T.C

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY SİNİR AĞI TABANLI AKILLI YÖNTEMLERLE KARMAŞIK SİSTEMLERİN MODELLENMESİ

Davut HANBAY

Tez Yöneticisi

Prof. Dr. Yakup DEMİR

Yrd. Doç. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU

DOKTORA TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007

T.C.

FIRAT ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY SİNİR AĞI TABANLI AKILLI YÖNTEMLERLE KARMAŞIK SİSTEMLERİN MODELLENMESİ

Davut HANBAY

Doktora Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Anabilim Dalı

Bu tez, ... tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Yakup DEMİR

Üye : Prof. Dr. Mustafa POYRAZ

Üye : Prof. Dr. Saadetdin HERDEM

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Arif GÜLTEN

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmam boyunca, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanlarım Sayın Prof. Dr. Yakup DEMİR'e ve Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU'na, çalışmam boyunca beni sabır ve özveri ile destekleyen eşime, anneme, babama ve kardeşlerime, Tez çalışmamdaki öneri ve tezin düzenlenmesindeki yardımlarından ötürü Sayın Yrd. Doç. Dr Engin AVCI'ya, Sayın Arş. Gör. Abdulkadir ŞENGÜR'e, Sayın Arş. Gör. Korhan KAYIŞLI'ya ve bu tez çalışmam boyunca benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen değerli bölüm hocalarıma, Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümü hocalarına ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER ..... **I**
ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **IV**
TABLOLAR LİSTESİ ..... **VII**
SİMGELER LİSTESİ ..... **VIII**
KISALTMALAR LİSTESİ ..... **IX**
ÖZET ..... **X**
ABSTRACT ..... **XI**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Amaç 2
1.2. Yönelim Gerekçeleri 3
1.3. Yöntem 4
1.4. Tezin Organizasyonu 5

2. SİSTEM MODELLEME KAVRAMI VE AKILLI YÖNTEMLER **7**
2.1. Sistem Kavramı 7
2.1.1. Sistem Modelleme 10
2.2. Sistem Analiz Yöntemleri 13
2.2.1. Entropi Hesaplama Teknikleri 13
2.2.2. Dalgacık Dönüşümü 15
2.2.3. Dalgacık Paket Analizi 18
2.3. Yapay Zeka Teknikleri 19
2.3.1. Yapay Sinir Ağları 20
2.3.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Yapıları ve Öğrenme 23
2.3.2. Bulanık Mantık 27
2.3.2.1. Bulanık Sistemlerin Temel Yapısı 28
2.3.2.2. Giriş Birimi 29
2.3.2.3. Kural Tabanı 29
2.3.2.4. Çıkarım Mekanizması 30
2.3.2.5. Çıkış Birimi 31
2.3.3. Uyarlamalı Bulanık Sinir Ağ Yapısı 32
2.3.3.1. Uyarlamalı Bulanık Sinir Ağ Mimarisi 32
2.3.3.2. Uyarlamalı Bulanık Sinir Ağ İçin Geri Yayılımlı Öğrenme Algoritması 33
2.4. Karmaşık Sistemler 38

2.4.1. İndüktans 38
2.4.2. Chua Devresi 40
2.4.2.1. Boyutsuz Chua Devresi Denklemleri 41
2.4.3. Varikap Diyot 44
2.4.4. Su Yapıları (Savak Havalandırıcılar) 45
2.4.5. Atık Su Arıtma Sistemleri 47

3. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLEME 50
3.1. Su Yapılarının YSA ile Modellenmesi 51
3.1.1. Modelleme Uygulaması 52
3.2. Varikap Diyotun YSA ile Modellenmesi 54
3.2.1. Modelleme Uygulaması 55
3.3. Histerisiz Çevrimli İndüktansın YSA ile Modellenmesi 57
3.3.1. Modelleme Uygulaması 57
3.4. Chua Devresinin YSA ile Modellenmesi 59
3.4.1. Modelleme Uygulaması 60

