014625	0,0000712
0,43136	0,0071037	0,0070348	6,89E-05
0,44005	0,011283	0,011215	6,8E-05
0,44873	0,012876	0,012808	6,8E-05
0,45741	0,011428	0,011359	6,9E-05
0,46573	0,0074831	0,007411	7,21E-05
0,47404	0,0021717	0,0020964	7,53E-05
0,48236	-0,003153	-0,0032309	7,79E-05
0,49068	-0,0071397	-0,0072187	7,9E-05
0,49874	-0,0086493	-0,0087275	7,82E-05
0,5068	-0,0075168	-0,0075931	7,63E-05
0,51486	-0,0040253	-0,0040992	0,0000739
0,52292	0,00096142	0,00089002	0,0000714
0,53181	0,0066579	0,0065887	6,92E-05
0,5407	0,010818	0,01075	6,8E-05
0,54958	0,012201	0,012133	6,8E-05
0,55847	0,010403	0,010333	7E-05
0,5667	0,0062812	0,0062084	7,28E-05
0,57492	0,00096686	0,00089088	0,00007598
0,58315	-0,0042083	-0,0042866	7,83E-05
0,59138	-0,0079534	-0,0080325	7,91E-05
0,59926	-0,0092218	-0,0093001	7,83E-05
0,60713	-0,0079645	-0,0080409	7,64E-05
0,61501	-0,0044782	-0,0045522	7,4E-05
0,62289	0,00041572	0,00034411	0,00007161
0,6319	0,0062068	0,0061374	6,94E-05
0,64092	0,010399	0,010331	6,8E-05
0,64993	0,011713	0,011645	6,8E-05

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,65895	0,0097581	0,0096876	7,05E-05
0,6671	0,0055906	0,0055173	7,33E-05
0,67525	0,00031182	0,0002355	0,00007632
0,6834	-0,0047756	-0,0048541	7,85E-05
0,69155	-0,0084222	-0,0085014	7,92E-05
0,69931	-0,009627	-0,0097053	7,83E-05
0,70708	-0,0083759	-0,0084524	7,65E-05
0,71484	-0,0049539	-0,0050281	0,0000742
0,72261	-0,00014311	-0,00021494	0,00007183
0,73169	0,0057224	0,0056528	6,96E-05
0,74078	0,010002	0,0099331	6,89E-05
0,74986	0,011373	0,011305	6,8E-05
0,75895	0,0094258	0,0093552	7,06E-05
0,76704	0,005306	0,0052326	7,34E-05
0,77512	8,08E-05	4,41E-06	7,64366E-05
0,78321	-0,004977	-0,0050556	7,86E-05
0,7913	-0,0086412	-0,0087206	7,94E-05
0,79901	-0,0099169	-0,0099954	7,85E-05
0,80673	-0,0087675	-0,0088441	7,66E-05
0,81444	-0,0054501	-0,0055244	7,43E-05
0,82215	-0,00071185	-0,0007839	0,00007205
0,83127	0,0052107	0,0051408	6,99E-05
0,84038	0,009615	0,0095464	6,86E-05
0,8495	0,011136	0,011067	6,9E-05
0,85861	0,0093162	0,0092455	7,07E-05
0,86665	0,0053064	0,0052329	7,35E-05
0,87469	0,00014572	6,93E-05	0,000076408
0,88273	-0,0049219	-0,0050005	7,86E-05
0,89077	-0,0086804	-0,0087598	7,94E-05
0,89848	-0,010115	-0,010194	7,9E-05
0,90618	-0,0091294	-0,0092062	7,68E-05
0,91389	-0,0059413	-0,0060158	7,45E-05
0,9216	-0,0012677	-0,0013399	7,22E-05
0,93072	0,0046948	0,0046248	7E-05
0,93984	0,0092405	0,0091718	6,87E-05
0,94896	0,010961	0,010893	6,8E-05
0,95808	0,0093398	0,0092691	7,07E-05
0,96608	0,0054763	0,005403	7,33E-05
0,97408	0,00038871	0,00031244	0,00007627
0,98209	-0,0047067	-0,0047853	7,86E-05



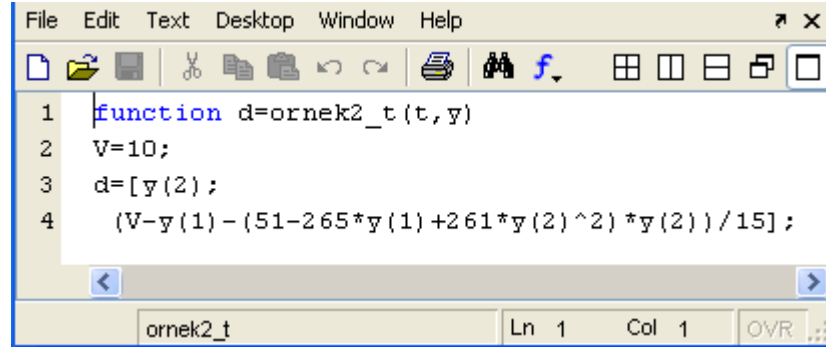
ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,99009	-0,0085966	-0,008676	7,94E-05
0,99257	-0,009378	-0,0094574	7,94E-05
0,99504	-0,0099247	-0,010004	7,93E-05
0,99752	-0,010223	-0,010302	7,9E-05
1	-0,010267	-0,010345	7,8E-05

**Tablo 4.2** Şekil 4.11’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağının Eğitimi Sonucunda Elde Edilen Nümerik Değerler



**Şekil 4.15** 4.1.2 Devresinin Sinüzoidal Giriş İşaretine Karşılık Cevabı \_\_\_ ve Model Ağ Cevabı \_\_\_

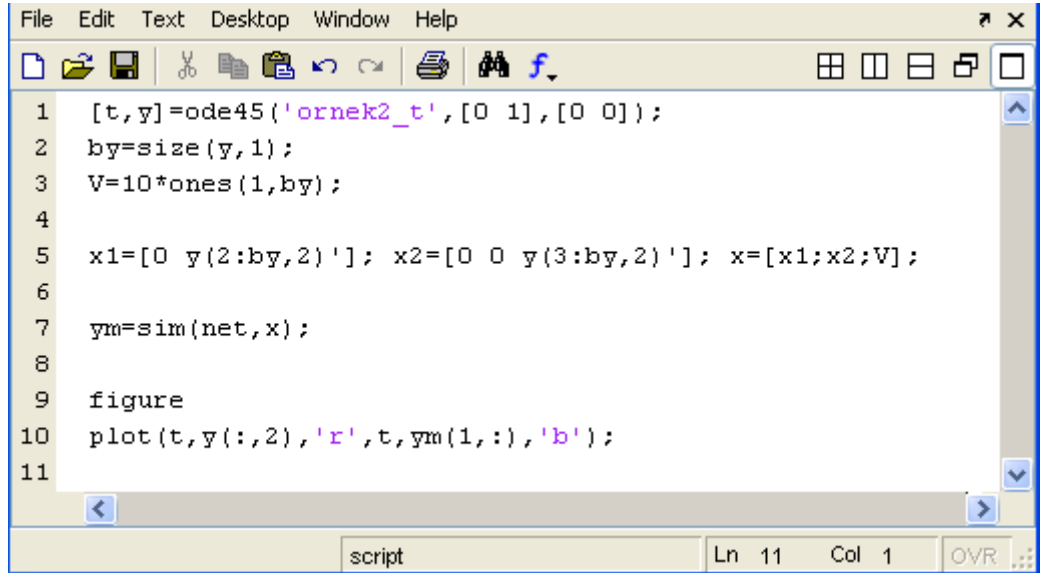
Ağın genellenme özelliğini göstermek için basamak işareti ile ağ test edilmiştir. Bu test için ornek2\_t dosyası yazılmış ve yapay sinir ağının girişine uygulanmıştır. Yapay sinir ağının testi başarı ile geçtiği görülmüştür. Sonuçlar tablo 4.6’da nümerik, şekil 4.18’de grafik olarak karşılaştırılmıştır.



```
File Edit Text Desktop Window Help
function d=ornek2_t(t,y)
V=10;
d=[y(2);
(V-y(1)-(51-265*y(1)+261*y(2)^2)*y(2))/15];
```

ornek2\_t Ln 1 Col 1 OVR

Şekil 4.16 Ornek2\_t Dosyası



```
File Edit Text Desktop Window Help
[t,y]=ode45('ornek2_t',[0 1],[0 0]);
by=size(y,1);
V=10*ones(1,by);
x1=[0 y(2:by,2)']; x2=[0 0 y(3:by,2)']; x=[x1;x2;V];
ym=sim(net,x);
figure
plot(t,y(:,2),'r',t,ym(1,:),'b');
```

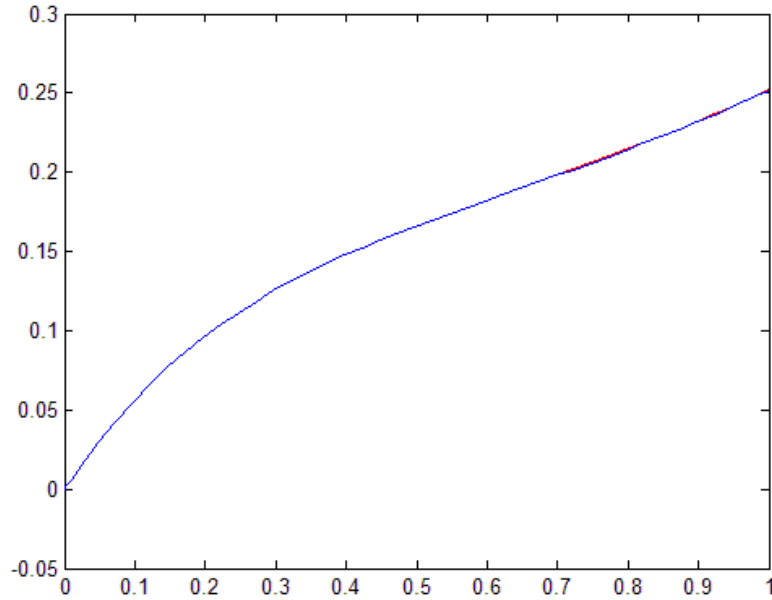
script Ln 11 Col 1 OVR

Şekil 4.17 Yapay Sinir Ağının Testi İçin Yazılmış Program

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0	0	-7,17E-05	0,000071727
7,54E-05	5,02E-05	-2,13E-05	0,000071563
0,00015071	0,00010045	2,88E-05	0,00007169
0,00022607	0,00015066	7,90E-05	0,000071676
0,00030143	0,00020085	0,0001292	0,00007165
0,00067821	0,00045162	0,00038006	0,00007156
0,001055	0,00070207	0,00063061	0,00007146
0,0014318	0,0009522	0,00088083	7,137E-05
0,0018086	0,001202	0,0011307	7,13E-05
0,0036925	0,0024463	0,0023755	7,08E-05
0,0055764	0,0036826	0,0036123	7,03E-05
0,0074603	0,004911	0,0048413	6,97E-05
0,0093442	0,0061316	0,0060625	6,91E-05
0,018764	0,012118	0,012053	6,5E-05
0,028183	0,017916	0,017854	6,2E-05
0,037603	0,023532	0,023473	0,000059
0,047023	0,028969	0,028915	5,4E-05
0,072023	0,042583	0,04254	4,3E-05
0,097023	0,055084	0,055053	3,1E-05
0,12202	0,066564	0,066544	2E-05
0,14702	0,077113	0,077101	1,2E-05
0,17202	0,086814	0,08681	4E-06
0,19702	0,095746	0,095747	1E-06
0,22202	0,10398	0,10399	1E-05
0,24702	0,11159	0,1116	1E-05
0,27202	0,11865	0,11866	1E-05
0,29702	0,12521	0,12522	1E-05
0,32202	0,13132	0,13133	1E-05
0,34702	0,13706	0,13706	0
0,37202	0,14245	0,14245	0
0,39702	0,14755	0,14755	0
0,42202	0,1524	0,15239	1E-05
0,44702	0,15703	0,15702	1E-05
0,47202	0,16149	0,16147	2E-05
0,49702	0,16579	0,16577	2E-05
0,52202	0,16997	0,16994	3E-05
0,54702	0,17406	0,17403	3E-05
0,57202	0,17808	0,17804	4E-05
0,59702	0,18205	0,182	5E-05
0,62202	0,18599	0,18593	6E-05

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,64702	0,18992	0,18985	7E-05
0,67202	0,19385	0,19377	8E-05
0,69702	0,19781	0,19772	9E-05
0,72202	0,2018	0,2017	0,0001
0,74702	0,20585	0,20573	0,00012
0,77202	0,20995	0,20982	0,00013
0,79702	0,21414	0,21399	0,00015
0,82202	0,21841	0,21824	0,00017
0,84702	0,22277	0,22259	0,00018
0,87202	0,22725	0,22704	0,00021
0,89702	0,23184	0,23162	0,00022
0,92202	0,23657	0,23632	0,00025
0,94702	0,24143	0,24115	0,00028
0,96027	0,24407	0,24378	0,00029
0,97351	0,24675	0,24644	0,00031
0,98676	0,24947	0,24915	0,00032
1	0,25224	0,2519	0,00034

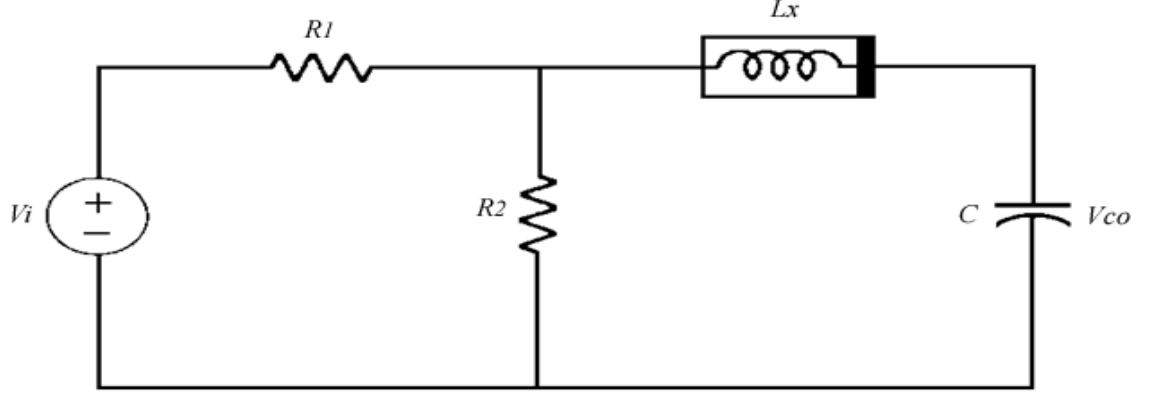
**Tablo 4.6** Şekil 4.11’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağının Testi Sonucunda Elde Edilen Nümerik Değerler



**Şekil 4.18** 4.1.2 Devresinin Basamak Giriş İşaretine Karşılık Cevabı \_\_\_\_\_ ve Model Ağ Cevabı\_\_\_\_\_

Bu çalışmada yapay sinir ağının eğitiminden sonra hatanın yaklaşık olarak  $7,274e-05$  başarı yüzdesinin %97.17, testinden sonra hatanın yaklaşık olarak  $8,43e-05$  başarı yüzdesinin %99.92 olduğu görülmüştür.

#### 4.1.3. Lineer Olmayan Bobinli Devre



Şekil 4.19 Lineer Olmayan Bobinli Devre

Şekil 4.19’da gösterilen lineer olmayan bobinli devrede  $Lx$  bobini  $\varphi = \dot{I}^3 x + \dot{I}^2 x$  ( $\varphi$ : halkalama akısı) şeklinde davranış gösteren lineer olmayan bir devre elemanıdır. Bu devreye Kirchhoff yasaları uygulanmış ve gerekli işlemler yapılarak

$$V_i(t) = \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) V_{co}(t) + C \frac{dV_{co}(t)}{dt} + \left[ 2C \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \frac{dV_{co}(t)}{dt} + \right. \\ \left. + 3C^2 \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \left( \frac{dV_{co}(t)}{dt} \right)^2 \right] \frac{d^2 V_{co}(t)}{dt^2} \quad (4.5)$$

diferansiyel denklemi elde edilmiştir.

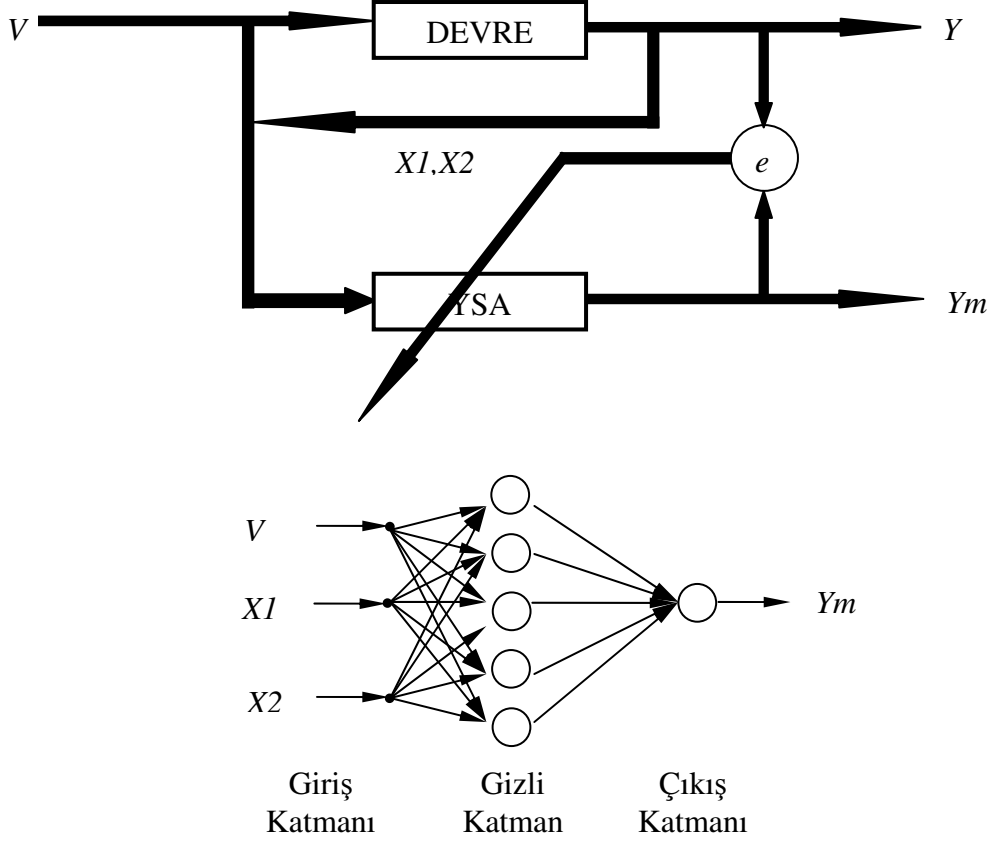
$$R = 4\Omega, C = 0,1F$$

Rezistans ve kapasitans değerleri yerine yazılarak

$$V_i(t) = 2V_{co}(t) + 0,1 \frac{dV_{co}(t)}{dt} + \left[ 0,4 \frac{dV_{co}(t)}{dt} + 0,06 \left( \frac{dV_{co}(t)}{dt} \right)^2 \right] \frac{d^2 V_{co}(t)}{dt^2} \quad (4.6)$$

diferansiyel denklemi elde edilmiştir.

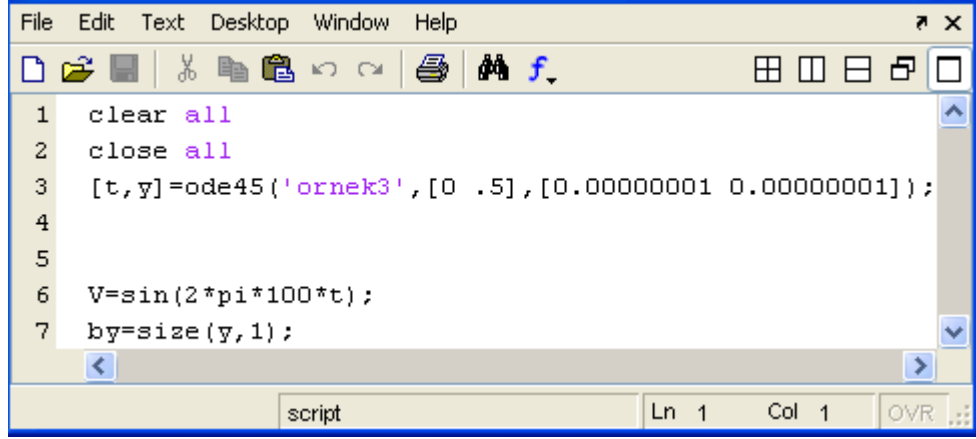
Devreyi yapay sinir ağı ile modellemek için şekil 4.20’de gösterilen ileri beslemeli, eğitici öğrenme yöntemini kullanan yapay sinir ağı yapısı tasarlanmıştır.