4. UYARLAMALI BULANIK SİNİR AĞ YAPISI İLE MODELLEME 63
4.1. Su Yapılarının UBSA ile Modellenmesi 63
4.1.1. Modelleme Uygulaması 63
4.2. Varikap Diyotun UBSA ile Modellenmesi 65
4.2.1. Modelleme Uygulaması 65
4.3. Histerisiz Çevrimli İndüktansın UBSA ile Modellenmesi 67
4.3.1. Modelleme Uygulaması 67
4.4. Chua Devresinin UBSA ile Modellenmesi 70
4.4.1. Modelleme Uygulaması 70

5. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞI İLE MODELLEME 73
5.1. Su Yapılarının DD ve YSA ile Modellenmesi 73
5.1.1. Modelleme Uygulaması 73
5.2. Atık Su Arıtma Tesisinin DD ve YSA ile Modellenmesi 76
5.2.1. Modelleme Uygulaması 77
5.3. Chua Devresinin DD ve YSA ile Modellenmesi 79
5.3.1. Modelleme Uygulaması 80

6. DALGACIK PAKET DÖNÜŞÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞI İLE MODELLEME 84
6.1. Atık su Arıtma Tesisinin DPD ve YSA ile Modellenmesi 84

6.1.1. Modelleme Uygulaması 84
6.2. Chua Devresinin DPD ve YSA ile Modellenmesi..... 86
6.2.1 Modelleme Uygulaması 86

7. SONUÇLAR 90

KAYNAKLAR..... 94

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sistem denetimi ve tasarımında modelleme ve benzetim blok şeması 2
Şekil 1.2. Akıllı modelleme yapısı 5
Şekil 2.1. Sistemlerin blok gösterimi 7
Şekil 2.2. Geri beslemeli sistem 10
Şekil 2.3. Akıllı sistem ile düz modelleme yapısı 12
Şekil 2.4. Akıllı sistem ile gürültüye dayanımlı düz modelleme yapısı 12
Şekil 2.5. Akıllı sistem ile ters modelleme yapısı 13
Şekil 2.6. Entropi kavramı. a) Düşük, b) Yüksek 14
Şekil 2.7. Yaygın olarak kullanılan dalgacık örnekleri 17
Şekil 2.8. ADD ayrışım ağacı 19
Şekil 2.9. DPA ağaç yapısı 19
Şekil 2.10. Biyolojik nöronun şematik yapısı 21
Şekil 2.11. Bir YSA hücresi modeli 22
Şekil 2.12. YSA'lar için kullanılan eşik fonksiyonları 22
Şekil 2.13. Üyelik fonksiyonları ve girişlerin üyelik derecelerinin gösterimi 28
Şekil 2.14. Bir bulanık sistemin blok diyagramı 28
Şekil 2.15. Bulanık mantığın uygulama alanları 29
Şekil 2.16. 2 girişli 4 kurallı bir UBSA sınıflandırıcı yapısı 32
Şekil 2.17. Doğrusal olmayan indüktans 39
Şekil 2.18. İndüktansın φ–i (histerisiz) karakteristiği 39
Şekil 2.19. Histerisiz çevrimi oluşturmak için uygulanan gerilim ve oluşan akım ve akı işaretleri . 40
Şekil 2.20. a) Chua devresi, b) Doğrusal olmayan direncin akım gerilim karakteristiği 41
Şekil 2.21. Chua devresinden elde edilen davranışlar 42
Şekil 2.22. Chua devresinin çatallaşma diyagramı 43
Şekil 2.23. Varikap diyot eşdeğer modeli 44
Şekil 2.24. Varikap diyot gerilim-kapasite karakteristiği 45
Şekil 2.25. Trapez şekilli savak 47
Şekil 3.1. Oluşturulan YSA modelleme yapısı 50
Şekil 3.2. YSA tabanlı modelleme aşamaları 51
Şekil 3.3. YSA modelinin *E20* için eğitim başarımı 52
Şekil 3.4. YSA modelinin *E20* için modelleme başarımı 53
Şekil 3.5. YSA modelinin *E20* için test başarımı 53
Şekil 3.6. YSA modelinin *E* için test başarımı 54
Şekil 3.7. Varikap diyot YSA modelinin eğitim başarımı 55