Şekil 4.20 Yapay Sinir Ağ Yapısı

Şekil 4.20’de gösterilen ağ yapısında  $V$  ile giriş işareti,  $Y$  ile çıkış işareti,  $X1$  ile çıkış işaretinin bir gecikmiş değeri,  $X2$  ile çıkış işaretinin iki gecikmiş değeri ve  $Ym$  ile yapay sinir ağının çıkışı gösterilmiştir.

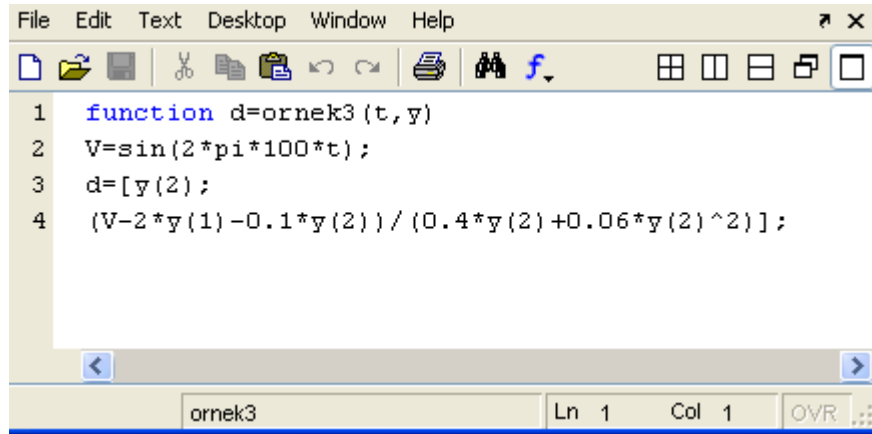
Girişe sinüzoidal işaret uygulanmış ve diferansiyel denklem  $[0, 0,5]$  zaman aralığında başlangıç koşulları sıfıra çok yakın kabul edilerek nümerik yöntemler ile çözülmüştür. Bu çözüm için şekil 4.21’deki Matlab programı yazılmıştır.



```
File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 clear all
2 close all
3 [t,y]=ode45('ornek3',[0 .5],[0.00000001 0.00000001]);
4
5
6 V=sin(2*pi*100*t);
7 by=size(y,1);
script Ln 1 Col 1 OVR
```

**Şekil 4.21** Nümerik Çözüm İçin Yazılan Matlab Programı

Bu programda ode45 fonksiyonu ile şekil 4.21’de gösterilen ornek3 dosyasındaki diferansiyel denklem [0 0,5] zaman aralığında dört adımlı Runge-Kutta yöntemi ile çözerek nümerik değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu nümerik değerler tablo 4.7’de gösterilmiştir.



```
File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 function d=ornek3(t,y)
2 V=sin(2*pi*100*t);
3 d=[y(2);
4 (V-2*y(1)-0.1*y(2))/(0.4*y(2)+0.06*y(2)^2)];
ornek3 Ln 1 Col 1 OVR
```

**Şekil 4.22** Ornek3 Dosyası

ZAMAN (t)	GİRİŞ (V)	ÇIKIŞ (Y)
0	0	1,00E-08
8,70E-09	5,47E-06	1,00E-08
1,74E-08	1,09E-05	1,00E-08
2,61E-08	1,64E-05	1,00E-08
3,48E-08	2,19E-05	1,00E-08
4,35E-08	2,73E-05	1,00E-08
5,22E-08	3,28E-05	1,00E-08
6,09E-08	3,83E-05	1,00E-08
6,96E-08	4,37E-05	1,00E-08
9,30E-08	5,85E-05	1,00E-08
1,16E-07	7,32E-05	1,00E-08
1,40E-07	8,79E-05	1,00E-08
1,63E-07	0,00010266	1,00E-08
2,81E-07	0,00017633	1,00E-08
3,98E-07	0,00025	1,00E-08
5,15E-07	0,00032367	9,99E-09
6,32E-07	0,00039733	9,99E-09
1,22E-06	0,00076567	9,97E-09
1,80E-06	0,001134	9,94E-09
2,39E-06	0,0015024	9,89E-09
2,98E-06	0,0018707	9,82E-09
5,91E-06	0,0037124	9,31E-09
8,84E-06	0,0055541	8,45E-09
1,18E-05	0,0073957	7,25E-09
1,47E-05	0,0092374	5,70E-09
2,94E-05	0,018445	-7,13E-09
4,40E-05	0,027651	-2,85E-08
5,87E-05	0,036855	-5,84E-08
7,33E-05	0,046055	-9,69E-08
0,0001466	0,091984	-4,17E-07
0,00021988	0,13772	-9,51E-07
0,00029316	0,18316	-1,70E-06
0,00036644	0,22821	-2,66E-06
0,00068559	0,41757	-9,31E-06
0,0010047	0,59019	-1,99E-05
0,0013239	0,73916	-3,44E-05
0,001643	0,85851	-5,26E-05



ZAMAN (t)	GİRİŞ (V)	ÇIKIŞ (Y)
0,0022227	0,98486	-9,46E-05
0,0028023	0,98201	-0,00014684
0,17203	0,95623	-0,021653
0,17309	0,93139	-0,021851
0,17416	0,50439	-0,022065
0,17522	-0,1404	-0,022285
0,17629	-0,72457	-0,022506
0,17736	-0,99588	-0,022717
0,17856	-0,78766	-0,022937
0,17976	-0,15177	-0,023145
0,18096	0,56652	-0,023351
0,18338	0,8505	-0,023811
0,1846	0,24663	-0,024069
0,18583	-0,4956	-0,024333
0,18705	-0,95979	-0,02459
0,18823	-0,89708	-0,024823
0,18941	-0,36244	-0,025041
0,19059	0,36286	-0,025255
0,19177	0,89727	-0,025476
0,19292	0,96553	-0,025707
0,19407	0,55381	-0,025954
0,19521	-0,13322	-0,026211
0,19636	-0,75402	-0,026467
0,19757	-0,99897	-0,026726
0,19879	-0,69137	-0,02697
0,2	-0,0013555	-0,027203
0,20121	0,68941	-0,027437
0,20243	0,99892	-0,027685
0,20364	0,7538	-0,027952
0,20486	0,090164	-0,028232
0,20607	-0,62354	-0,028515
0,44083	0,49637	-0,11015
0,44169	0,87464	-0,11058
0,44256	0,99923	-0,11102
0,44343	0,83399	-0,11146
0,4443	0,42685	-0,1119
0,44517	-0,10409	-0,11235
0,44603	-0,60485	-0,1128

ZAMAN (t)	GİRİŞ (V)	ÇIKIŞ (Y)
0,4469	-0,93017	-0,11324
0,449	-0,58687	-0,11431
0,4511	0,63835	-0,11538
0,4532	0,90429	-0,11646
0,4553	-0,18869	-0,11757
0,4571	-0,96879	-0,11852
0,4589	-0,63717	-0,11946
0,4607	0,42562	-0,1204
0,4625	1	-0,12135
0,46482	0,115	-0,1226
0,46713	-0,9737	-0,12385
0,46945	-0,33765	-0,1251
0,47177	0,8965	-0,12636
0,47407	0,55192	-0,12763
0,47637	-0,75815	-0,12891
0,47867	-0,74197	-0,13019
0,48097	0,57216	-0,13147
0,48327	0,88633	-0,13277
0,48556	-0,34642	-0,13408
0,48786	-0,97456	-0,13541
0,49016	0,098219	-0,13672
0,49262	0,99728	-0,13814
0,49508	-0,049169	-0,13959
0,49754	-0,9997	-0,14105
0,5	1,96E-15	-0,14251

**Tablo 4.7** (4.6) Diferansiyel Denkleminin Çözümünden Elde Edilen Nümerik Değerler

Ornek3 dosyasında yazılan (4.6) diferansiyel denkleminin çözülmesi sonucu elde edilen nümerik değerler kullanılarak şekil 4.20’de gösterilen üç adet giriş hücresi, beş adet saklı katman hücresi, bir adet çıkış hücresi, saklı katman aktivasyon fonksiyonu sigmoid, çıkış katman aktivasyon fonksiyonu doğrusal olan, levenberg marquard yöntemine göre eğitilen yapay sinir ağ programı yazılmıştır. Bu program yazılırken Matlab programlama dili kullanılmıştır.

```

File Edit Text Desktop Window Help
1 V=sin(2*pi*100*t);
2 by=size(y,1);
3
4
5 x1=[0 y(2:by,1)']; x2=[0 0 y(3:by,1)']; x=[x1;x2;V'];
6
7 net = newff(minmax(x),[5 1],{'tansig' 'purelin' },'trainlm');
8 net.inputs{1}.size=3;
9 net.trainParam.show=5;
10 net.trainParam.lr = 0.01;
11 net.trainParam.epochs =1000;
12 net.trainParam.goal = 1e-12;
13 net.trainParam.perform='mse';
14 net = train(net,x,y(:,1)');
15 ym=sim(net,x);
16
17 figure
18 plot(t,y(:,1),'r',t,ym(1,:),'b');
19
script Lh 19 Col 1 OVR

```

**Şekil 4.23** Şekil 4.20’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağı İçin Yazılmış Program

Eğitim sonucunda elde edilen ağ çıkışı ile sistemin çıkışı tablo 4.8 nümerik şekil 4.24’te grafik olarak karşılaştırılmıştır.

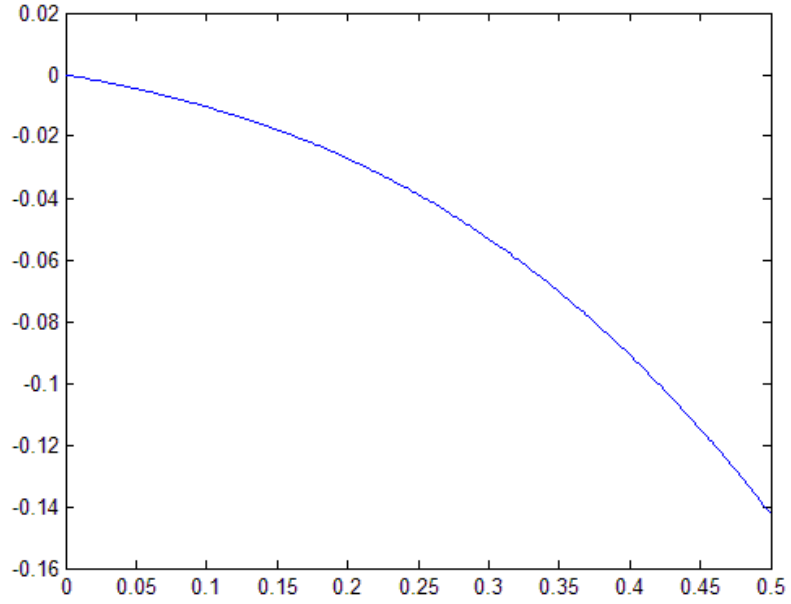
ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0	1,00E-08	-3,83E-07	3,93E-07
8,70E-09	1,00E-08	-3,76E-07	3,86E-07
1,74E-08	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
2,61E-08	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
3,48E-08	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
4,35E-08	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
5,22E-08	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
6,09E-08	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
6,96E-08	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
9,30E-08	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
1,16E-07	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
1,40E-07	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
1,63E-07	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
2,81E-07	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
3,98E-07	1,00E-08	-3,73E-07	3,83E-07
5,15E-07	9,99E-09	-3,73E-07	3,83E-07
6,32E-07	9,99E-09	-3,73E-07	3,83E-07
1,22E-06	9,97E-09	-3,73E-07	3,83E-07
1,80E-06	9,94E-09	-3,73E-07	3,83E-07
2,39E-06	9,89E-09	-3,73E-07	3,83E-07
2,98E-06	9,82E-09	-3,73E-07	3,83E-07
5,91E-06	9,31E-09	-3,74E-07	3,83E-07
8,84E-06	8,45E-09	-3,75E-07	3,83E-07
1,18E-05	7,25E-09	-3,76E-07	3,84E-07
1,47E-05	5,70E-09	-3,78E-07	3,84E-07
0,049909	-0,0045733	-0,0045734	1,00E-07
0,050399	-0,0046024	-0,0046025	1,00E-07
0,050889	-0,004634	-0,0046341	1,00E-07
0,05138	-0,0046702	-0,0046702	0
0,051877	-0,004713	-0,004713	0
0,052375	-0,0047621	-0,0047621	0
0,052872	-0,0048173	-0,0048173	0
0,05337	-0,0048779	-0,0048778	1,00E-07
0,054167	-0,0049834	-0,0049835	1,00E-07
0,054964	-0,0050951	-0,0050951	0
0,05576	-0,0052072	-0,0052074	2,00E-07
0,056557	-0,0053145	-0,0053148	3,00E-07
0,056942	-0,0053629	-0,0053633	4,00E-07
0,057326	-0,0054085	-0,0054089	4,00E-07
0,05771	-0,0054509	-0,0054513	4,00E-07
0,058095	-0,0054899	-0,0054902	3,00E-07
0,058479	-0,0055253	-0,0055256	3,00E-07
0,058864	-0,0055574	-0,0055577	3,00E-07
0,059248	-0,0055866	-0,0055867	1,00E-07
0,059633	-0,0056135	-0,0056135	0
0,060386	-0,0056644	-0,0056644	0
0,061139	-0,0057204	-0,0057204	0
0,061893	-0,0057877	-0,0057876	1,00E-07
0,062646	-0,0058686	-0,0058685	1,00E-07
0,2099	-0,029333	-0,029332	1,00E-06
0,21118	-0,029592	-0,029591	1,00E-06

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,21248	-0,02987	-0,029869	1,00E-06
0,21377	-0,030168	-0,030167	1,00E-06
0,21507	-0,030479	-0,030478	1,00E-06
0,21637	-0,030792	-0,030792	0
0,21767	-0,031095	-0,031094	1,00E-06
0,21898	-0,031381	-0,031381	0
0,22029	-0,031659	-0,031658	1,00E-06
0,2216	-0,031941	-0,03194	1,00E-06
0,22287	-0,032234	-0,032233	1,00E-06
0,22415	-0,032544	-0,032543	1,00E-06
0,22543	-0,032864	-0,032863	1,00E-06
0,2267	-0,033182	-0,033181	1,00E-06
0,22804	-0,033499	-0,033498	1,00E-06
0,22937	-0,033802	-0,033801	1,00E-06
0,23071	-0,0341	-0,034099	1,00E-06
0,23204	-0,034407	-0,034405	2,00E-06
0,23342	-0,034744	-0,034743	1,00E-06
0,2348	-0,035098	-0,035097	1,00E-06
0,23617	-0,035456	-0,035455	1,00E-06
0,23755	-0,035805	-0,035804	1,00E-06
0,23897	-0,036147	-0,036147	0
0,2404	-0,036481	-0,03648	1,00E-06
0,24183	-0,036822	-0,036821	1,00E-06
0,44603	-0,1128	-0,1128	0
0,4469	-0,11324	-0,11324	0
0,449	-0,11431	-0,11431	0
0,4511	-0,11538	-0,11538	0
0,4532	-0,11646	-0,11646	0
0,4553	-0,11757	-0,11757	0
0,4589	-0,11946	-0,11946	0
0,4607	-0,1204	-0,1204	0
0,4625	-0,12135	-0,12135	0
0,46482	-0,1226	-0,1226	0
0,46713	-0,12385	-0,12385	0
0,46945	-0,1251	-0,12511	1,00E-05
0,47177	-0,12636	-0,12636	0
0,47407	-0,12763	-0,12763	0

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,47637	-0,12891	-0,12891	0
0,47867	-0,13019	-0,13019	0
0,48097	-0,13147	-0,13147	0
0,48327	-0,13277	-0,13277	0
0,48556	-0,13408	-0,13408	0
0,48786	-0,13541	-0,13541	0
0,49016	-0,13672	-0,13672	0
0,49262	-0,13814	-0,13814	0
0,49508	-0,13959	-0,13959	0
0,49754	-0,14105	-0,14105	0
0,5	-0,14251	-0,14251	0

**Tablo 4.8** Şekil 4.20’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağının Eğitimi Sonucunda Elde Edilen Nümerik Değerler



**Şekil 4.24** 4.1.3 Devresinin Sinüzoidal Giriş İşaretine Karşılık Cevabı \_\_\_ ve Model Ağ Cevabı \_\_\_

Ağın genellenme özelliğini göstermek için basamak işareti ile ağ test edilmiştir. Bu test için ornek3\_t dosyası yazılmış ve yapay sinir ağının girişine uygulanmıştır. Yapay sinir ağının testi başarı ile geçtiği görülmüştür. Sonuç tablo 4.9’da nümerik, şekil 4.27’de grafik olarak karşılaştırılmıştır.

```

File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 function d=ornek3_t(t,y)
2 V=1;
3 d=[y(2);
4 (V-2*y(1)-0.1*y(2))/(0.4*y(2)+0.06*y(2)^2)];
[Navigation]
ornek3_t Ln 1 Col 19 OVR

```

Şekil 4.25 Ornek3\_t Dosyası

```

File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 [t,y]=ode45('ornek3_t',[0 .5],[0.00000001 0.00000001])
2
3
4
5 by=size(y,1);
6 V=1*ones(1,by);
7 x1=[0 y(2:by,1)']; x2=[0 0 y(3:by,1)']; x=[x1;x2;V];
8
9 ym=sim(net,x);
10
11 figure
12 plot(t,y(:,1),'r',t,ym(1,:),'b');
[Navigation]
script Ln 13 Col 1 OVR

```

Şekil 4.26 Yapay Sinir Ağının Testi İçin Yazılmış Program

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0	1,00E-06	-3,00E-07	1,30E-06
2,01E-11	1,00E-06	4,41E-07	5,59E-07
4,02E-11	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
6,03E-11	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
8,04E-11	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
1,13E-10	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
1,46E-10	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
1,78E-10	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
2,11E-10	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07

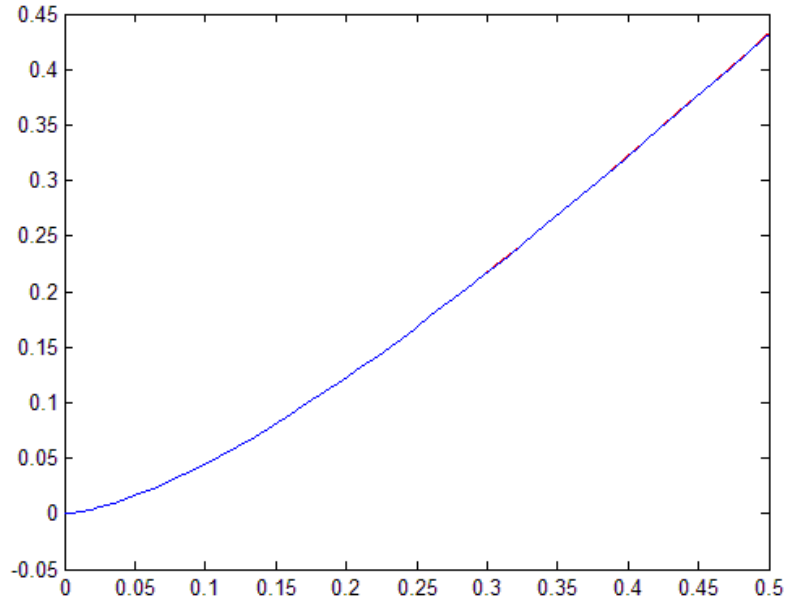
ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
3,73E-10	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
5,36E-10	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
6,99E-10	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
2,42E-09	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
3,92E-09	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
5,42E-09	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
6,91E-09	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
8,41E-09	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
1,15E-08	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
1,45E-08	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
1,75E-08	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
2,06E-08	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
2,92E-08	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
3,78E-08	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
5,08E-07	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
6,38E-07	1,00E-06	7,00E-07	3,00E-07
7,68E-07	1,00E-06	7,01E-07	3,00E-07
8,98E-07	1,00E-06	7,01E-07	3,00E-07
1,19E-06	1,00E-06	7,02E-07	3,00E-07
1,49E-06	1,00E-06	7,02E-07	3,00E-07
1,78E-06	1,00E-06	7,03E-07	3,00E-07
2,08E-06	1,00E-06	7,04E-07	3,00E-07
2,76E-06	1,01E-06	7,07E-07	3,00E-07
3,44E-06	1,01E-06	7,09E-07	3,00E-07
4,12E-06	1,01E-06	7,12E-07	3,00E-07
4,79E-06	1,02E-06	7,15E-07	3,00E-07
6,36E-06	1,02E-06	7,24E-07	3,00E-07
7,92E-06	1,03E-06	7,33E-07	3,00E-07
9,48E-06	1,04E-06	7,43E-07	3,00E-07
1,10E-05	1,05E-06	7,54E-07	3,00E-07
1,46E-05	1,08E-06	7,83E-07	3,00E-07
1,82E-05	1,12E-06	8,16E-07	3,00E-07
2,18E-05	1,15E-06	8,52E-07	3,00E-07
2,55E-05	1,19E-06	8,91E-07	3,00E-07
3,38E-05	1,29E-06	9,92E-07	3,00E-07
4,21E-05	1,41E-06	1,11E-06	3,00E-07



ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
5,04E-05	1,53E-06	1,23E-06	3,00E-07
5,87E-05	1,67E-06	1,37E-06	3,00E-07
7,78E-05	2,02E-06	1,72E-06	3,00E-07
9,70E-05	2,42E-06	2,12E-06	3,00E-07
0,00011616	2,86E-06	2,56E-06	3,00E-07
0,00095994	4,51E-05	4,48E-05	3,04E-07
0,0011977	6,25E-05	6,22E-05	3,05E-07
0,0021908	0,00015285	0,00015254	3,10E-07
0,0027085	0,0002096	0,00020928	3,20E-07
0,0032262	0,000272	0,00027168	3,20E-07
0,0037439	0,00033957	0,00033924	3,30E-07
0,0046631	0,00047113	0,00047079	3,40E-07
0,0055823	0,00061623	0,00061588	3,50E-07
0,0065014	0,00077364	0,00077328	3,60E-07
0,0074206	0,00094241	0,00094203	3,80E-07
0,0089658	0,0012497	0,0012493	4,00E-07
0,010511	0,0015844	0,0015839	5,00E-07
0,012056	0,001944	0,0019436	4,00E-07
0,013602	0,002327	0,0023265	5,00E-07
0,016477	0,0030967	0,0030962	5,00E-07
0,019351	0,0039351	0,0039344	7,00E-07
0,022226	0,0048363	0,0048356	7,00E-07
0,025101	0,0057958	0,005795	8,00E-07
0,030387	0,0077001	0,0076991	1,00E-06
0,035672	0,0097711	0,0097699	1,20E-06
0,040958	0,011994	0,011993	1,00E-06
0,046243	0,014359	0,014357	2,00E-06
0,055994	0,019059	0,019057	2,00E-06
0,065745	0,024162	0,024159	3,00E-06
0,075496	0,029628	0,029624	4,00E-06
0,085247	0,035429	0,035424	5,00E-06
0,18525	0,10977	0,10974	3,00E-05
0,19775	0,12057	0,12053	4,00E-05
0,21025	0,13162	0,13158	4,00E-05
0,22275	0,14293	0,14288	5,00E-05
0,23525	0,15447	0,15441	6,00E-05
0,24775	0,16624	0,16616	8,00E-05

ZAMAN (t)	ÇIKIŞ (Y)	YSA ÇIKIŞ (Ym)	HATA
0,26025	0,1782	0,17811	9,00E-05
0,27275	0,19037	0,19026	0,00011
0,28525	0,20271	0,20258	0,00013
0,29775	0,21522	0,21507	0,00015
0,37275	0,29324	0,2929	0,00034
0,38525	0,30663	0,30625	0,00038
0,39775	0,32012	0,31969	0,00043
0,41025	0,33368	0,3332	0,00048
0,42275	0,34732	0,34677	0,00055
0,43525	0,36101	0,36039	0,00062
0,44775	0,37475	0,37406	0,00069
0,46025	0,38854	0,38777	0,00077
0,47275	0,40236	0,4015	0,00086
0,48525	0,41621	0,41525	0,00096
0,48894	0,4203	0,41931	0,00099
0,49262	0,42439	0,42337	0,00102
0,49631	0,42848	0,42743	0,00105
0,5	0,43257	0,43149	0,00108

**Tablo 4.9** Şekil 4.20’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağının Testi Sonucunda Elde Edilen Nümerik Değerler



**Şekil 4.27** 4.1.3 Devresinin Basamak Giriş İşaretine Karşılık Cevabı — ve Model Ağ Cevabı —

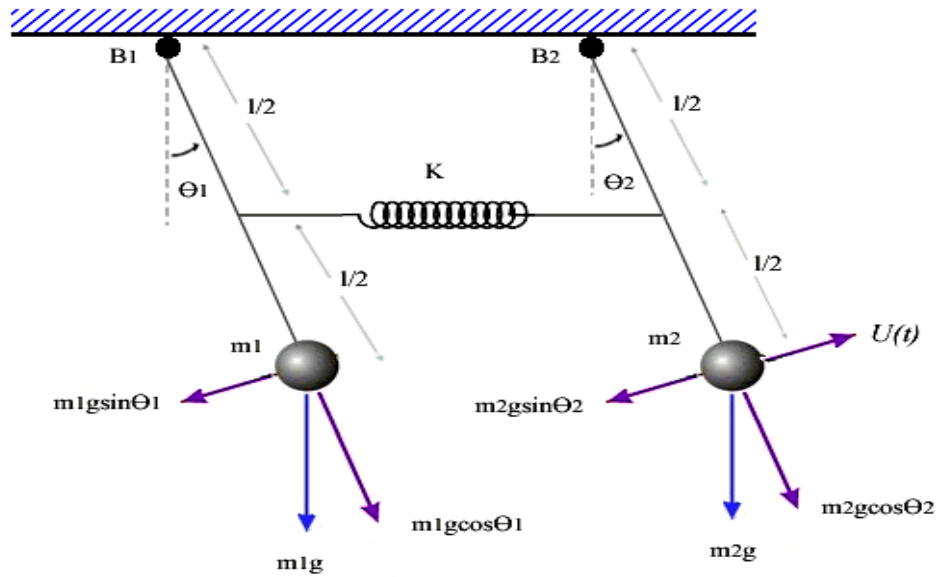
Bu çalışmada yapay sinir ağının eğitiminden sonra hatanın yaklaşık olarak  $5,5684e-07$  başarı yüzdesinin %99.99, testinden sonra hatanın yaklaşık olarak  $8,97213e-05$  başarı yüzdesinin %99.86 olduğu görülmüştür.

## 4.2. Mekanik Sistemlerin Modellenmesi

Bu bölümde lineer olmayan mekanik sistemler modellenmiştir. Mekanik sistemlerin matematiksel modelleri Newton yasaları kullanılarak diferansiyel denklem takımları şeklinde ifade edilmiştir. Elde edilen diferansiyel denklem takımları nümerik yöntemler ile belli zaman aralıklarında çözülerek nümerik değerler elde edilmiş ve bu değerler ağı eğitiminde kullanılmıştır. Yapay sinir ağının genelleme özelliğini göstermek için ağ basamak işareti ile test edilmiştir. Bu sistemlerde giriş için  $U$  çıkış için  $\theta_1, \theta_2$  ve  $X_1, X_2$  kullanılmıştır. Yapay sinir ağı tasarlanırken ve programlar yazılırken giriş işareti için  $V$  ve  $VIV2$  ve çıkış işareti için  $Y1m$  ve  $Y2m$  kullanılmıştır.

### 4.2.1. Sarkaç sistemi

Bu çalışmada Şekil 4.28'de gösterilen ve birbirine lineer bir yay ile bağlanmış sarkaç sistemi incelenmiştir. Bu mekanik sisteme Newton yasaları uygulanmış ve gerekli işlemler yapılarak



Şekil 4.28 Sarkaç Sistemi

$$0 = m_1 \ell^2 \frac{d^2 \theta_1(t)}{dt^2} + \beta_1 \frac{d\theta_1(t)}{dt} + m_1 g \sin \theta_1(t) - \frac{1}{4} k \ell^2 \cos \theta_1(t) (\theta_1(t) - \theta_2(t)) \quad (4.7)$$

$$U(t) = m_2 \ell^2 \frac{d^2 \theta_2(t)}{dt^2} + \beta_2 \frac{d\theta_2(t)}{dt} + m_2 g \sin \theta_2(t) + \frac{1}{4} k \ell^2 \cos \theta_2(t) (\theta_2(t) - \theta_1(t))$$

diferansiyel denklem takımı elde edilmiştir.

$$m_1 = 0.5k\check{g}, m_2 = 0.5k\check{g}, g = 9.81m/s^2, \beta = 0.4Ns/m, L = 1m$$

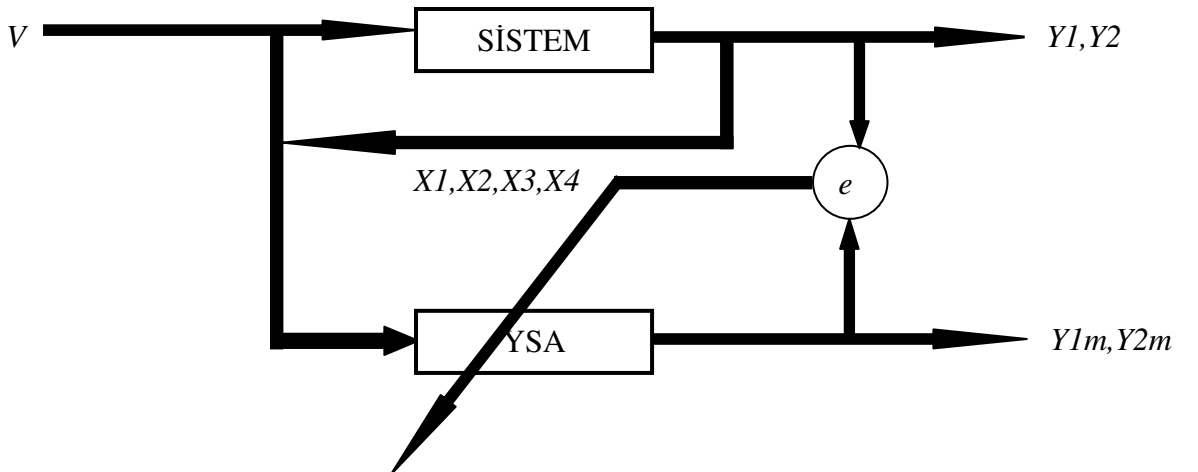
Burada gerekli kütle, yay sabiti, uzunluk ve sürtünme sabiti yerine yazılarak

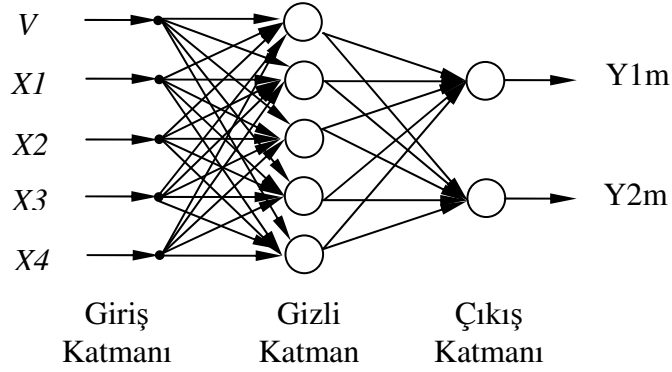
$$0 = 0,5 \frac{d^2 \theta_1(t)}{dt^2} + 0,4 \frac{d\theta_1(t)}{dt} + 4,905 \sin \theta_1(t) - 0,5 \cos \theta_1(t) [\theta_1(t) - \theta_2(t)] \quad (4.8)$$

$$U(t) = 0,5 \frac{d^2 \theta_2(t)}{dt^2} + 0,4 \frac{d\theta_2(t)}{dt} + 4,905 \sin \theta_2(t) + 0,5 \cos \theta_2(t) [\theta_2(t) - \theta_1(t)]$$

diferansiyel denklem takımı elde edilmiştir.

Sistemi yapay sinir ağı ile modellemek için sekil 4.29'da gösterilen ileri beslemeli, eğitici öğrenme yöntemini kullanan yapay sinir ağı yapısı tasarlanmıştır.





Şekil 4.29 Yapay Sinir Ağ Yapısı

Şekil 4.29'da gösterilen ağ yapısında  $V$  ile giriş işareti,  $Y1$  ile birinci çıkış işareti,  $Y2$  ile ikinci çıkış işareti,  $X1$  ile birinci çıkış işaretinin bir gecikmiş değeri,  $X2$  ile birinci çıkış işaretinin iki gecikmiş değeri,  $X3$  ile ikinci çıkış işaretinin bir gecikmiş değeri,  $X4$  ile ikinci çıkış işaretinin iki gecikmiş değeri,  $Y1m$  ile yapay sinir ağının birinci çıkışı ve  $Y2m$  ile yapay sinir ağının çıkışı gösterilmiştir.

Girişe sinüzoidal işaret uygulanmış ve diferansiyel denklem takımı [0 5] zaman aralığında başlangıç koşulları sıfır kabul edilerek nümerik yöntemler ile çözülmüştür. Bu çözüm için şekil 4.30'daki Matlab programı yazılmıştır.

```

File Edit Text Desktop Window Help
1 clear all
2 close all
3 [t,y]=ode45('ornek4',[0 5],[0 0 0 0]);
4 V=sin(2*pi*10*t);
5 by=size(y,1);
script Ln 1 Col 1 OVR

```

Şekil 4.30 Nümerik Çözüm İçin Yazılan Matlab Programı

Bu programda ode45 fonksiyonu ile şekil 4.31’de gösterilen ornek4 dosyasındaki diferansiyel denklem takımı [0 5] zaman aralığında dört adımlı Runge-Kutta yöntemi ile çözerek nümerik değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu nümerik değerler tablo 4.10’da gösterilmiştir.

```

1 function d=ornek4(t,y)
2 V=sin(2*pi*10*t);
3 d=[y(2);
4     (-0.4*y(2)-4.905*sin(y(1))+0.5*cos(y(1))*(y(1)-y(3)))*2;
5     y(4);
6     (V-0.4*y(4)-4.905*sin(y(3))-0.5*cos(y(3))*(y(3)-y(1)))*2 ];

```

Şekil 4.31 Ornek4 Dosyası

ZAMAN (t)	GİRİŞ(V)	1. ÇIKIŞ(Y1)	2.ÇIKIŞ(Y2)
0	0	0	0
0,0044854	0,27811	-2,24E-09	0,0012564
0,0089708	0,53428	-3,47E-08	0,0049117
0,013456	0,74829	-1,68E-07	0,010672
0,017942	0,90326	-5,17E-07	0,018076
0,022427	0,98696	-1,23E-06	0,026528
0,026912	0,99279	-2,47E-06	0,035339
0,031398	0,92028	-4,42E-06	0,04381
0,035883	0,77517	-7,24E-06	0,051267
0,044389	0,34531	-1,54E-05	0,060556
0,052894	-0,18083	-2,79E-05	0,061451
0,061399	-0,65655	-4,47E-05	0,053597
0,069905	-0,94919	-6,51E-05	0,039026
0,076966	-0,99238	-8,41E-05	0,024654

ZAMAN (t)	GİRİŞ(V)	1. ÇIKIŞ(Y1)	2.ÇIKIŞ(Y2)
0,084028	-0,84338	-0,00010423	0,011179
0,09109	-0,53105	-0,00012472	0,0010841
0,098152	-0,11588	-0,00014512	-0,003807
0,10624	0,38202	-0,00016808	-0,0017898
0,11433	0,78339	-0,00019074	0,007509
0,12241	0,98681	-0,00021363	0,021713
0,1305	0,94089	-0,00023763	0,037234
0,13866	0,65395	-0,000264	0,049968
0,14681	0,19899	-0,00029333	0,05637
0,98492	-0,81201	0,00016186	-0,040471
0,99093	-0,53975	0,00022208	-0,048447
0,99693	-0,1915	0,00028367	-0,052629
1,0033	0,20593	0,00035059	-0,0522
1,0097	0,57083	0,00041914	-0,046868
1,016	0,84556	0,00048907	-0,037428
1,0224	0,98673	0,00055999	-0,025313
1,0292	0,96541	0,00063615	-0,01158
1,036	0,77082	0,00071217	0,00054389
1,0428	0,43789	0,00078746	0,0089672
1,0496	0,026369	0,00086165	0,012264
1,0567	-0,40945	0,00093816	0,009524
1,0638	-0,76438	0,0010134	0,0011351
1,071	-0,96829	0,0010876	-0,011243
1,0781	-0,98091	0,0011616	-0,025177
1,0853	-0,79603	0,0012368	-0,037945
1,0926	-0,44963	0,0013131	-0,046672
1,0998	-0,011991	0,0013907	-0,049566
1,107	0,42808	0,0014698	-0,046007
1,1145	0,78869	0,0015523	-0,036249
1,1219	0,98089	0,0016354	-0,02246
1,1293	0,96363	0,0017185	-0,0074319
1,1367	0,7406	0,0018008	0,0057992
1,1453	0,29097	0,0018937	0,015123
1,1539	-0,24108	0,0019837	0,015807
1,1624	-0,70484	0,0020707	0,0077596
1,9817	-0,91258	-1,90E-05	0,0011473

ZAMAN (t)	GİRİŞ(V)	1. ÇIKIŞ(Y1)	2.ÇIKIŞ(Y2)
1,9879	-0,69118	-0,00010842	-0,0089194
1,994	-0,36544	-0,00019768	-0,015564
2,0002	0,014916	-0,00028584	-0,017751
2,0064	0,39304	-0,00037281	-0,015175
2,0126	0,71243	-0,00045865	-0,008239
2,0188	0,92535	-0,0005436	0,0020146
2,025	1	-0,00062805	0,013973
2,0312	0,92521	-0,00071241	0,025861
2,0374	0,71216	-0,00079707	0,035919
2,0455	0,27757	-0,00090941	0,043766
2,0537	-0,22803	-0,0010233	0,043757
2,0618	-0,6753	-0,0011388	0,03582
2,0699	-0,94983	-0,0012552	0,021871
2,077	-0,99229	-0,0013559	0,0076546
2,084	-0,84368	-0,0014558	-0,0056582
2,0911	-0,53262	-0,0015543	-0,015606
2,0981	-0,119	-0,0016507	-0,020376
2,1058	0,35837	-0,0017541	-0,018511
2,1136	0,75281	-0,0018549	-0,0098787
2,1213	0,97305	-0,0019534	0,0035297
4,6806	-0,93869	-0,0031876	-0,017079
4,688	-0,68355	-0,0031423	-0,029332
4,6954	-0,28253	-0,0030942	-0,036514
4,7029	0,17879	-0,0030429	-0,037132
4,7103	0,60196	-0,0029883	-0,031079
4,7165	0,86022	-0,0029406	-0,021764
4,7227	0,98946	-0,0028913	-0,0101
4,7289	0,97028	-0,0028408	0,0021954
4,7351	0,80556	-0,0027897	0,013317
4,7409	0,54238	-0,0027419	0,021105
4,7467	0,20837	-0,0026943	0,025357
4,7524	-0,15285	-0,0026468	0,025524
4,7582	-0,49411	-0,0025997	0,021586
4,764	-0,77085	-0,0025527	0,014038
4,7698	-0,94692	-0,0025057	0,0039067
4,7756	-0,99935	-0,0024582	-0,0075097



ZAMAN (t)	GİRİŞ(V)	1. ÇIKIŞ(Y1)	2.ÇIKIŞ(Y2)
4,7814	-0,92128	-0,00241	-0,018749
4,7872	-0,72215	-0,0023606	-0,028337
4,9344	0,82984	-0,0008668	0,012962
4,941	0,53588	-0,00079361	0,022026
4,9476	0,15167	-0,00072144	0,026516
4,9542	-0,25807	-0,00065051	0,025712
4,9601	-0,59366	-0,00058726	0,020469
4,9661	-0,84693	-0,00052485	0,011729
4,972	-0,98274	-0,00046298	0,00068769
4,978	-0,98228	-0,00040129	-0,011146
4,9835	-0,86072	-0,00034418	-0,021309
4,989	-0,63741	-0,00028659	-0,029492
4,9945	-0,33873	-0,0002283	-0,034736
5	1,96E-15	-0,00016916	-0,036424

**Tablo 4.10** (4.8) Diferansiyel Denklem Takımının Çözümünden Elde Edilen Nümerik Değerler

Ornek4 dosyasında yazılan (4.8) diferansiyel denklem takımının çözülmesi sonucu elde edilen nümerik değerler kullanılarak şekil 4.29’da gösterilen beş adet giriş hücresi, beş adet saklı katman hücresi, iki adet çıkış hücresi, saklı katman aktivasyon fonksiyonu sigmoid, çıkış katman aktivasyon fonksiyonu doğrusal olan, levenberg marquard yöntemine göre eğitilen yapay sinir ağ programı yazılmıştır. Bu program yazılırken Matlab programlama dili kullanılmıştır

```

File Edit Text Desktop Window Help
1 V=sin(2*pi*10*t);
2 by=size(y,1);
3
4 x1=[0 y(2:by,2)']; x2=[0 0 y(3:by,2)'];
5 x3=[0 y(2:by,4)']; x4=[0 0 y(3:by,4)']; x=[x1;x2;x3;x4;V'];
6
7 net = newff(minmax(x),[5 2],{'tansig' 'purelin' },'trainlm');
8 net.inputs{1}.size=5;
9 net.trainParam.show=50;
10 net.trainParam.lr = 0.0005;
11 net.trainParam.epochs =2650;
12 net.trainParam.goal = 1e-13;
13 net.trainParam.perform='mse';
14 net = train(net,x,[y(:,2) y(:,4)']');
15
16 ym=sim(net,x);
17 figure
18 plot(t,y(:,2),'r',t,ym(1,:),'b',t,y(:,4),'m',t,ym(2,:),'g');
19
script Ln 20 Col 1 OVR

```

Şekil 4.32 Şekil 4.29’da Tasarlanan Yapay Sinir Ağı İçin Yazılmış Program

Eğitim sonucunda elde edilen ağ çıkışı ile sistemin çıkışı tablo 4.11’de nümerik, şekil 4.33’te grafik olarak karşılaştırılmıştır.