Şekil 3.8. Varikap diyot YSA modelinin modelleme başarımı 56
Şekil 3.9. Varikap diyot YSA modelinin test başarımı 56
Şekil 3.10. YSA modelinin eğitim başarımı 58
Şekil 3.11. İstenilen ve elde edilen histerisiz eğrileri 58
Şekil 3.12. İstenilen ve model çıkışından elde edilen akım işaretleri 59
Şekil 3.13. YSA modelinin eğitim başarımı 60
Şekil 3.14. VC_1 durum değişkenine ait a) Ölçülen, b) YSA çıkış işaretleri 61
Şekil 3.15. a) i_L-VC_1 grafiği, b) YSA modeli i_L -VC_1 grafiği 62
Şekil 4.1. *E20* için modelleme başarımı 64
Şekil 4.2. *E20* için test başarımı 64
Şekil 4.3. *E* için test başarımı 65
Şekil 4.4. Varikap diyot UBSA modelinin modelleme başarımı 66
Şekil 4.5. Varikap diyot UBSA modelinin test başarımı 67
Şekil 4.6. Histerisiz çevrimli indüktans UBSA modelinin modelleme başarımı 68
Şekil 4.7. İstenilen ve elde edilen histerisiz eğrileri 69
Şekil 4.8. İstenilen ve model çıkışından elde edilen akım işaretleri 69
Şekil 4.9. VC_1 durum değişkenine ait çıkış işaretleri. 71
Şekil 4.10. VC_2 durum değişkenine ait çıkış işaretleri. 71
Şekil 4.11. VC_3 durum değişkenine ait çıkış işaretleri 72
Şekil 5.1. Oluşturulan DD ve YSA modelleme yapısı 73
Şekil 5.2. Modelleme aşamaları 74
Şekil 5.3. Giriş işaretlerinin örnek dalgacık katsayıları 75
Şekil 5.4. DD ve YSA modelinin eğitim başarımı 75
Şekil 5.5. DD ve YSA modelinin test başarımı 76
Şekil 5.6. Oluşturulan modelleme yapısı 77
Şekil 5.7. Modelleme aşamaları 78
Şekil 5.8. DD ve YSA modelinin eğitim başarımı 78
Şekil 5.9. DD ve YSA modelinin test başarımı 79
Şekil 5.10. Kullanılan akıllı modelleme yapısı 80
Şekil 5.11. Modelleme aşamaları 81
Şekil 5.12. DD ağaç yapısı 81
Şekil 5.13. DD ve YSA yapısının eğitim başarımı 82
Şekil 5.14. a) Matematiksel model, b) DD ve YSA modele ait çift kaydıraçlı çekerler 83
Şekil 6.1. DPD ve YSA yapısının modelleme başarımı 85
Şekil 6.2. AKMM için DPD ve YSA yapısının test başarımı 85
Şekil 6.3. DPD ağaç yapısı 86
Şekil 6.4. Çift kaydıraçlı çeker 87

Şekil 6.5. DPD veYSA modelinin eğitim başarımı 88
Şekil 6.6. a) Matematiksel model, b) akıllı modelin VC_1 için çıkış işaretleri. 88
Şekil 6.7. a) Matematiksel model, b) akıllı modelin VC_2 için çıkış işaretleri 89
Şekil 6.8. a) Matematiksel model, b) akıllı modelin I_L için çıkış işaretleri 89