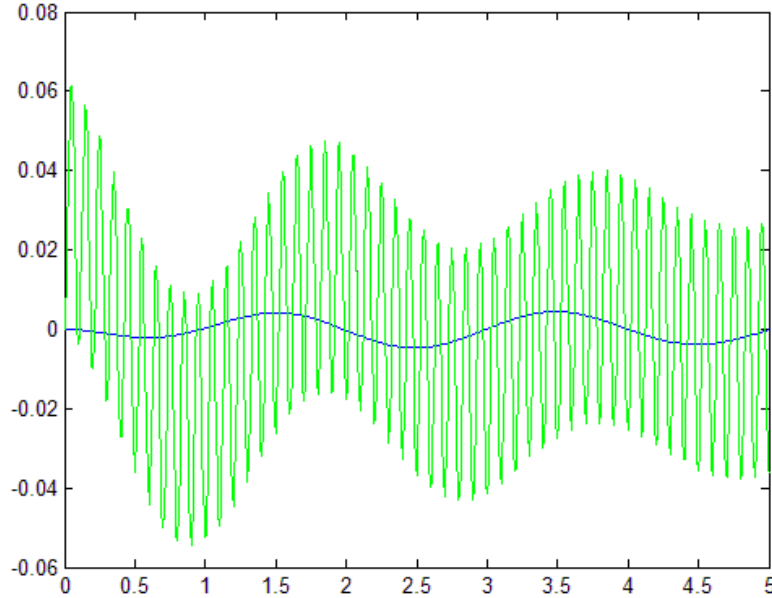
ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ	1.HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ	2.HATA
0	0	2,97E-07	2,97E-07	2,97E-07	-2,48E-08	3,22E-07
0,0044854	-2,24E-09	1,50E-07	1,53E-07	1,50E-07	0,0012568	0,00125665
0,0089708	-3,47E-08	2,73E-07	3,08E-07	2,73E-07	0,0049116	0,004911327
0,013456	-1,68E-07	1,49E-07	3,17E-07	1,49E-07	0,010671	0,010670851
0,017942	-5,17E-07	-1,90E-07	3,27E-07	-1,90E-07	0,018076	0,01807619
0,022427	-1,23E-06	-8,93E-07	3,36E-07	-8,93E-07	0,026528	0,026528893
0,026912	-2,47E-06	-2,13E-06	3,42E-07	-2,13E-06	0,035339	0,035341133
0,031398	-4,42E-06	-4,08E-06	3,44E-07	-4,08E-06	0,043809	0,04381308
0,035883	-7,24E-06	-6,90E-06	3,43E-07	-6,90E-06	0,051267	0,051273899

ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ	1.HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ	2.HATA
0,044389	-1,54E-05	-1,51E-05	3,38E-07	-1,51E-05	0,060555	0,060570096
0,052894	-2,79E-05	-2,75E-05	3,39E-07	-2,75E-05	0,061451	0,06147854
0,061399	-4,47E-05	-4,43E-05	3,43E-07	-4,43E-05	0,053597	0,053641308
0,069905	-6,51E-05	-6,48E-05	3,44E-07	-6,48E-05	0,039025	0,039089781
0,076966	-8,41E-05	-8,38E-05	3,36E-07	-8,38E-05	0,024654	0,024737807
0,084028	-0,00010423	-0,0001039	3,30E-07	-0,0001039	0,011179	0,0112829
0,09109	-0,00012472	-0,0001244	3,20E-07	-0,0001244	0,0010841	0,0012085
0,098152	-0,00014512	-0,00014481	3,10E-07	-0,00014481	-0,003807	0,00366219
0,10624	-0,00016808	-0,00016775	3,30E-07	-0,00016775	-0,0017898	0,00162205
0,11433	-0,00019074	-0,00019039	3,50E-07	-0,00019039	0,0075089	0,00769929
0,12241	-0,00021363	-0,00021326	3,70E-07	-0,00021326	0,021712	0,02192526
0,1305	-0,00023763	-0,00023726	3,70E-07	-0,00023726	0,037234	0,03747126
0,13866	-0,000264	-0,00026363	3,70E-07	-0,00026363	0,049967	0,05023063
0,14681	-0,00029333	-0,00029297	3,60E-07	-0,00029297	0,056369	0,05666197
0,15497	-0,00032603	-0,00032567	3,60E-07	-0,00032567	0,054698	0,05502367
1,921	0,00082989	0,00083002	1,30E-07	0,00083002	0,0079009	0,00707088
1,9269	0,00075203	0,0007522	1,70E-07	0,0007522	0,019558	0,0188058
1,9328	0,00067364	0,00067385	2,10E-07	0,00067385	0,030646	0,02997215
1,9387	0,00059435	0,00059459	2,40E-07	0,00059459	0,039684	0,03908941
1,9448	0,00051041	0,00051067	2,60E-07	0,00051067	0,045549	0,04503833
1,951	0,000425	0,00042527	2,70E-07	0,00042527	0,046931	0,04650573
1,9571	0,0003381	0,00033839	2,90E-07	0,00033839	0,043614	0,04327561
1,9633	0,00024989	0,00025018	2,90E-07	0,00025018	0,036065	0,03581482
1,9694	0,00016067	0,00016097	3,00E-07	0,00016097	0,025371	0,02521003
1,9756	7,09E-05	7,12E-05	2,98E-07	7,12E-05	0,013148	0,013076804
1,9817	-1,90E-05	-1,87E-05	2,97E-07	-1,87E-05	0,0011473	0,001165958
1,9879	-0,00010842	-0,00010812	3,00E-07	-0,00010812	-0,0089193	0,00881118
1,994	-0,00019768	-0,00019737	3,10E-07	-0,00019737	-0,015564	0,01536663
2,0002	-0,00028584	-0,00028552	3,20E-07	-0,00028552	-0,01775	0,01746448
2,0699	-0,0012552	-0,0012548	4,00E-07	-0,0012548	0,021871	0,0231258
2,077	-0,0013559	-0,0013555	4,00E-07	-0,0013555	0,0076544	0,0090099
2,9936	1,35E-05	1,37E-05	2,51E-07	1,37E-05	-0,039248	0,039261717
3,0005	0,00011182	0,00011205	2,30E-07	0,00011205	-0,041446	0,04155805
3,0074	0,00021152	0,00021173	2,10E-07	0,00021173	-0,037763	0,03797473
3,0137	0,00030398	0,00030418	2,00E-07	0,00030418	-0,029712	0,03001618
3,0201	0,00039703	0,00039722	1,90E-07	0,00039722	-0,018514	0,01891122
3,0264	0,00049021	0,00049039	1,80E-07	0,00049039	-0,0058613	0,00635169

ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ	1.HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ	2.HATA
3,0327	0,00058299	0,00058318	1,90E-07	0,00058318	0,0063388	0,00575562
3,0393	0,00067874	0,00067892	1,80E-07	0,00067892	0,016494	0,01581508
3,0459	0,00077302	0,00077319	1,70E-07	0,00077319	0,022357	0,02158381
3,0525	0,00086555	0,00086569	1,40E-07	0,00086569	0,022976	0,02211031
3,0591	0,00095628	0,00095638	1,00E-07	0,00095638	0,01828	0,01732362
3,0657	0,0010454	0,0010454	0,00E+00	0,0010454	0,0090509	0,0080055
3,0723	0,0011333	0,0011333	0,00E+00	0,0011333	-0,0030397	0,004173
3,0789	0,0012204	0,0012203	1,00E-07	0,0012203	-0,015963	0,0171833
3,0855	0,0013072	0,0013071	1,00E-07	0,0013071	-0,027559	0,0288661
3,0932	0,0014093	0,0014091	2,00E-07	0,0014091	-0,036715	0,0381241
3,101	0,0015121	0,0015119	2,00E-07	0,0015119	-0,039109	0,0406209
3,1304	0,0019074	0,0019072	2,00E-07	0,0019072	0,0045252	0,002618
3,1374	0,0019991	0,0019989	2,00E-07	0,0019989	0,01638	0,0143811
3,1444	0,0020887	0,0020885	2,00E-07	0,0020885	0,024002	0,0219135
3,152	0,0021839	0,0021837	2,00E-07	0,0021837	0,025722	0,0235383
3,1597	0,002276	0,0022757	3,00E-07	0,0022757	0,020326	0,0180503
3,9668	0,00047805	0,00047828	2,30E-07	0,00047828	0,0224	0,02192172
3,9731	0,00039386	0,00039409	2,30E-07	0,00039409	0,010359	0,00996491
3,9795	0,00030734	0,00030757	2,30E-07	0,00030757	-0,0025403	0,00284787
3,986	0,00022127	0,0002215	2,30E-07	0,0002215	-0,013884	0,0141055
3,9924	0,00013613	0,00013637	2,40E-07	0,00013637	-0,021886	0,02202237
3,9989	5,23E-05	5,25E-05	2,55E-07	5,25E-05	-0,025301	0,025353513
4,0056	-3,31E-05	-3,28E-05	2,75E-07	-3,28E-05	-0,023367	0,023334217
4,0122	-0,00011689	-0,00011659	3,00E-07	-0,00011659	-0,016299	0,01618241
4,1771	-0,0020703	-0,00207	3,00E-07	-0,00207	-0,0015634	0,0005066
4,1839	-0,0021438	-0,0021435	3,00E-07	-0,0021435	-0,014348	0,0122045
4,1908	-0,0022154	-0,0022151	3,00E-07	-0,0022151	-0,024072	0,0218569
4,1983	-0,0022922	-0,0022918	4,00E-07	-0,0022918	-0,029106	0,0268142
4,2059	-0,0023657	-0,0023654	3,00E-07	-0,0023654	-0,027137	0,0247716
4,2134	-0,002436	-0,0024357	3,00E-07	-0,0024357	-0,018614	0,0161783
4,221	-0,0025037	-0,0025034	3,00E-07	-0,0025034	-0,0054131	0,0029097
4,7467	-0,0026943	-0,0026941	2,00E-07	-0,0026941	0,025357	0,0280511
4,7524	-0,0026468	-0,0026466	2,00E-07	-0,0026466	0,025523	0,0281696
4,7582	-0,0025997	-0,0025995	2,00E-07	-0,0025995	0,021586	0,0241855
4,764	-0,0025527	-0,0025525	2,00E-07	-0,0025525	0,014038	0,0165905
4,7698	-0,0025057	-0,0025054	3,00E-07	-0,0025054	0,0039066	0,006412
4,7756	-0,0024582	-0,0024579	3,00E-07	-0,0024579	-0,0075096	0,0050517
4,7814	-0,00241	-0,0024097	3,00E-07	-0,0024097	-0,018749	0,0163393

ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ	1.HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ	2.HATA
4,7872	-0,0023606	-0,0023603	3,00E-07	-0,0023603	-0,028337	0,0259767
4,793	-0,0023097	-0,0023094	3,00E-07	-0,0023094	-0,03497	0,0326606
4,7988	-0,0022572	-0,0022569	3,00E-07	-0,0022569	-0,037788	0,0355311
4,8046	-0,0022031	-0,0022027	4,00E-07	-0,0022027	-0,036432	0,0342293
4,9344	-0,0008668	-0,00086639	4,10E-07	-0,00086639	0,012961	0,01382739
4,941	-0,00079361	-0,0007932	4,10E-07	-0,0007932	0,022026	0,0228192
4,9476	-0,00072144	-0,00072105	3,90E-07	-0,00072105	0,026516	0,02723705
4,9542	-0,00065051	-0,00065011	4,00E-07	-0,00065011	0,025711	0,02636111
4,9601	-0,00058726	-0,00058688	3,80E-07	-0,00058688	0,020469	0,02105588
4,9661	-0,00052485	-0,00052447	3,80E-07	-0,00052447	0,011729	0,01225347
4,972	-0,00046298	-0,00046262	3,60E-07	-0,00046262	0,00068764	0,00115026
4,978	-0,00040129	-0,00040095	3,40E-07	-0,00040095	-0,011145	0,01074405
4,9835	-0,00034418	-0,00034386	3,20E-07	-0,00034386	-0,021308	0,02096414
4,989	-0,00028659	-0,00028628	3,10E-07	-0,00028628	-0,029492	0,02920572
4,9945	-0,0002283	-0,000228	3,00E-07	-0,000228	-0,034735	0,034507
5	-0,00016916	-0,00016887	2,90E-07	-0,00016887	-0,036424	0,03625513

**Tablo 4.11** Şekil 4.29’da Tasarlanan Yapay Sinir Ağının Eğitimi Sonucunda Elde Edilen Nümerik Değerler



**Şekil 4.33** 4.2.1 Sisteminin Sinüzoidal Giriş İşaretine Karşılık Birinci Çıkışın Cevabı — ve Birinci Model Ağ Cevabı — , Sistemin Sinüzoidal Giriş İşaretine Karşılık İkinci Çıkışın Cevabı — ve İkinci Model Ağ Cevabı —

Ağın genellenme özelliğini göstermek için basamak işareti ile ağ test edilmiştir. Bu test için ornek4\_t dosyası yazılmış ve yapay sinir ağının girişine uygulanmıştır. Yapay sinir ağının testi başarı ile geçtiği görülmüştür. Sonuçlar tablo 4.12’de nümerik, şekil 4.36’da grafik olarak karşılaştırılmıştır.

```

File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 function d=ornek4_t(t,y)
2 V=1;
3 d=[y(2);
4     (-0.4*y(2)-4.905*sin(y(1))+0.5*cos(y(1))*(y(1)-y(3)))*2;
5     y(4);
6     (V-0.4*y(4)-4.905*sin(y(3))-0.5*cos(y(3))*(y(3)-y(1)))*2];
[Navigation]
ornek4_t Ln 6 Col 62 OVR

```

Şekil 4.34 Ornek4\_t Dosyası

```

File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 [t,y]=ode45('ornek4_t',[0 5],[0 0 0 0]);
2 by=size(y,1);
3 V=1*ones(1,by);
4
5 x1=[0 y(2:by,2)']; x2=[0 0 y(3:by,2)'];
6 x3=[0 y(2:by,4)']; x4=[0 0 y(3:by,4)']; x=[x1;x2;x3;x4;V];
7
8
9 ym=sim(net,x);
10
11 figure
12 plot(t,y(:,2),'r',t,ym(1,:),'b',t,y(:,4),'m',t,ym(2,:),'g');
[Navigation]
script Ln 14 Col 1 OVR

```

Şekil 4.35 Yapay Sinir Ağının Testi İçin Yazılmış Program

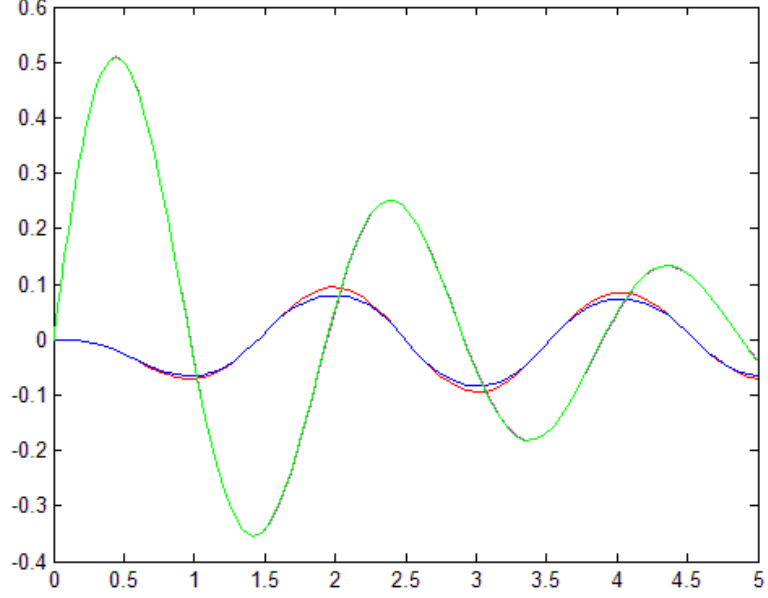
ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ	1.HATA	2.ÇIKIŞ(Y2)	2.YSA ÇIKIŞ	2.HATA
0	0	3,03E-07	3,03E-07	0	-2,09E-08	2,09E-08
2,51E-05	-5,28E-15	2,99E-07	2,99E-07	5,02E-05	5,02E-05	9,00E-09
5,02E-05	-4,23E-14	3,03E-07	3,03E-07	0,0001	0,0001	2,00E-08
7,54E-05	-1,43E-13	3,03E-07	3,03E-07	0,000151	0,000151	2,00E-08
0,0001	-3,38E-13	3,03E-07	3,03E-07	0,000201	0,000201	2,00E-08
0,000226	-3,85E-12	3,04E-07	3,04E-07	0,000452	0,000452	3,00E-08
0,000352	-1,45E-11	3,04E-07	3,04E-07	0,000703	0,000703	3,00E-08
0,000477	-3,62E-11	3,05E-07	3,05E-07	0,000954	0,000954	3,00E-08
0,000603	-7,30E-11	3,05E-07	3,05E-07	0,001205	0,001205	0
0,001231	-6,21E-10	3,06E-07	3,07E-07	0,00246	0,00246	0
0,001859	-2,14E-09	3,06E-07	3,09E-07	0,003715	0,003715	1,00E-07
0,002487	-5,12E-09	3,05E-07	3,10E-07	0,004969	0,004968	1,00E-07
0,003115	-1,01E-08	3,02E-07	3,12E-07	0,006222	0,006222	1,00E-07
0,006255	-8,13E-08	2,40E-07	3,21E-07	0,012477	0,012477	0
0,009395	-2,75E-07	5,33E-08	3,29E-07	0,018716	0,018715	1,00E-06
0,012534	-6,53E-07	-3,18E-07	3,35E-07	0,024936	0,024936	0
0,015674	-1,28E-06	-9,35E-07	3,40E-07	0,031139	0,031138	1,00E-06
0,031373	-1,01E-05	-9,80E-06	3,39E-07	0,061856	0,061856	0
0,047073	-3,40E-05	-3,37E-05	3,02E-07	0,092027	0,092026	1,00E-06
0,062772	-8,01E-05	-7,98E-05	2,40E-07	0,12158	0,12158	0
0,078471	-0,00016	-0,00016	1,50E-07	0,15044	0,15043	1,00E-05
0,10403	-0,00036	-0,00036	8,00E-08	0,19577	0,19575	2,00E-05
0,12959	-0,00068	-0,00068	4,60E-07	0,23882	0,23877	5,00E-05
0,15515	-0,00114	-0,00114	1,00E-06	0,27932	0,27923	9,00E-05
0,18071	-0,00177	-0,00177	1,70E-06	0,31706	0,31692	0,00014
0,21012	-0,00272	-0,00273	2,70E-06	0,35679	0,35657	0,00022
0,23954	-0,00394	-0,00394	3,40E-06	0,39231	0,392	0,00031
0,26896	-0,00543	-0,00543	3,50E-06	0,42337	0,42298	0,00039
0,29838	-0,0072	-0,00721	1,70E-06	0,44981	0,44932	0,00049
0,33387	-0,00973	-0,00973	5,70E-06	0,47536	0,47478	0,00058
0,36937	-0,01267	-0,01265	2,30E-05	0,49385	0,49318	0,00067
0,40486	-0,016	-0,01594	5,90E-05	0,50521	0,50449	0,00072
0,44036	-0,01969	-0,01957	1,20E-04	0,50953	0,50878	0,00075
0,48114	-0,02431	-0,02408	2,38E-04	0,506	0,50524	0,00076
0,52192	-0,02926	-0,02884	4,22E-04	0,49376	0,49301	0,00075
0,5627	-0,03444	-0,03374	6,92E-04	0,47332	0,47259	0,00073
0,60348	-0,03972	-0,03867	1,06E-03	0,44533	0,44461	0,00072

ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ	1.HATA	2.ÇIKIŞ(Y2)	2.YSA ÇIKIŞ	2.HATA
0,65493	-0,04635	-0,0447	1,65E-03	0,40041	0,39969	0,00072
0,70639	-0,0527	-0,05032	2,38E-03	0,3464	0,34562	0,00078
0,75784	-0,05847	-0,0553	3,17E-03	0,28516	0,28428	0,00088
0,80929	-0,06341	-0,05946	3,95E-03	0,21864	0,21761	0,00103
0,87164	-0,06795	-0,06322	4,72E-03	0,13378	0,1326	0,00118
0,93399	-0,0705	-0,06536	5,13E-03	0,047655	0,046376	0,001279
0,99634	-0,07074	-0,06568	5,05E-03	-0,0363	-0,03758	0,001273
1,0587	-0,06847	-0,064	4,46E-03	-0,11503	-0,11616	0,00113
1,1149	-0,0642	-0,06063	3,57E-03	-0,17923	-0,18012	0,00089
1,1711	-0,05783	-0,05532	2,51E-03	-0,23514	-0,23571	0,00057
1,2272	-0,04944	-0,04798	1,46E-03	-0,28128	-0,28153	0,00025
1,2834	-0,03921	-0,03857	6,41E-04	-0,3166	-0,31658	2,00E-05
1,3473	-0,02568	-0,02555	1,24E-04	-0,34276	-0,34257	0,00019
1,4112	-0,01056	-0,01056	2,00E-06	-0,35351	-0,35327	0,00024
1,4751	0,005568	0,005572	3,30E-06	-0,34897	-0,34874	0,00023
1,539	0,022083	0,021696	3,87E-04	-0,32999	-0,32971	0,00028
1,6127	0,04072	0,038835	1,89E-03	-0,29209	-0,2915	0,00059
1,6863	0,057927	0,053311	4,62E-03	-0,23983	-0,23862	0,00121
1,76	0,072709	0,064553	8,16E-03	-0,17679	-0,17473	0,00206
1,8336	0,084207	0,072528	1,17E-02	-0,10702	-0,1041	0,00292
1,8993	0,091128	0,07705	1,41E-02	-0,04255	-0,03903	0,003523
1,965	0,094505	0,079263	1,52E-02	0,020884	0,024713	0,003829
2,0307	0,094111	0,079204	1,49E-02	0,080462	0,084216	0,003754
2,0964	0,089924	0,076797	1,31E-02	0,13376	0,13706	0,0033
2,1501	0,083782	0,072946	1,08E-02	0,17122	0,17394	0,00272
2,2037	0,075339	0,067216	8,12E-03	0,20217	0,20419	0,00202
2,2574	0,06481	0,059433	5,38E-03	0,22591	0,22722	0,00131
2,3111	0,052481	0,049494	2,99E-03	0,24203	0,24273	0,0007
2,364	0,038915	0,037642	1,27E-03	0,2503	0,25056	0,00026
2,4168	0,024294	0,023993	3,01E-04	0,25106	0,25108	2,00E-05
2,4697	0,009012	0,009012	4,00E-07	0,24457	0,24452	5,00E-05
2,5225	-0,00652	-0,00652	8,00E-07	0,2313	0,23126	4,00E-05
2,5798	-0,02315	-0,023	1,53E-04	0,21003	0,20997	6,00E-05
2,6371	-0,03905	-0,03819	8,63E-04	0,18258	0,18235	0,00023
2,6943	-0,05372	-0,05139	2,33E-03	0,15011	0,14953	0,00058
2,7516	-0,06669	-0,06225	4,44E-03	0,11391	0,1128	0,00111
2,8133	-0,07833	-0,07127	7,06E-03	0,072214	0,070454	0,00176



ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ	1.HATA	2.ÇIKIŞ(Y2)	2.YSA ÇIKIŞ	2.HATA
3,3519	-0,04777	-0,0464	1,37E-03	-0,18102	-0,18135	0,00033
3,4149	-0,03152	-0,0312	3,20E-04	-0,18037	-0,18044	7,00E-05
3,478	-0,0143	-0,01429	1,00E-05	-0,1725	-0,17249	1,00E-05
3,5529	0,006527	0,006529	1,30E-06	-0,15462	-0,15461	1,00E-05
3,6279	0,026662	0,02611	5,52E-04	-0,12883	-0,12868	0,00015
3,7028	0,045024	0,04277	2,25E-03	-0,09693	-0,09637	0,000561
3,7778	0,060686	0,055761	4,93E-03	-0,06103	-0,0598	0,001226
3,8399	0,071065	0,063668	7,40E-03	-0,02985	-0,028	0,001847
3,902	0,0787	0,069124	9,58E-03	0,001273	0,003673	0,002401
3,9641	0,083345	0,072313	1,10E-02	0,031103	0,033876	0,002773
4,0262	0,084891	0,073393	1,15E-02	0,05855	0,061445	0,002895
4,0793	0,083763	0,072707	1,11E-02	0,079375	0,08216	0,002785
4,1323	0,080435	0,070528	9,91E-03	0,097232	0,099729	0,002497
4,1853	0,07503	0,066807	8,22E-03	0,11171	0,11378	0,00207
4,2383	0,067725	0,061482	6,24E-03	0,12251	0,12409	0,00158
4,3031	0,056561	0,052736	3,83E-03	0,1305	0,13147	0,00097
4,6019	-0,0116	-0,01159	7,00E-06	0,096604	0,096603	1,00E-06
4,6541	-0,02346	-0,02332	1,39E-04	0,081215	0,081182	3,30E-05
4,7063	-0,03451	-0,03398	5,31E-04	0,064115	0,063987	0,000128
4,763	-0,04527	-0,04398	1,29E-03	0,044202	0,043886	0,000316
4,8197	-0,05444	-0,05214	2,30E-03	0,023579	0,023009	0,00057
4,9332	-0,06706	-0,06274	4,32E-03	-0,01708	-0,01816	0,001086
4,9499	-0,06822	-0,06367	4,55E-03	-0,02276	-0,0239	0,001142
4,9666	-0,06918	-0,06445	4,74E-03	-0,02831	-0,02951	0,001192
4,9833	-0,06996	-0,06507	4,89E-03	-0,03373	-0,03497	0,001232
5	-0,07055	-0,06554	5,01E-03	-0,039	-0,04026	0,001262

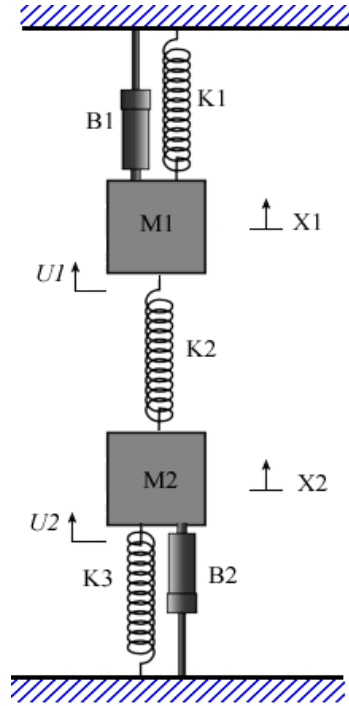
**Tablo 4.12** Şekil 4.29’da Tasarlanan Yapay Sinir Ağının Testi Sonucunda Elde Edilen Nümerik Değerler



**Şekil 4.36** 4.2.1 Sisteminin Basamak Giriş İşaretine Karşılık Birinci Çıkışın Cevabı \_\_\_ ve Birinci Çıkışın Model Ağ Cevabı \_\_\_, Sistemin Birim Basamak Giriş İşaretine Karşılık İkinci Çıkışın Cevabı \_\_\_ ve İkinci Çıkışın Model Ağ Cevabı \_\_\_

Bu çalışmada yapay sinir ağının eğitiminden sonra birinci çıkış için hata yaklaşık olarak  $3,32E-07$  başarı yüzdesinin %99.99, ikinci çıkış için hata yaklaşık olarak  $1,94227E-07$  başarı yüzdesinin %99.99, testinden sonra birinci çıkış için hata yaklaşık olarak  $0,00320966$  başarı yüzdesinin %94.16, ikinci çıkış için hata yaklaşık olarak  $0,000875772$  başarı yüzdesinin %99.94 olduğu görülmüştür.

#### 4.2.2. Linear Olmayan Yay ve Damper ile Bağlanmış Kütle Sistemi



Şekil 4.37 Linear Olmayan Yay ve Damper ile Bağlanmış Kütle Sistemi

Şekil 4.37’de gösterildiği gibi bu çalışmada iki adet kütle  $F = K_1 X + K_0 X^3$  şeklinde davranış gösteren lineer olmayan yay ve damper ile birbirine bağlanarak elde edilmiş mekanik bir sistem incelenmiştir. Bu mekanik sisteme Newton yasaları uygulanmış ve gerekli işlemler yapılarak aşağıdaki

$$U_1(t) = M_1 \frac{d^2 X_1(t)}{dt^2} + \beta_1 \frac{dX_1(t)}{dt} + K_1 X(t) + K_{1n} X_1^3 + K_2 (X_1 - X_2) + K_{2n} (X_1^3 - X_2^3) \quad (4.9)$$

$$U_2(t) = M_2 \frac{d^2 X_2(t)}{dt^2} + \beta_2 \frac{dX_2(t)}{dt} + K_3 X_2(t) + K_{3n} X_2^3 + K_2 (X_2 - X_1) + K_{2n} (X_2^3 - X_1^3)$$

diferansiyel denklem takımı elde edilmiştir.

$$M_1 = 2\text{kg}, M_2 = 2\text{kg}, K_1 = 20\text{N/m}, K_2 = 20\text{N/m}, K_3 = 20\text{N/m}$$

$$K_n = 2\text{N/m}, \beta = 40\text{N-s/m}$$

Burada gerekli kütle, yay sabiti ve damper sabiti yerine yazılarak

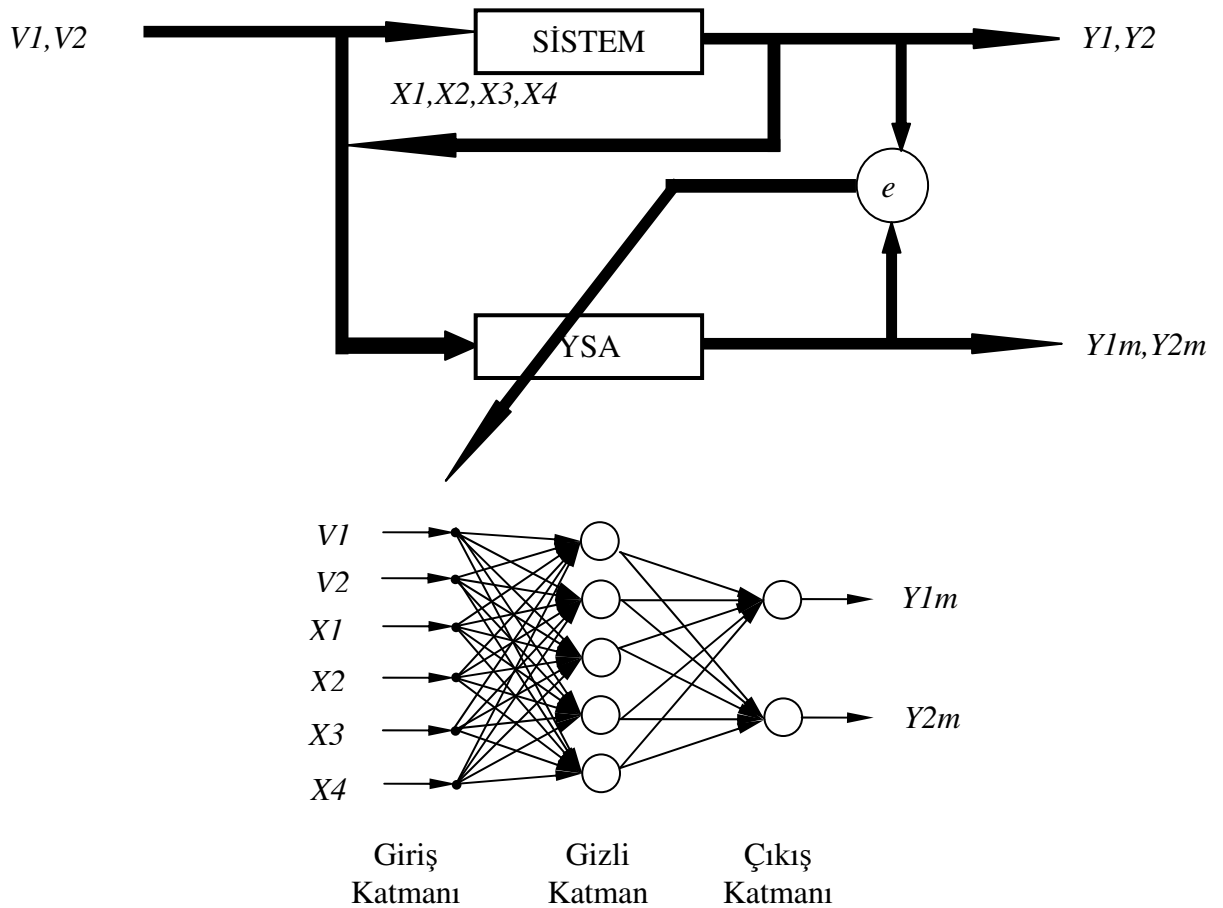
$$U_1(t) = 2 \frac{d^2 X_1(t)}{dt^2} + 40 \frac{dX_1(t)}{dt} + 20X_1(t) + 2X_1^3 + 20(X_1 - X_2) + 2(X_1^3 - X_2^3)$$

(4.10)

$$U_2(t) = 2 \frac{d^2 X_2(t)}{dt^2} + 40 \frac{dX_2(t)}{dt} + 20X_2(t) + 2X_2^3 + 20(X_2 - X_1) + 2(X_2^3 - X_1^3)$$

diferansiyel denklem takımı elde edilmiştir.

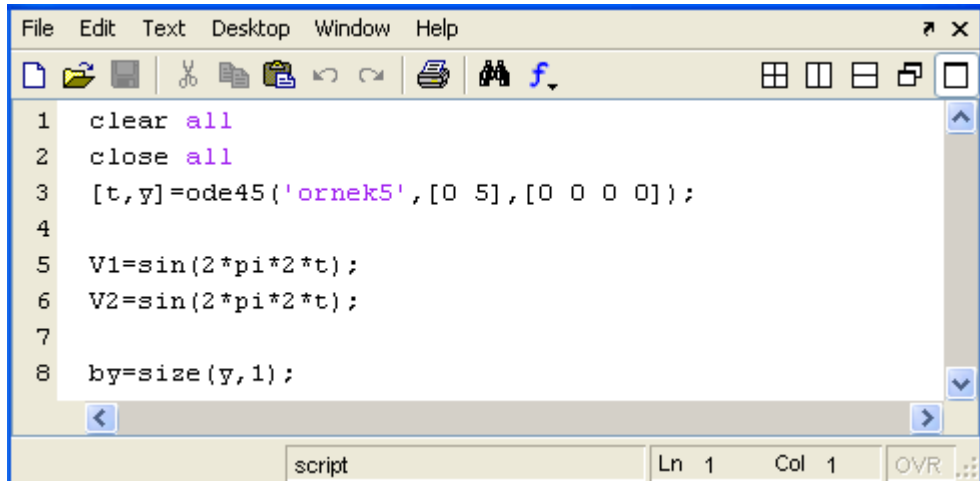
Sistemi yapay sinir ağı ile modellemek için şekil 4.38'de gösterilen ileri beslemeli, eğitici öğrenme yöntemini kullanan yapay sinir ağı yapısı tasarlanmıştır.



Şekil 4.38 Yapay Sinir Ağ Yapısı

Şekil 4.38’de gösterilen ağ yapısında  $V1$  ile birinci giriş işareti,  $V2$  ile ikinci giriş işareti,  $Y1$  ile birinci çıkış işareti,  $Y2$  ile ikinci çıkış işareti,  $X1$  ile birinci çıkış işaretinin bir gecikmiş değeri,  $X2$  ile birinci çıkış işaretinin iki gecikmiş değeri,  $X3$  ile ikinci çıkış işaretinin bir gecikmiş değeri,  $X4$  ile ikinci çıkış işaretinin iki gecikmiş değeri,  $Y1m$  ile yapay sinir ağının birinci çıkışı ve  $Y2m$  ile yapay sinir ağının ikinci çıkışı gösterilmiştir.

Girişe sinüzoidal işaret uygulanmış ve diferansiyel denklem takımı [0 5] zaman aralığında başlangıç koşulları sıfır kabul edilerek nümerik yöntemler ile çözülmüştür. Bu çözüm için şekil 4.39’daki Matlab programı yazılmıştır.



```
File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 clear all
2 close all
3 [t,y]=ode45('ornek5',[0 5],[0 0 0 0]);
4
5 V1=sin(2*pi*2*t);
6 V2=sin(2*pi*2*t);
7
8 by=size(y,1);
script Ln 1 Col 1 OVR
```

**Şekil 4.39** Nümerik Çözüm İçin Yazılan Matlab Programı

Bu programda ode45 fonksiyonu ile şekil 4.40’ta gösterilen ornek5 dosyasındaki diferansiyel denklem takımı [0 5] zaman aralığında dört adımlı Runge-Kutta yöntemi ile çözümlenerek nümerik değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu nümerik değerler tablo 4.13’te gösterilmiştir.

```

File Edit Text Desktop Window Help
function d=ornek5(t,y)
V1=sin(2*pi*2*t);
V2=sin(2*pi*2*t);
d=[y(2);
(V1-40*y(2)-20*y(1)-2*y(1)^3-20*(y(1)-y(3))-2*(y(1)^3-y(3)^3))/2;
y(4);
(V2-40*y(4)-20*y(3)-2*y(3)^3-20*(y(3)-y(1))-2*(y(3)^3-y(1)^3))/2 ];

```

Şekil 4.40 Ornek5 Dosyası

ZAMAN (t)	1.GİRİŞ (V1)	2.GİRİŞ (V2)	1.ÇIKIŞ (Y1)	2.ÇIKIŞ (Y2)
0	0	0	0	0
0,006683	0,083883	0,083883	0,00013386	0,00013386
0,013366	0,16717	0,16717	0,00051258	0,00051258
0,020049	0,24929	0,24929	0,001103	0,001103
0,026732	0,32964	0,32964	0,0018732	0,0018732
0,033415	0,40768	0,40768	0,0027936	0,0027936
0,040098	0,48284	0,48284	0,0038374	0,0038374
0,046781	0,55459	0,55459	0,004979	0,004979
0,053464	0,62244	0,62244	0,006194	0,006194
0,063036	0,71185	0,71185	0,0080163	0,0080163
0,072607	0,79098	0,79098	0,0098813	0,0098813
0,42786	-0,78739	-0,78739	-0,022225	-0,022225
0,44075	-0,67765	-0,67765	-0,021476	-0,021476
0,45364	-0,55017	-0,55017	-0,020186	-0,020186
0,46588	-0,41576	-0,41576	-0,018504	-0,018504
0,47812	-0,27154	-0,27154	-0,016402	-0,016402
1,0094	0,11818	0,11818	-0,0092957	-0,0092957
1,0215	0,26718	0,26718	-0,0062067	-0,0062067
1,0336	0,41001	0,41001	-0,0029852	-0,0029852
1,0457	0,54339	0,54339	0,00029094	0,00029094

ZAMAN (t)	1.GİRİŞ (V1)	2.GİRİŞ (V2)	1.ÇIKIŞ (Y1)	2.ÇIKIŞ (Y2)
1,0579	0,66553	0,66553	0,0035798	0,0035798
1,0702	0,77197	0,77197	0,0067694	0,0067694
1,0824	0,8602	0,8602	0,0097847	0,0097847
1,0946	0,92814	0,92814	0,012555	0,012555
1,1069	0,97431	0,97431	0,015026	0,015026
1,1192	0,99735	0,99735	0,017124	0,017124
1,1315	0,99669	0,99669	0,018796	0,018796
1,1438	0,97236	0,97236	0,020008	0,020008
2,0047	0,058625	0,058625	-0,010203	-0,010203
2,0167	0,20858	0,20858	-0,0071973	-0,0071973
2,0288	0,35376	0,35376	-0,004031	-0,004031
2,0408	0,49083	0,49083	-0,00078063	-0,00078063
2,053	0,61801	0,61801	0,0025123	0,0025123
2,0652	0,73072	0,73072	0,0057376	0,0057376
2,0774	0,82632	0,82632	0,0088202	0,0088202
2,0896	0,90257	0,90257	0,011688	0,011688
2,1024	0,95977	0,95977	0,014392	0,014392
2,1151	0,99231	0,99231	0,016716	0,016716
3,0044	0,054855	0,054855	-0,010122	-0,010122
3,0164	0,20494	0,20494	-0,0071202	-0,0071202
3,0285	0,35033	0,35033	-0,0039567	-0,0039567
3,0405	0,48769	0,48769	-0,00070716	-0,00070716
3,0527	0,61488	0,61488	0,0025776	0,0025776
3,0649	0,72775	0,72775	0,0057971	0,0057971
3,077	0,82366	0,82366	0,0088768	0,0088768
3,0892	0,90037	0,90037	0,011745	0,011745
3,766	-0,19912	-0,19912	0,0068578	0,0068578
3,7781	-0,34596	-0,34596	0,0036741	0,0036741
3,7903	-0,48473	-0,48473	0,00040068	0,00040068
3,8024	-0,61142	-0,61142	-0,0028609	-0,0028609
3,8144	-0,72405	-0,72405	-0,0060603	-0,0060603
3,8265	-0,82002	-0,82002	-0,0091243	-0,0091243
3,8386	-0,89714	-0,89714	-0,011982	-0,011982
3,8517	-0,95761	-0,95761	-0,014787	-0,014787
3,8649	-0,99196	-0,99196	-0,017191	-0,017191
3,8781	-0,99926	-0,99926	-0,019124	-0,019124
3,8912	-0,9793	-0,9793	-0,02054	-0,02054