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. İşaret işlemede yaygın kullanılan entropi türleri ve denklemleri 15
Tablo 2.2. En sık kullanılan matematiksel operatörler 30
Tablo 2.3. MATLAB'da kullanılan Chua devresi parametre değerleri 43
Tablo 2.4. Trapez şekilli savağa ait deney verileri 46
Tablo 3.1. Savak havalandırıcı YSA model yapısı ve parametreleri 54
Tablo 3.2. Varikap diyot YSA model yapısı ve parametreleri 57
Tablo 3.3. Histerisiz çevrimli indüktans YSA model yapısı ve parametreleri 59
Tablo 3.4. Chua devresi YSA model parametreleri 62
Tablo 4.1. Savak havalandırıcı UBSA model yapısı ve parametreleri 65
Tablo 4.2. Varikap diyot UBSA model yapısı ve parametreleri 67
Tablo 4.3. Histerisiz çevrimli indüktans UBSA model yapısı ve parametreleri 70
Tablo 4.4. Chua devresi UBSA model yapısı ve parametreleri 72
Tablo 5.1. DD ve YSA yapısı ve eğitim parametre değerleri 75
Tablo 5.2. DD ve YSA yapısı ve eğitim parametre değerleri 77
Tablo 5.3. DD ve YSA yapısı ve eğitim parametre değerleri 82
Tablo 5.4. Akıllı (DD ve YSA) model yapısının eğitim başarımı 83
Tablo 6.1. DPD ve YSA yapısı ve eğitim parametre değerleri 84
Tablo 6.2. Chua devresi DPD ve YSA yapısı ve eğitim parametre değerleri 87
Tablo 7.1. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar 93

SİMGELER LİSTESİ

x	Sistem girişi
y	Sistem çıkışı
H	Transfer fonksiyonu
R	Direnç
I	Akım
V	Gerilim
τ	Zaman ötelemesi
$e(k)$	Hata terimi
$f(.)$	Doğrusal olmayan fonksiyon
$\psi(t)$	Dalgacık
b	Dönüşüm etmeni
d_i	İstenen çıkış
L	İndüktans
(x,y)	Eğitim çifti
G_a	Eğim
Cjo	Sıfır volt ters ön-gerilimdeki kapasite değeri
Vr	Uygulanan ters ön-gerilim değeri
φ	Temas potansiyeli
w_{ij}	Yapay sinir ağı ağırlıkları
$E(s)$	Entropi ifadesi
cA	Dalgacık ayrışımının yaklaşık katsayısı
cD	Dalgacık ayrışımının detay katsayısı
$h[n]$	Yüksek geçiren filtre
$g[n]$	Düşük geçiren filtre
V	Özellik vektörü
p	Norm entropi parametresi

KISALTMALAR LİSTESİ

ADD	Ayrık Dalgacık Dönüşümü
AKMM	Askıdaki Katı Madde Miktarı
ASAT	Atık Su Arıtma Tesisi
BM	Bulanık Mantık
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
DD	Dalgacık Dönüşümü
DDA	Dalgacık Dönüşüm Ağacı
DPA	Dalgacık Paket Analizi
DPD	Dalgacık Paket Dönüşümü
DPDA	Dalgacık Paket Dönüşüm Ağacı
FD	Fourier Dönüşümü
HFD	Hızlı Fourier Dönüşümü
HFD	Hızlı Fourier Dönüşümü
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KZFD	Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü
SDD	Sürekli Dalgacık Dönüşümü
TKH	Toplam Karesel Hata
UBSA	Uyarlamalı Bulanık Sinir Ağlar
YSA	Yapay Sinir Ağları
ZFG	Zaman Frekans Gösterimi

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YAPAY SİNİR AĞI TABANLI AKILLI YÖNTEMLERLE KARMAŞIK SİSTEMLERİN MODELLENMESİ

Davut HANBAY

Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
2007, Sayfa: 100

Karmaşık sistemlerin modellenmesi, bilim adamları tarafından uzun yıllardır çalışılmaktadır. Bu çalışmaların çoğunda matematiksel bağıntılar kullanılmıştır. Sistem parametre sayısı arttığında yada çevresel şartlar göz önünde bulundurulduğunda, sistemlerin modellenmesi zorlaşmakta hatta imkânsızlaşmaktadır. Akıllı yöntemlerin çeşitli bilim alanları için önerdikleri çözümler ve gelişimler, sistem modellemecilerin de ilgisini çekmiştir.