ZAMAN (t)	1.GİRİŞ (V1)	2.GİRİŞ (V2)	1.ÇIKIŞ (Y1)	2.ÇIKIŞ (Y2)
3,9044	-0,93262	-0,93262	-0,02141	-0,02141
3,9175	-0,86051	-0,86051	-0,021698	-0,021698
3,9307	-0,76492	-0,76492	-0,021387	-0,021387
3,9439	-0,64847	-0,64847	-0,020497	-0,020497
3,9559	-0,5267	-0,5267	-0,01921	-0,01921
3,9679	-0,39297	-0,39297	-0,017489	-0,017489
3,9799	-0,25031	-0,25031	-0,015367	-0,015367
3,9919	-0,10197	-0,10197	-0,012899	-0,012899
4,0041	0,051091	0,051091	-0,010102	-0,010102
4,0163	0,20295	0,20295	-0,0070704	-0,0070704
4,0285	0,35005	0,35005	-0,0038719	-0,0038719
4,0407	0,48895	0,48895	-0,00058531	-0,00058531
4,0528	0,61576	0,61576	0,0026915	0,0026915
4,0649	0,72828	0,72828	0,0059027	0,0059027
4,0771	0,82391	0,82391	0,0089744	0,0089744
4,0892	0,90042	0,90042	0,011835	0,011835
4,1022	0,9594	0,9594	0,014606	0,014606
4,1153	0,99259	0,99259	0,01698	0,01698
4,1284	0,9991	0,9991	0,018888	0,018888
4,1414	0,97875	0,97875	0,020285	0,020285
4,1676	0,86037	0,86037	0,021427	0,021427
4,1806	0,76553	0,76553	0,021122	0,021122
4,1937	0,6501	0,6501	0,020245	0,020245
4,8025	-0,6129	-0,6129	-0,0028397	-0,0028397
4,8146	-0,72543	-0,72543	-0,0060411	-0,0060411
4,8267	-0,82125	-0,82125	-0,0091059	-0,0091059
4,8388	-0,89815	-0,89815	-0,011963	-0,011963
4,8519	-0,95817	-0,95817	-0,014758	-0,014758
4,865	-0,99216	-0,99216	-0,017152	-0,017152
4,8782	-0,99921	-0,99921	-0,019078	-0,019078
4,8913	-0,97912	-0,97912	-0,020488	-0,020488
4,9044	-0,93244	-0,93244	-0,021354	-0,021354
4,9175	-0,86043	-0,86043	-0,02164	-0,02164
4,9307	-0,76505	-0,76505	-0,021331	-0,021331
4,9438	-0,6489	-0,6489	-0,020444	-0,020444
4,9558	-0,52716	-0,52716	-0,019159	-0,019159
4,9678	-0,39345	-0,39345	-0,017439	-0,017439



ZAMAN (t)	1.GİRİŞ (V1)	2.GİRİŞ (V2)	1.ÇIKIŞ (Y1)	2.ÇIKIŞ (Y2)
4,9798	-0,2508	-0,2508	-0,015319	-0,015319
4,9918	-0,10245	-0,10245	-0,012852	-0,012852
4,9939	-0,0769	-0,0769	-0,012402	-0,012402
4,9959	-0,051295	-0,051295	-0,011945	-0,011945
4,998	-0,025656	-0,025656	-0,01148	-0,01148
5	-2,45E-15	-2,45E-15	-0,011007	-0,011007

**Tablo 4.13** (4.10) Diferansiyel Denklem Takımının Çözümünden Elde Edilen Nümerik Değerler

Ornek5 dosyasında yazılan (4.10) diferansiyel denklem takımının çözülmesi sonucu elde edilen nümerik değerler kullanılarak şekil 4.38’de gösterilen altı adet giriş hücresi, beş adet saklı katman hücresi, iki adet çıkış hücresi, saklı katman aktivasyon fonksiyonu sigmoid, çıkış katman aktivasyon fonksiyonu doğrusal olan, levenberg marquard yöntemine göre eğitilen yapay sinir ağ programı yazılmıştır. Bu program yazılırken Matlab programlama dili kullanılmıştır

```

File Edit Text Desktop Window Help
1 V1=sin(2*pi*2*t);
2 V2=sin(2*pi*2*t);
3
4 by=size(y,1);
5
6 x1=[0 y(2:by,2)']; x2=[0 0 y(3:by,2)'];
7 x3=[0 y(2:by,4)']; x4=[0 0 y(3:by,4)']; x=[x1;x2;x3;x4;V1';V2'];
8
9 net = newff(minmax(x),[5 2],{'tansig' 'purelin'},'trainlm');
10 net.inputs{1}.size=6; %giriş kaç tane ise o değer seçilir.
11 net.trainParam.show=50;
12 net.trainParam.lr = 0.01;
13 net.trainParam.epochs =1200;
14 net.trainParam.goal = 1e-12;
15 net.trainParam.perform='mse';
16 net = train(net,x,[y(:,2) y(:,4)']);
17
18 ym=sim(net,x);
19 figure
20 plot(t,y(:,2),'r',t,ym(1,:),'b',t,y(:,4),'m',t,ym(2,:),'g');
21
22

```

**Şekil 4.41** Şekil 4.38’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağı İçin Yazılmış Program

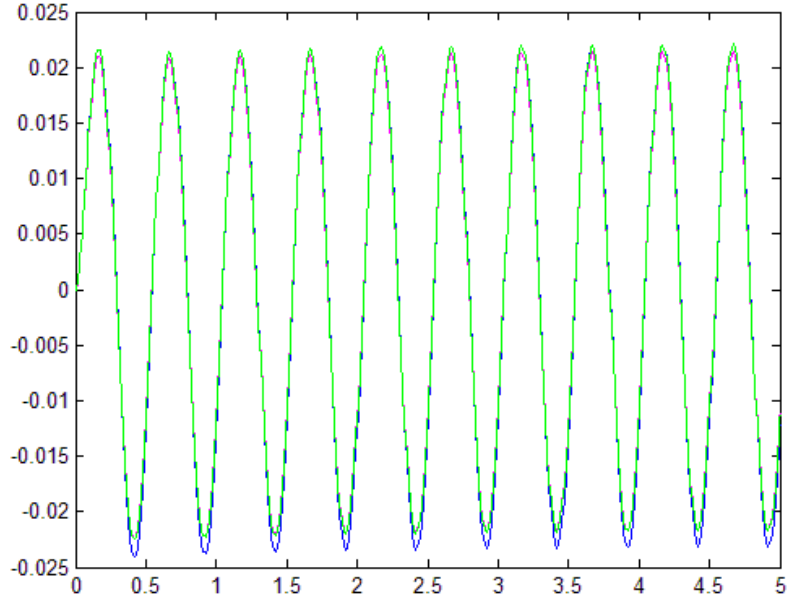
Eğitim sonucunda elde edilen ağ çıkışı ile sistemin çıkışı tablo 4.14'te nümerik Şekil 4.42'de grafik olarak karşılaştırılmıştır.

ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ (Y1m)	HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ (Y2m)	HATA
0	0	3,42E-05	3,42E-05	0	-1,18E-05	1,18E-05
0,006683	0,000134	2,22E-05	1,12E-04	0,000134	0,000158	2,42E-05
0,013366	0,000513	0,000455	5,71E-05	0,000513	0,000481	3,15E-05
0,020049	0,001103	0,00103	7,30E-05	0,001103	0,00107	3,34E-05
0,026732	0,001873	0,001801	7,21E-05	0,001873	0,001843	3,07E-05
0,033415	0,002794	0,002736	5,73E-05	0,002794	0,00277	2,38E-05
0,040098	0,003837	0,003806	3,11E-05	0,003837	0,003825	1,27E-05
0,046781	0,004979	0,004983	4,00E-06	0,004979	0,004982	2,60E-06
0,053464	0,006194	0,00624	4,55E-05	0,006194	0,006216	2,20E-05
0,063036	0,008016	0,008128	1,12E-04	0,008016	0,008073	5,69E-05
0,072607	0,009881	0,010063	1,82E-04	0,009881	0,009981	9,97E-05
0,082178	0,011733	0,011983	2,50E-04	0,011733	0,011883	0,00015
0,091749	0,01352	0,013833	3,13E-04	0,01352	0,013725	0,000205
0,10511	0,015821	0,016213	3,92E-04	0,015821	0,016111	0,00029
0,11848	0,017797	0,018253	4,56E-04	0,017797	0,018173	0,000376
0,13184	0,019354	0,019863	5,09E-04	0,019354	0,019813	0,000459
0,1452	0,020428	0,020978	5,50E-04	0,020428	0,020958	0,00053
0,16031	0,021012	0,021602	5,90E-04	0,021012	0,021605	0,000593
0,17542	0,020865	0,021492	6,27E-04	0,020865	0,021492	0,000627
1,0094	-0,0093	-0,0103	1,00E-03	-0,0093	-0,00945	0,000158
1,0215	-0,00621	-0,007	7,96E-04	-0,00621	-0,00636	0,000154
1,0336	-0,00299	-0,00357	5,87E-04	-0,00299	-0,00312	0,000137
1,0457	0,000291	-9,19E-05	3,83E-04	0,000291	0,000185	0,000106
1,0579	0,00358	0,003389	1,91E-04	0,00358	0,00352	5,95E-05
1,0702	0,006769	0,006751	1,81E-05	0,006769	0,006771	1,70E-06
1,0824	0,009785	0,009915	1,30E-04	0,009785	0,009861	7,59E-05
1,0946	0,012555	0,012809	2,54E-04	0,012555	0,012715	0,00016
1,1069	0,015026	0,015379	3,53E-04	0,015026	0,015276	0,00025
1,1192	0,017124	0,017554	4,30E-04	0,017124	0,017465	0,000341
1,1315	0,018796	0,019287	4,91E-04	0,018796	0,019224	0,000428
1,1438	0,020008	0,020545	5,37E-04	0,020008	0,020513	0,000505

ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ (Y1m)	HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ (Y2m)	HATA
1,156	0,020738	0,021314	5,76E-04	0,020738	0,021306	0,000568
1,1683	0,02096	0,021569	6,09E-04	0,02096	0,021571	0,000611
1,1806	0,020663	0,021302	6,39E-04	0,020663	0,021295	0,000632
1,1929	0,01986	0,020528	6,68E-04	0,01986	0,020492	0,000632
1,205	0,018601	0,019293	6,92E-04	0,018601	0,019208	0,000607
1,2171	0,016895	0,017605	7,10E-04	0,016895	0,017458	0,000563
1,2292	0,014777	0,015495	7,18E-04	0,014777	0,015278	0,000501
2,0047	-0,0102	-0,01125	1,05E-03	-0,0102	-0,01036	0,000156
2,0167	-0,0072	-0,00805	8,50E-04	-0,0072	-0,00735	0,000155
2,0288	-0,00403	-0,00467	6,44E-04	-0,00403	-0,00417	0,000142
2,0408	-0,00078	-0,00122	4,40E-04	-0,00078	-0,0009	0,000116
2,053	0,002512	0,002268	2,44E-04	0,002512	0,002438	7,45E-05
2,0652	0,005738	0,005671	6,64E-05	0,005738	0,00572	1,80E-05
2,0774	0,00882	0,008909	8,92E-05	0,00882	0,008873	5,23E-05
2,0896	0,011688	0,011908	2,20E-04	0,011688	0,011822	0,000134
2,1024	0,014392	0,014723	3,31E-04	0,014392	0,014619	0,000227
2,1151	0,016716	0,017133	4,17E-04	0,016716	0,017039	0,000323
2,1279	0,018595	0,019078	4,83E-04	0,018595	0,019011	0,000416
2,9172	-0,0218	-0,02332	1,53E-03	-0,0218	-0,02188	8,30E-05
2,9306	-0,02149	-0,02309	1,60E-03	-0,02149	-0,02157	8,40E-05
2,9439	-0,02059	-0,02219	1,61E-03	-0,02059	-0,02068	9,30E-05
2,956	-0,01928	-0,02086	1,57E-03	-0,01928	-0,01939	0,000105
2,9681	-0,01754	-0,01903	1,49E-03	-0,01754	-0,01766	0,00012
2,9802	-0,01539	-0,01676	1,37E-03	-0,01539	-0,01553	0,000135
2,9923	-0,0129	-0,01411	1,22E-03	-0,0129	-0,01304	0,000149
3,0044	-0,01012	-0,01116	1,03E-03	-0,01012	-0,01028	0,000155
3,0164	-0,00712	-0,00796	8,38E-04	-0,00712	-0,00727	0,000154
3,0285	-0,00396	-0,00459	6,33E-04	-0,00396	-0,0041	0,000141
3,0405	-0,00071	-0,00114	4,30E-04	-0,00071	-0,00082	0,000114
3,0527	0,002578	0,002342	2,36E-04	0,002578	0,002505	7,23E-05
3,0649	0,005797	0,005738	5,96E-05	0,005797	0,005782	1,55E-05
3,077	0,008877	0,008972	9,48E-05	0,008877	0,008932	5,50E-05
3,0892	0,011745	0,01197	2,25E-04	0,011745	0,011882	0,000137
3,102	0,014468	0,014803	3,35E-04	0,014468	0,014699	0,000231
3,1148	0,016809	0,017231	4,22E-04	0,016809	0,017138	0,000329
3,1276	0,018705	0,019192	4,87E-04	0,018705	0,019127	0,000422
3,1404	0,020111	0,020648	5,37E-04	0,020111	0,020618	0,000507

ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ (Y1m)	HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ (Y2m)	HATA
3,1533	0,021001	0,021577	5,76E-04	0,021001	0,021578	0,000577
3,1661	0,021339	0,02195	6,11E-04	0,021339	0,021966	0,000627
3,1789	0,02111	0,021752	6,42E-04	0,02111	0,021764	0,000654
3,1917	0,020329	0,021001	6,72E-04	0,020329	0,020984	0,000655
3,2038	0,019121	0,019819	6,98E-04	0,019121	0,019754	0,000633
3,2158	0,01747	0,018188	7,18E-04	0,01747	0,01806	0,00059
3,2278	0,015408	0,016137	7,29E-04	0,015408	0,015937	0,000529
3,2399	0,012989	0,013714	7,25E-04	0,012989	0,013442	0,000453
4,0041	-0,0101	-0,01113	1,03E-03	-0,0101	-0,01026	0,000155
4,0163	-0,00707	-0,0079	8,30E-04	-0,00707	-0,00722	0,000153
4,0285	-0,00387	-0,0045	6,24E-04	-0,00387	-0,00401	0,00014
4,0407	-0,00059	-0,001	4,19E-04	-0,00059	-0,0007	0,000112
4,0528	0,002692	0,002464	2,27E-04	0,002692	0,002622	6,99E-05
4,0649	0,005903	0,005851	5,19E-05	0,005903	0,00589	1,26E-05
4,0771	0,008974	0,009076	1,01E-04	0,008974	0,009033	5,82E-05
4,0892	0,011835	0,012065	2,30E-04	0,011835	0,011975	0,00014
4,1022	0,014606	0,014948	3,42E-04	0,014606	0,014843	0,000237
4,1153	0,01698	0,017407	4,27E-04	0,01698	0,017316	0,000336
4,1284	0,018888	0,01938	4,92E-04	0,018888	0,01932	0,000432
4,1414	0,020285	0,020826	5,41E-04	0,020285	0,020802	0,000517
4,8782	-0,01908	-0,0201	1,02E-03	-0,01908	-0,01918	0,000102
4,8913	-0,02049	-0,02171	1,22E-03	-0,02049	-0,02058	9,40E-05
4,9044	-0,02135	-0,02274	1,39E-03	-0,02135	-0,02144	8,70E-05
4,9175	-0,02164	-0,02315	1,51E-03	-0,02164	-0,02172	8,40E-05
4,9438	-0,02044	-0,02203	1,59E-03	-0,02044	-0,02054	9,50E-05
4,9678	-0,01744	-0,01891	1,48E-03	-0,01744	-0,01756	0,000121
4,9798	-0,01532	-0,01667	1,36E-03	-0,01532	-0,01546	0,000136
4,9918	-0,01285	-0,01406	1,20E-03	-0,01285	-0,013	0,000148
4,9939	-0,0124	-0,01358	1,18E-03	-0,0124	-0,01255	0,00015
4,9959	-0,01195	-0,01309	1,15E-03	-0,01195	-0,0121	0,000151
4,998	-0,01148	-0,0126	1,12E-03	-0,01148	-0,01163	0,000152
5	-0,01101	-0,01209	1,08E-03	-0,01101	-0,01116	0,000154

**Tablo 4.14** Şekil 4.38’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağının Eğitimi Sonucunda Elde Edilen Nümerik Değerler



**Şekil 4.42** 4.2.2 Sisteminin Sinüzoidal Giriş İşaretine Karşılık Birinci Çıkışın Cevabı — ve Birinci Model Ağ Cevabı — , Sistemin Sinüzoidal Giriş İşaretine Karşılık İkinci Çıkışın Cevabı — ve İkinci Model Ağ Cevabı —

Ağın genellenme özelliğini göstermek için basamak işareti ile ağ test edilmiştir. Bu test için ornek5\_t dosyası yazılmış ve yapay sinir ağının girişine uygulanmıştır. Yapay sinir ağının testi başarı ile geçtiği görülmüştür. Sonuçlar tablo 4.15’te nümerik, şekil 4.45’te grafik olarak karşılaştırılmıştır.

```

File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 function d=ornek5_t(t,y)
2
3 V1=1;
4 V2=1;
5
6 d=[y(2);
7     (V1-40*y(2)-20*y(1)-2*y(1)^3-20*(y(1)-y(3))-2*(y(1)^3-y(3)^3))/2;
8     y(4);
9     (V2-40*y(4)-20*y(3)-2*y(3)^3-20*(y(3)-y(1))-2*(y(3)^3-y(1)^3))/2 ];
[Navigation]
ornek5_t Ln 1 Col 1 OVR

```

**Şekil 4.43** Ornek5\_t Dosyası

```

File Edit Text Desktop Window Help
[Icons]
1 [t,y]=ode45('ornek5_t',[0 5],[0 0 0 0]);
2
3
4 by=size(y,1);
5
6 V1=1*ones(1,by);
7 V2=1*ones(1,by);
8
9 x1=[0 y(2:by,2)']; x2=[0 0 y(3:by,2)'];
10 x3=[0 y(2:by,4)']; x4=[0 0 y(3:by,4)']; x=[x1;x2;x3;x4;V1;V2];
11
12
13 ym=sim(net,x);
14
15 figure
16 plot(t,y(:,2),'r',t,ym(1,:),'b',t,y(:,4),'m',t,ym(2,:),'g');
17
script Ln 6 Col 17 OVR

```

Şekil 4.44 Yapay Sinir Ağının Testi İçin Yazılmış Program

ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ (Y1m)	HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ (Y2m)	HATA
0	0	-0,00079	0,000795	0	-0,00019	0,000188
0,0001	5,02E-05	-0,00077	0,000824	5,02E-05	-0,00012	0,000169
0,000201	0,0001	-0,00068	0,000785	0,0001	-8,69E-05	0,000187
0,000301	0,00015	-0,00063	0,000779	0,00015	-3,63E-05	0,000187
0,000402	0,0002	-0,00057	0,000774	0,0002	1,42E-05	0,000186
0,000904	0,000448	-0,0003	0,000749	0,000448	0,000265	0,000183
0,001407	0,000694	-3,10E-05	0,000725	0,000694	0,000514	0,000179
0,001909	0,000937	0,000236	0,0007	0,000937	0,000761	0,000176
0,002411	0,001177	0,000501	0,000677	0,001177	0,001005	0,000172
0,004923	0,002344	0,00178	0,000564	0,002344	0,002191	0,000153
0,007435	0,003454	0,002993	0,000461	0,003454	0,003321	0,000133
0,009947	0,004509	0,004142	0,000368	0,004509	0,004399	0,000111
0,012459	0,005513	0,00523	0,000283	0,005513	0,005425	8,75E-05

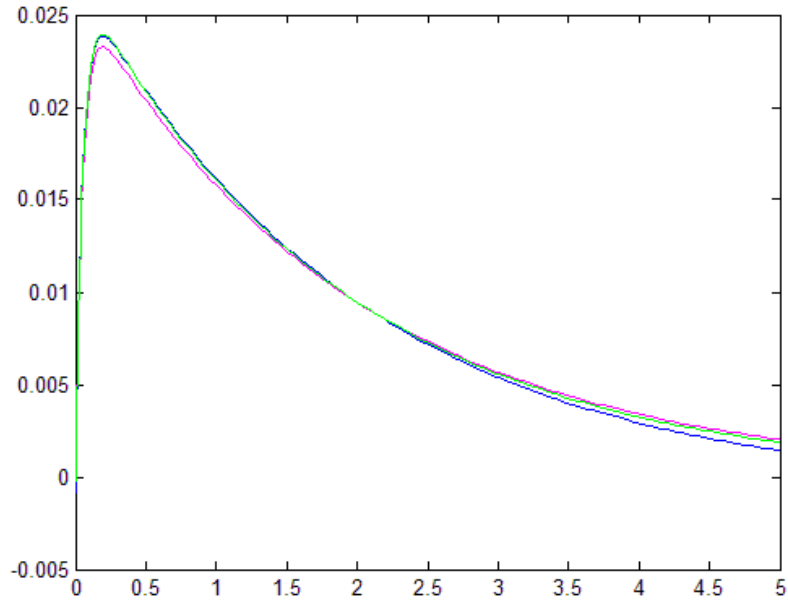
ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ (Y1m)	HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ (Y2m)	HATA
0,020243	0,008319	0,008255	6,36E-05	0,008319	0,008308	1,11E-05
0,028028	0,010715	0,010815	1,00E-04	0,010715	0,010783	6,80E-05
0,035812	0,012759	0,012981	0,000222	0,012759	0,012904	0,000145
0,043596	0,0145	0,014814	0,000314	0,0145	0,014718	0,000218
0,053117	0,016285	0,01668	0,000395	0,016285	0,016584	0,000299
0,062639	0,017746	0,018199	0,000453	0,017746	0,018118	0,000372
0,07216	0,018936	0,01943	0,000494	0,018936	0,019371	0,000435
0,081681	0,019905	0,020427	0,000522	0,019905	0,020392	0,000487
0,093022	0,020824	0,02137	0,000546	0,020824	0,021363	0,000539
0,10436	0,021532	0,022095	0,000563	0,021532	0,022113	0,000581
0,1157	0,022069	0,022642	0,000573	0,022069	0,022682	0,000613
0,12704	0,022471	0,023052	0,000581	0,022471	0,023109	0,000638
0,14038	0,022812	0,023399	0,000587	0,022812	0,023471	0,000659
0,15373	0,023038	0,023628	0,00059	0,023038	0,02371	0,000672
0,16707	0,023171	0,023764	0,000593	0,023171	0,023852	0,000681
0,18041	0,023237	0,02383	0,000593	0,023237	0,023922	0,000685
0,19626	0,023253	0,023846	0,000593	0,023253	0,023939	0,000686
0,21212	0,023214	0,023807	0,000593	0,023214	0,023898	0,000684
0,22797	0,023133	0,023724	0,000591	0,023133	0,023811	0,000678
0,24382	0,023023	0,023614	0,000591	0,023023	0,023695	0,000672
0,26308	0,022868	0,023456	0,000588	0,022868	0,02353	0,000662
0,28233	0,022692	0,023277	0,000585	0,022692	0,023343	0,000651
0,30158	0,0225	0,023081	0,000581	0,0225	0,023139	0,000639
0,32084	0,022299	0,022877	0,000578	0,022299	0,022926	0,000627
0,62837	0,019091	0,019589	0,000498	0,019091	0,019533	0,000442
0,67091	0,018676	0,019161	0,000485	0,018676	0,019096	0,00042
0,71346	0,018271	0,018742	0,000471	0,018271	0,01867	0,000399
0,76736	0,017781	0,018236	0,000455	0,017781	0,018155	0,000374
0,82127	0,017299	0,017735	0,000436	0,017299	0,017648	0,000349
0,87518	0,016815	0,017232	0,000417	0,016815	0,01714	0,000325
0,92909	0,016349	0,016747	0,000398	0,016349	0,016652	0,000303
0,96611	0,01605	0,016435	0,000385	0,01605	0,016338	0,000288
1,0031	0,015751	0,016124	0,000373	0,015751	0,016026	0,000275
1,0401	0,015451	0,01581	0,000359	0,015451	0,015711	0,00026
1,0772	0,015157	0,015503	0,000346	0,015157	0,015404	0,000247
1,1142	0,014876	0,015208	0,000332	0,014876	0,01511	0,000234

ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ (Y1m)	HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ (Y2m)	HATA
1,1882	0,014321	0,014626	0,000305	0,014321	0,014531	0,00021
1,2252	0,01405	0,014341	0,000291	0,01405	0,014248	0,000198
1,2702	0,013733	0,014008	0,000275	0,013733	0,013918	0,000185
1,3152	0,013421	0,013679	0,000258	0,013421	0,013593	0,000172
1,3602	0,013111	0,013353	0,000242	0,013111	0,01327	0,000159
1,4052	0,01281	0,013035	0,000225	0,01281	0,012956	0,000146
1,4553	0,012493	0,0127	0,000207	0,012493	0,012627	0,000134
1,5055	0,012178	0,012367	0,000189	0,012178	0,0123	0,000122
1,9999	0,009442	0,009458	1,58E-05	0,009442	0,009466	2,42E-05
2,0344	0,009275	0,00928	4,40E-06	0,009275	0,009294	1,89E-05
2,0689	0,009112	0,009105	7,10E-06	0,009112	0,009125	1,35E-05
2,1505	0,008741	0,008707	3,32E-05	0,008741	0,008742	1,90E-06
2,1913	0,008558	0,008512	4,63E-05	0,008558	0,008554	3,80E-06
2,2321	0,00838	0,008321	5,91E-05	0,00838	0,008371	9,20E-06
2,2812	0,008175	0,0081	7,41E-05	0,008175	0,008159	1,54E-05
2,7844	0,006306	0,006089	0,000218	0,006306	0,006239	6,76E-05
2,8184	0,006201	0,005975	0,000226	0,006201	0,006131	7,03E-05
2,8523	0,006096	0,005861	0,000235	0,006096	0,006023	7,30E-05
2,8863	0,005989	0,005746	0,000243	0,005989	0,005914	7,57E-05
2,9202	0,005885	0,005633	0,000252	0,005885	0,005807	7,83E-05
2,957	0,005776	0,005516	0,000261	0,005776	0,005695	8,10E-05
2,9937	0,005669	0,0054	0,00027	0,005669	0,005585	8,36E-05
3,0305	0,005563	0,005284	0,000278	0,005563	0,005476	8,62E-05
3,1127	0,005333	0,005036	0,000298	0,005333	0,005242	9,18E-05
3,1582	0,005211	0,004903	0,000308	0,005211	0,005116	9,47E-05
3,2037	0,005089	0,004771	0,000318	0,005089	0,004992	9,75E-05
3,2493	0,004971	0,004643	0,000328	0,004971	0,00487	0,0001
3,3002	0,004846	0,004507	0,000339	0,004846	0,004743	0,000103
3,3512	0,004722	0,004372	0,00035	0,004722	0,004616	0,000106
3,4022	0,004595	0,004235	0,00036	0,004595	0,004487	0,000109
3,4532	0,004474	0,004103	0,000371	0,004474	0,004362	0,000111
3,828	0,003694	0,003255	0,00044	0,003694	0,003567	0,000128
3,8723	0,00361	0,003163	0,000447	0,00361	0,003481	0,00013
3,9166	0,003529	0,003074	0,000455	0,003529	0,003397	0,000131
3,9678	0,003439	0,002977	0,000463	0,003439	0,003306	0,000133
4,0189	0,003351	0,00288	0,000471	0,003351	0,003216	0,000135



ZAMAN (t)	1.ÇIKIŞ (Y1)	1.YSA ÇIKIŞ (Y1m)	HATA	2.ÇIKIŞ (Y2)	2.YSA ÇIKIŞ (Y2m)	HATA
4,4581	0,002673	0,00214	0,000533	0,002673	0,002526	0,000148
4,5025	0,002613	0,002074	0,000539	0,002613	0,002464	0,000149
4,5469	0,002554	0,002009	0,000544	0,002554	0,002404	0,00015
4,5912	0,002496	0,001946	0,00055	0,002496	0,002345	0,000151
4,6414	0,002434	0,001878	0,000556	0,002434	0,002282	0,000152
4,7417	0,00231	0,001743	0,000567	0,00231	0,002156	0,000154
4,7919	0,00225	0,001677	0,000573	0,00225	0,002095	0,000155
4,8375	0,002201	0,001623	0,000578	0,002201	0,002045	0,000156
4,883	0,002151	0,001569	0,000582	0,002151	0,001994	0,000157
4,9286	0,002099	0,001511	0,000587	0,002099	0,001941	0,000158
4,9741	0,002048	0,001456	0,000592	0,002048	0,00189	0,000158
4,9806	0,002042	0,001449	0,000593	0,002042	0,001883	0,000159
4,9871	0,002035	0,001442	0,000593	0,002035	0,001877	0,000159
4,9935	0,002029	0,001435	0,000594	0,002029	0,00187	0,000159
5	0,002022	0,001428	0,000595	0,002022	0,001863	0,000159

**Tablo 4.15** Şekil 4.38’de Tasarlanan Yapay Sinir Ağının Testi Sonucunda Elde Edilen Nümerik Değerler



**Şekil 4.45** 4.2.2 Sisteminin Basamak Giriş İşaretine Karşılık Birinci Çıkışın Cevabı — ve Birinci Çıkışın Model Ağ Cevabı — , Sistemin Birim Basamak Giriş İşaretine Karşılık İkinci Çıkışın Cevabı — ve İkinci Çıkışın Model Ağ Cevabı —

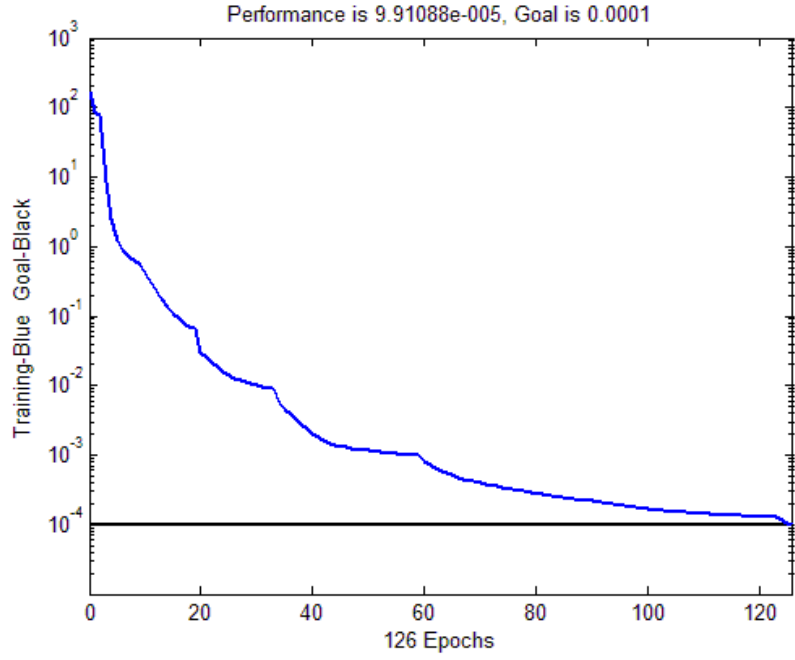
Bu çalışmada yapay sinir ağının eğitiminden sonra birinci çıkış için hata yaklaşık olarak  $7,25E-04$  başarı yüzdesinin  $\%94.95$ , ikinci çıkış için hata yaklaşık olarak  $2,28E-04$  başarı yüzdesinin  $\%95.80$ , testinden sonra birinci çıkış için hata yaklaşık olarak  $0,000394787$  başarı yüzdesinin  $\%90.60$ , ikinci çıkış için hata yaklaşık olarak  $0,000217408$  başarı yüzdesinin  $\%91.40$  olduğu görülmüştür

## SONUÇ

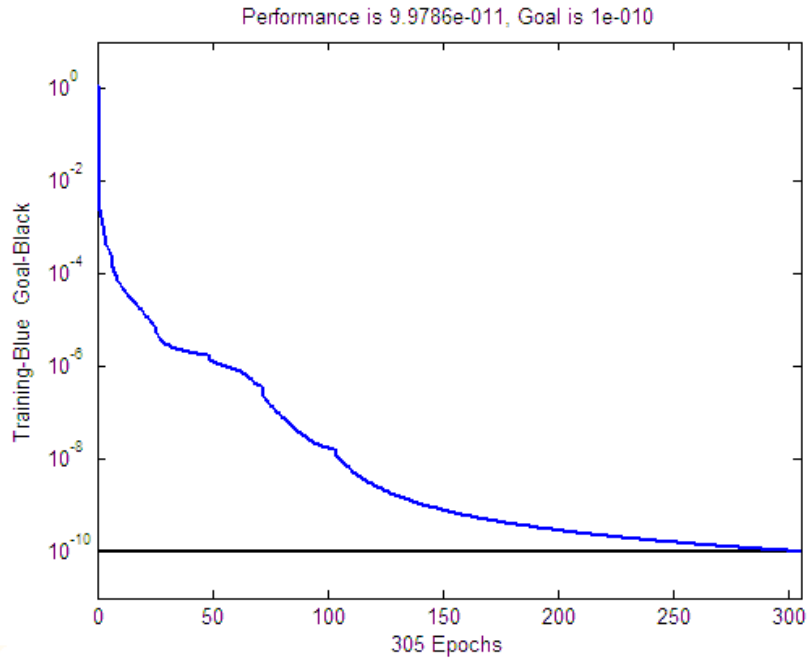
Bu tezde yapay sinir ağı ile mekanik ve elektrik sistemleri yapay sinir ağı ile modellenmiştir. Mekanik ve elektrik sistemlerin matematiksel modellerini elde etmek için gerekli kanunlar uygulanmış ve bu modellerin lineer olmayan diferansiyel denklemler veya diferansiyel denklem takımları şeklinde olduğu görülmüştür. Elde edilen bu diferansiyel denklem veya denklem takımları belli sınır aralığında başlangıç değerleri sıfır kabul edilerek nümerik yöntemler ile çözülmüştür. Bu çözüm sonucunda elde edilen veriler yapay sinir ağının eğitiminde kullanılarak ağ eğitilmiştir. Ağın eğitimini tamamlanıp tamamlanmadığını ve genelleme özelliğine sahip olduğunu göstermek için ağa eğitim için kullanılan giriş işaretinden farklı bir işaret uygulanmıştır. Bu test işlemi sonucunda ağın eğitimini tamamladığı ve genelleme özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Bu tezde birbirinden farklı özellik gösteren birden beş adet sistem incelenmiş ve bu çalışmaların sonucunda yapay sinir ağlarının lineer olmayan sistemlerin modellenmesinde etkili ve genel bir yöntem olabileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Matematiksel modelin kullanılması ile sistem çözümlerinin daha kolay olabileceği düşünülebilir fakat sistemlerin girişine uygulanacak farklı bir işaret modelleme sonucunda elde edilen diferansiyel denklem veya denklem takımını çözülmesi zor bir hale getirebileceğinden yapay sinir ağı ile elde edilecek modelin kullanılmasının daha kolay ve etkili bir yöntem olacağı görülecektir. Bu tezin hazırlanmasında ve yapay sinir ağının oluşturulmasında Matlab programlama dili ve fonksiyonları kullanılmıştır. Bu tez simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda laboratuarda kurulacak sistemlerden elde edilecek verilerin kullanılarak çalışmanın daha fiziki bir temele oturtulması sağlanabilir. Elde edilen sonuçlar simülasyon ortamında elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir.

## EKLER

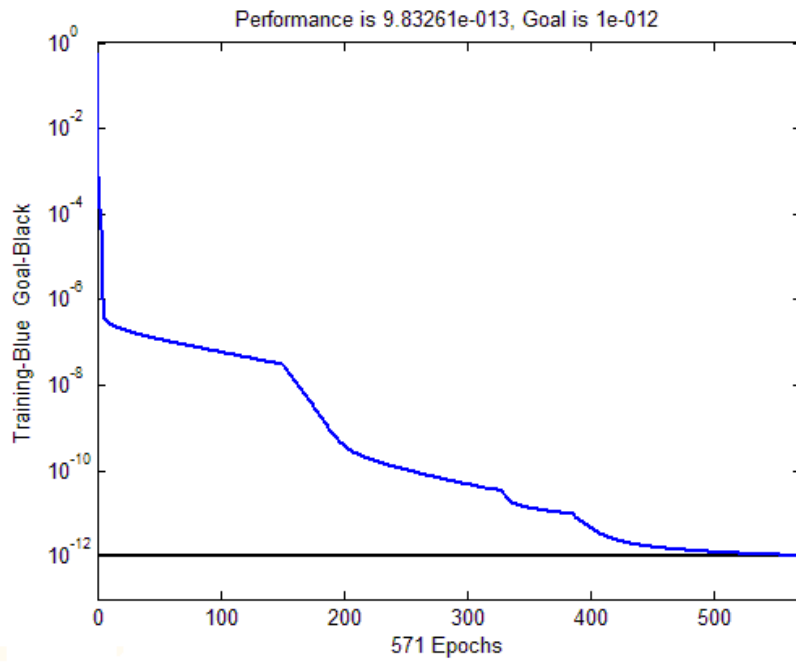
### Ek1. Yapay Sinir Ağı Eğitilirken Oluşan Hata



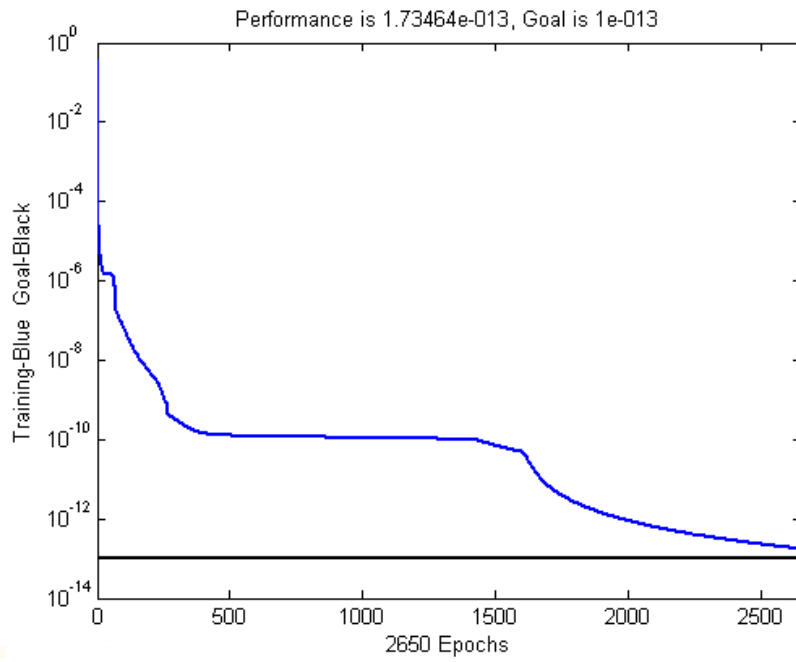
### Lineer Olmayan Dirençli Opamp Devresi