Akıllı modelleme çalışmaları, doğrusal olmayan sistemlerin modellemesinde büyük kolaylıklar getirmiştir. Fakat sistem giriş ve çıkış bileşenleri arasındaki karmaşıklık düzeyi artıkça akıllı modelleme yapılarında da bazı sorunlar oluşmaktadır. Örneğin, eğitim süreleri, örnek sayılarının artması, ezberleme, modelin gecikmiş giriş sayısının çoğalması v.b. sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu tez çalışmasında geliştirilen akıllı modelleme yapıları ile bu sorunlara çözüm getirilmekle birlikte, karmaşık sistemlerin yapay zekâ teknikleri ile modellenmesine yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Getirilen bu yaklaşımla, karmaşık sistemleri modelleme sürecinin temeli, karmaşık sistemin doğrusal bileşenleri elde edilerek yapay zekâ teknikleri ile modelleme üzerine dayanmaktadır.

Karmaşık sistemleri modellemeye yönelik geliştirilen akıllı yapılar iki önemli bileşene sahiptirler. Bunlardan birincisi, karmaşık sistemi temsil eden doğrusal anahtar model özelliklerin elde edilmesi, ikincisi ise yapay zeka teknikleri ile bu model özelliklerinin öğrenilmesidir. Böylece, klasik karmaşık sistem modelleme çalışmalarından farklı olarak modelleme sürecine sistem analizi ile elde edilen model özellik çıkarım yapısı eklenmiştir. Bu tezde ele alınan karmaşık sistemlerin model özelliklerinin çıkarımı için entropi hesaplama teknikleri ve dalgacık dönüşümü analiz yöntemleri kullanılmıştır. Yapay zekâ teknikleri olarak ise uyarlamalı bulanık sinir ağ, yapay sinir ağları ve bulanık mantık tercih edilmiştir. Ayrıca geliştirilen bir diğer karmaşık sistem modelleme tekniğinde ise yapay zeka tekniğinin başarımına bağlı olarak model özelliklerinin çıkarımı uyarlamalı yapılmıştır. Böylece doğrusal model özellik çıkarma süreci ile yapay zeka süreci tümleşik hale getirilmiştir.

***Anahtar Kelimeler**:* Karmaşık Sistem, Akıllı Modelleme, Doğrusallaştırma, Özellik Çıkarma, Yapay Zeka Teknikleri.

ABSTRACT

PhD Thesis

COMPLEX SYSTEM MODELING BY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK BASED INTELLIGENT METHODS

Davut HANBAY

Firat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical - Electronics Engineering
2007, Pages: 100

Modeling complex systems are being studied by scientists for a long time. In most of them mathematical relationships are used. Modeling complex systems are become harder or sometimes impossible when the numbers of input parameters are increased or environmental conditions are considered. The offered solutions in various science fields by intelligent methods take care of systems annalists. Nonlinear system modeling is made easy by intelligent system modeling studies. But some problems such as training time, increased sample data, memorization, necessitates to use delayed input and output arise with intelligent methods when system input parameters or the level of complexity of the relationships between input-output pairs are increased. In this thesis, some solutions are suggested for these problems with developed intelligent modeling structures and offered a new modeling approach based on artificial intelligence. The offered modeling approach is based on getting linear parts of complex system and modeling with artificial intelligence techniques.

The developed intelligent structures for complex system modeling are consisting of two important parts. The first of them is obtaining linear key model features which can represent the complex systems. The second is learning of these model features by artificial intelligence techniques. So contrary to traditional complex system modeling studies, model feature extracting process is added to modeling stages. In this thesis, the studied complex systems are analyzed by using wavelet transform and entropy methods. Adaptive network based fuzzy inference systems, fuzzy logic and artificial neural networks are used as artificial intelligence techniques. In another developed modeling structure, model feature extracting process is adapted related to the performance of artificial intelligence techniques. Thus model feature extracting process and artificial intelligence stage are integrated.

Keywords: Complex Systems, Intelligent Modeling, Feature Extracting, Artificial Intelligence Techniques.

1. GİRİŞ

Karmaşık sistemler, birbiri ile etkileşimli çok sayıda eleman yada süreçten meydana gelir. Her elemanın veya sürecin davranışı diğer bileşenlere bağlı olarak belirlenir, dolayısıyla böyle bir sistem doğrusal değildir. Sistemde yer alan bileşenlerin davranışlarının daha iyi anlaşılması ve kontrol edilmesi amacı ile modelleme yapılarından yararlanılır [1, 2].

Modelleme, uzun yıllardır özellikle petrol endüstrisi, metal sanayi, işaret işleme, görüntü işleme, elektrik, elektronik, bilgisayar, hastalık teşhisi, biyokimyasal süreçler, medikal cihazlar, yenilenebilir enerji kaynakları, su kaynakları, iş planlama ve yönetimi gibi alanlarda kontrol ve analiz amacı ile kullanılmaktadır [2].

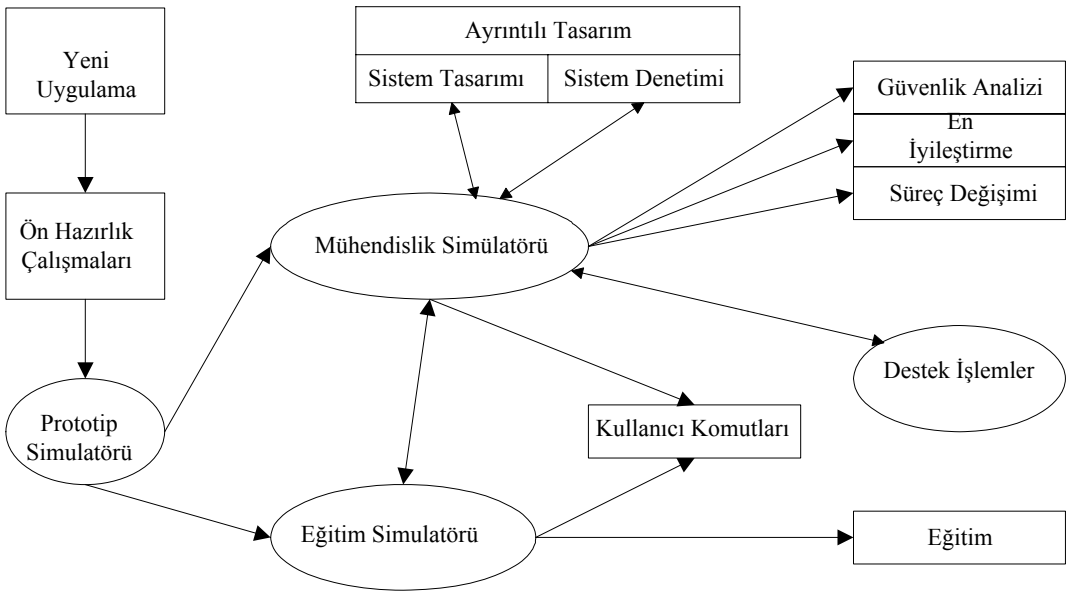
Fiziksel sistemlerin ve süreçlerin klasik yöntemlerle modellenmesine bilgi tabanlı modelleme denir. Bunun nedeni, sistem yada sürecin bazı matematiksel ifadeler kullanılarak tanımlanmasıdır. Sisteme etki eden parametreler belirlenerek, sistem veya süreç üzerindeki etkisi incelenir. Bilgi tabanlı modellemede karşılaşılan zorluklar aşağıdaki gibi özetlenebilir: Yeni parametreler model girişine eklendiğinde sistem veya süreç daha karmaşıklaşmaktadır. Bundan dolayı incelenmesi gereken parametre sayısı artmaktadır. Artan bu parametrelerin etkileri doğrusal olmayacağından modellenen sistemlerin çözümü oldukça zorlaşacak ve hatta bazı durumlarda çeşitli kabuller yapılmadığı takdirde imkânsızlaşacaktır. Bilgi tabanlı sistem modellerine bilinmeyen bir giriş uygulandığında, sistem modelinin anlamlı bir cevap üretmesi beklenemez. Klasik modeller parametre değişimlerine duyarlı olup, gürültüden etkilenirler [2]. Arzu edilen çıkış değeri için çok değişkenli ve doğrusal olmayan davranışlar göz önünde bulundurulduğunda modellemedeki zorluklar artar. Gerçekleştirilen modelleme çalışmalarında karşılaşılan diğer bir zorlukta, sürekli durumda geçerli olan parametrelerin belirlenmesidir.