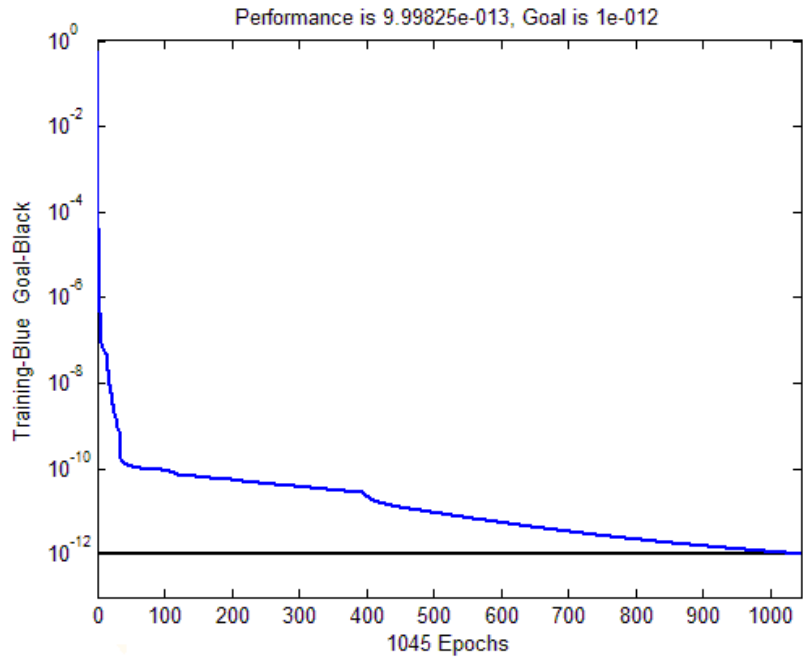
### Tünel Diyot Devresi



### Lineer Olmayan Bobinli Devre

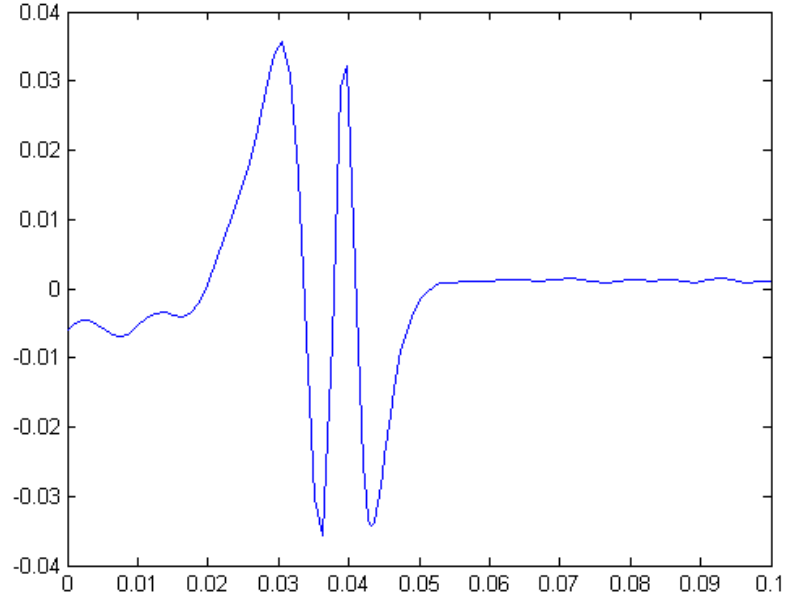


### Sarkaç Sistemi

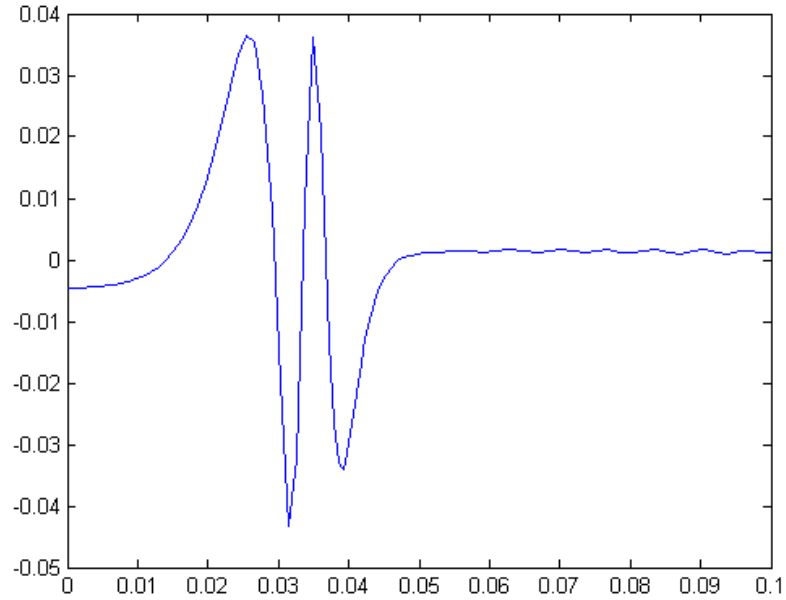


Lineer Olmayan Yay ve Damper ile Bağlanmış Kütle Sistemi

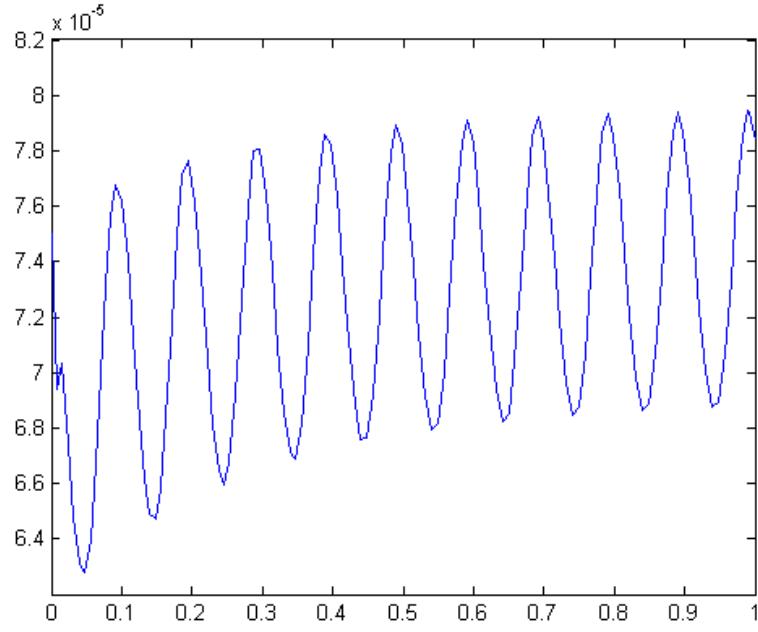
## Ek2. Sistemin Gerçek Çıkışı ile Yapay Sinir Ağının Çıkışı Arasındaki Hata



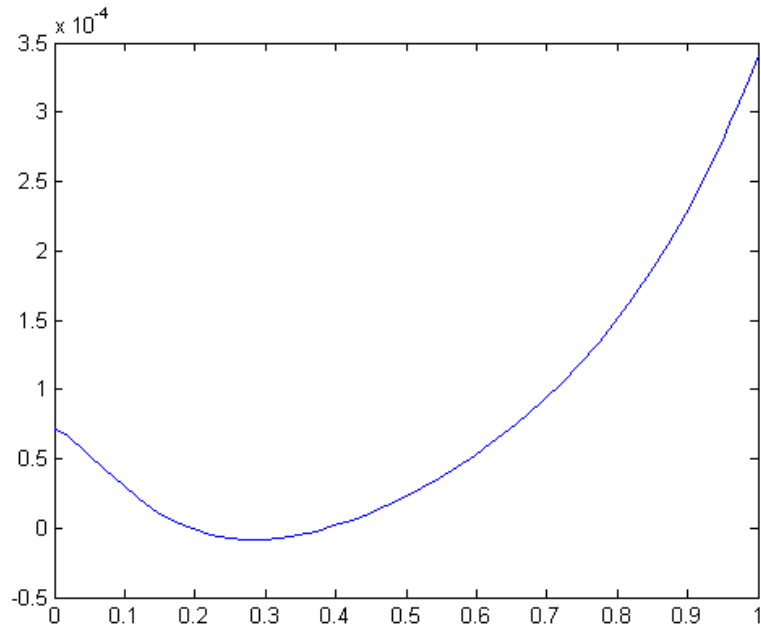
## Lineer Olmayan Dirençli Opamp Devresinin Girişine Sinüzoidal İşaret Uygulandığında Oluşan Hata\_\_



## Lineer Olmayan Dirençli Opamp Devresinin Girişine Basamak İşareti Uygulandığında Oluşan Hata\_\_

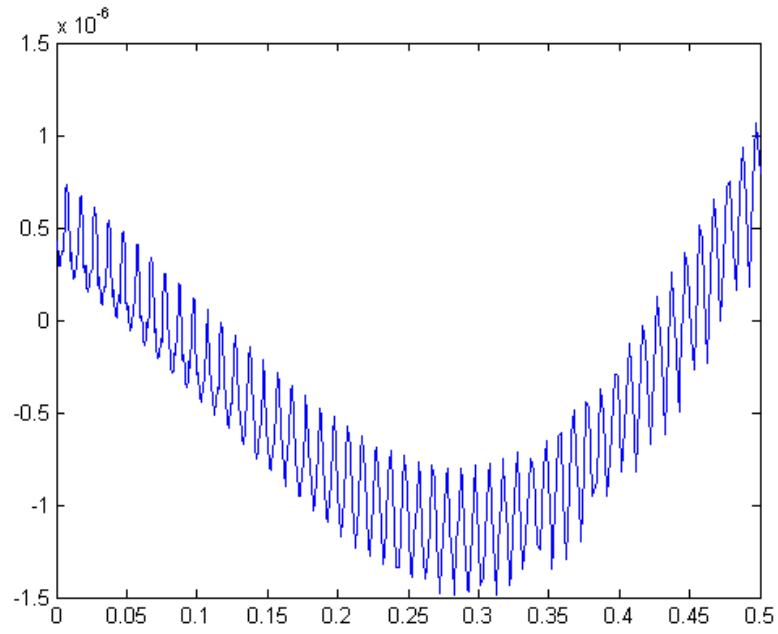


Tünel Diyot Devresinin Girişine Sinüzoidal İşaret Uygulandığında Oluşan Hata\_\_

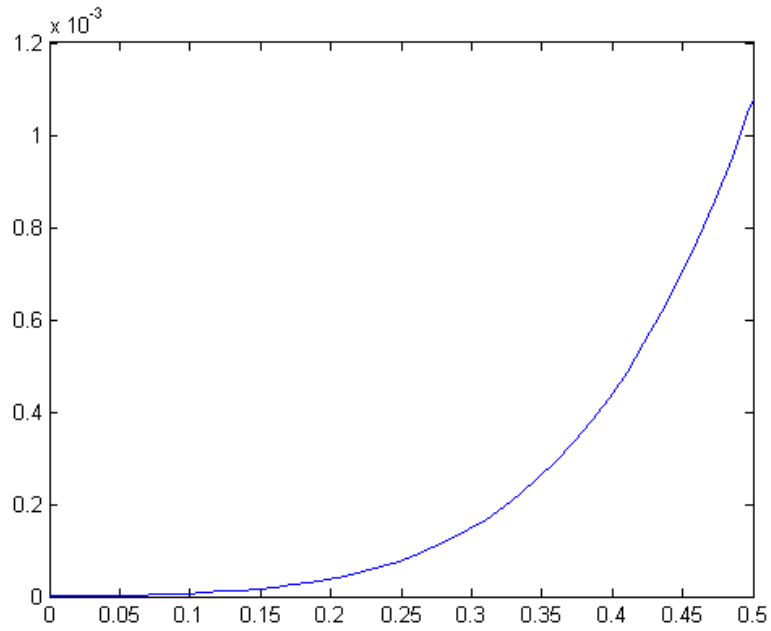


Tünel Diyot Devresinin Girişine Basamak İşareti Uygulandığında Oluşan Hata\_\_

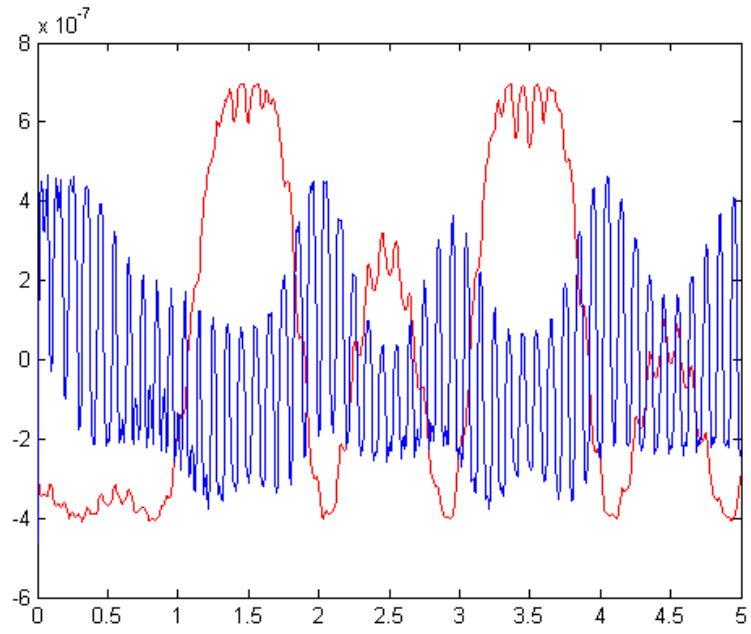




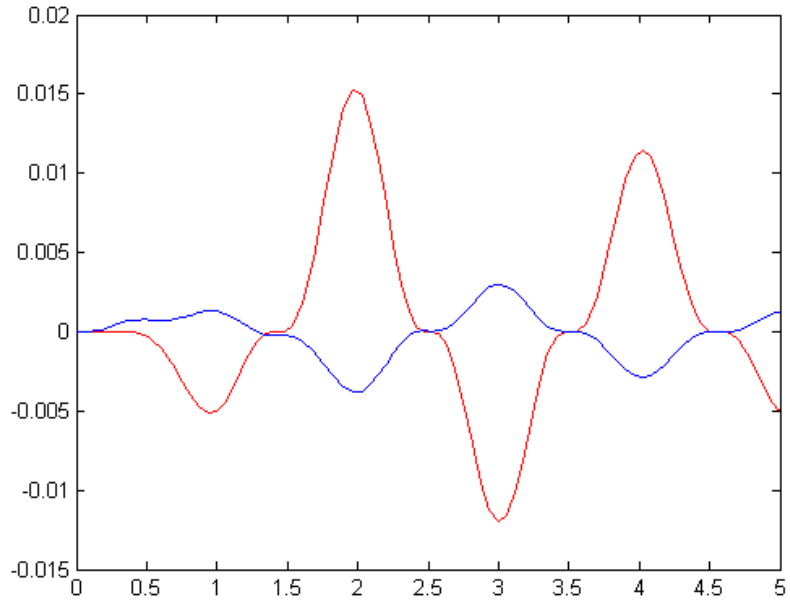
Lineer Olmayan Bobinli Devrenin Girişine Sinüzoidal İşaret Uygulandığında Oluşan Hata\_\_



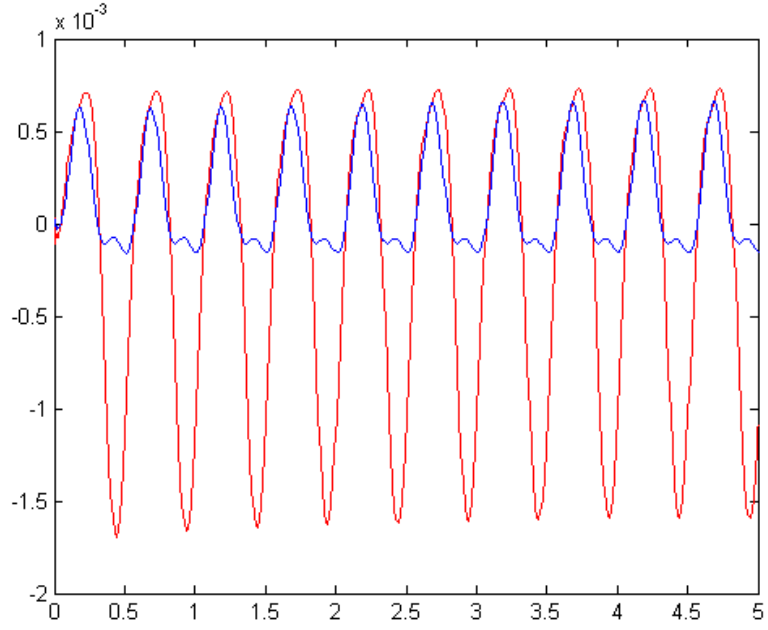
Lineer Olmayan Bobinli Devrenin Girişine Basamak İşareti Uygulandığında Oluşan Hata\_\_



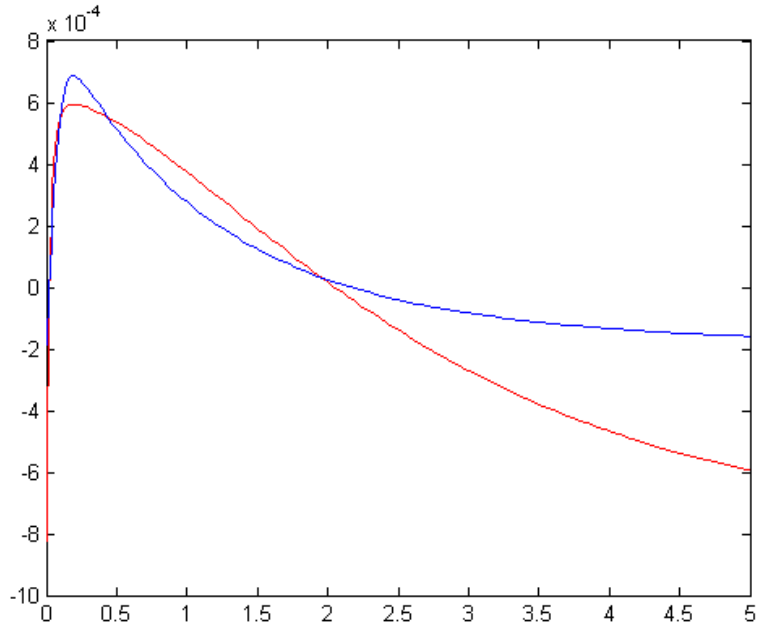
Sarkaç Sisteminin Girişine Sinüzoidal İşaret Uygulandığında Birinci Çıkış İçin Oluşan Hata\_\_ İkinci Çıkış İçin Oluşan Hata\_\_



Sarkaç Sisteminin Girişine Basamak İşareti Uygulandığında Birinci Çıkış İçin Oluşan Hata\_\_ İkinci Çıkış İçin Oluşan Hata\_\_



Lineer Olmayan Yay ve Damper ile Bağlanmış Kütle Sisteminin Girişine Sinüzoidal İşaret Uygulandığında Birinci Çıkış İçin Oluşan Hata\_\_ İkinci Çıkış İçin Oluşan Hata\_\_



Lineer Olmayan Yay ve Damper ile Bağlanmış Kütle Sisteminin Girişine Basamak İşareti Uygulandığında Birinci Çıkış İçin Oluşan Hata\_\_ İkinci Çıkış İçin Oluşan Hata\_\_

## KAYNAKLAR

- [1] CHUA, L., 1969, Nonlinear Network Theory, Mcgraw-Hill Book Company, London.
- [2] NILSSON, J. , 1994, Electrical Circuits, Addison-Wesley Publishing Company, İstanbul.
- [3] OGATA, K. , 1997, Modern Control Engineering, Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- [4] SHIGLEY, J. , 1989, Mechanical Engineering Control, Mcgraw-Hill Book Company, London.
- [5] STROGATZ, S., 1994, Nonlinear Dynamics and Chaos , Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts.
- [6] SLOTINE, J., 1988, Applied Nonlinear Control , Prentice-Hall Inc, New Jersey.
- [7] BOYLESTAD, R. , NASHELSKY, L., 1993, Electronic Circuits and Components, Prentice-Hall Inc, New Jersey
- [8] EFE, Ö., KAYNAK, O., 2000, Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [9] ELMAS, Ç., 2003, Yapay Sinir Ağları, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- [10] ELMAS, Ç., 2003, Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayınevi, Ankara.
- [11] ÖZTEMEL, E.,2003, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul
- [12] SARIOĞLU, K.,2001, Kısmi Diferansiyel Denklemler, Diyarbakır.
- [13] HALICI, U., 2004, Artificial Neural Networks, Metu, Ankara.
- [14] GÖKBULUT, M., 2000, Yapay Sinir Ağları, Fırat Üniversitesi ,Elazığ.
- [15] AVCI, E., 2006, İleri Yapay Zeka, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [16] ERTUĞRUL, F.,2005, Yapay Sinir Ağları ile Şifreleme, Yüksek Lisans Tezi , Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
- [17] YURTOĞLU, H., 2005, Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi, Dpt Uzmanlık Tezi, Ankara.
- [18] SAMAN, M., 2003, Elektrik Devrelerinin Yapay Sinir Ağları ile Tanınması ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

[19] UÇAR, A., 2000, Fuzzy-Nöral ve Yapay Sinir Ağları ile Lineer Olmayan Sistemlerin Modellenmesi ve Kontrolü , Yüksek Lisans Tezi ,Fırat Üniversitesi, Elazığ.

[20] TUNTAŞ, R., 1999, Yapay Sinir Ağları ile Lineer Olmayan Elemanların Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi,Elazığ.

[21] SARAÇ,T., 2004, Yapay Sinir Ağları, Seminer Projesi,Gazi Üniversitesi, Ankara

[22] KAPLAN, O., GÜNDOĞ, C., YÜCEL, İ., ABA,K., ÇOLAKOĞLU, O., KURBAN, R., ASLAN, M., ÖZBEK, M., Araç Plaka Tanımlama Sistemi ,Erciyes Üniversitesi, Kayseri

[23] [HTTP://WWW.ODEVSEL.COM](http://www.odevsel.com), 2008, Yapay Sinir Ağları ile Sistem Modelleme

## ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Diyarbakır Hani ilçesi Gürbüz köyünde doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Diyarbakır'da tamamladım. 1993 yılında İstanbul üniversitesi mühendislik fakültesini kazandım. 1999 yılında elektronik mühendisi olarak mezun oldum. Özel sektörde bilgisayar ağları, biyomedikal ve haberleşme şirketlerinde çalıştım. Halen özel sektörde transmisyon mühendisi olarak çalışmaktayım.