Akıllı yöntemlerle modelleme, yapay zekadan esinlenerek ortaya çıkmıştır. Sistem hakkında sınırlı bilgiye sahip olunduğunda, giriş-çıkış ilişkilerine dayalı akıllı modellemeler önem kazanır. Akıllı modellemede, her ne şart altında olursa olsun giriş-çıkış arasında doğru ilişki sağlamak istenir. Elde edilen modeller, değişen şartlara uyum sağlama ve bilinmeyen bir giriş uygulandığında genelleme yeteneği sayesinde sonuç üretme özelliğine sahiptir. Akıllı yöntemler kullanılarak, gürültü ve parametre değişimlerine karşı daha sağlam modeller oluşturmak mümkündür [2, 3].

Modelleme amacı ile kullanılan akıllı yöntemler; Yapay Sinir Ağları (YSA), Bulanık Mantık (BM) ve hibrit yapılardır. Yapılan çalışmalarda en çok kullanılan temel akıllı yöntem, YSA'lardır. Bu yöntemde, yapay sinir hücreleri arasında gerçekleştirilen bağlantılarla sistem modellenmeye çalışılır. Kullanılan hücre sayısı artırılarak, doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesi gerçekleştirilebilir [4-6]. Giriş-çıkış bilgilerinden faydalanılarak sistemlerin

modellenmesine imkân sağlar. BM ile modelleme ise sistem hakkında bilgiye sahip uzman görüşünün ve günlük hayatta kullandığımız az, çok, orta gibi dilsel ifadelerin modellemede kullanılmasına olanak sağlar.

Yeni bir uygulamanın geliştirilmesinde modelleme ve benzetim, oldukça esnek ve faydalı bir araçtır. Şekil 1.1'de, sistem denetimi ve tasarımında, modelleme ve benzetim aşamaları blok şema olarak verilmiştir [2].



Şekil 1.1. Sistem denetimi ve tasarımında, modelleme ve benzetim blok şeması.

1.1. Amaç

Bu tez çalışmasının amacı; karmaşık sistemlerin akıllı yöntemlerle modellenmesinde ortaya çıkan problemlere çözüm sunmaktır. Akıllı modelleme çalışmalarında, model özellik boyutunun fazla olmasından dolayı oluşturulan model yapısı karmaşıklaşır. Buna bağlı olarak akıllı modelin eğitim süresi artar. Giriş-çıkış arasındaki karmaşık ilişkiyi modellemek amacı ile fazla sayıda örnek kullanılması gerekir. Bunun sonucunda akıllı model sistem davranışını öğrenme yerine ezberler. Bu problemler, sistem model özellik boyutu indirgenerek ve sistem daha basit modelleme yapıları ile modellenerek giderilebilinir. Bu amaçla tezde, model özellik boyutunu indirgeyecek ya da eğitim süresini azaltacak yapılar geliştirilecektir. Yapay zeka tekniğinin başarımına bağlı olarak, model özellik çıkarım aşaması uyarlamalı yapılacaktır.

1.2. Yönelim Gerekçeleri

Bu tez çalışmasının yapılmasında, günümüzde birçok bilim dalının akıllı sistemlere yönelmesinin önemli etkisi olmuştur. Akıllı modeller öğrenme tabanlı olup, öğrendiklerinden çıkarım yaparak karar verebilmektedirler. Bu özelliklerinden dolayı, birçok bilim dalında yapılan çalışmalarda yer almaktadır. Fakat yapılan bu çalışmalar başlangıç aşamasında olup, henüz etkili algoritmalar geliştirilmemiştir. Dolayısıyla bu tezde önerilen algoritmalar, farklı bilim dallarında yapılan akıllı modelleme çalışmalarına katkıda bulunacaktır. Ayrıca insanlara olayların tanımlanması ve sağlıklı bir biçimde yorumlanabilmesi konusunda yardımcı olmak da akıllı modelleme çalışmalarının amaçları arasında yer almaktadır.

Akıllı modelleme çalışmaları, doğrusal olmayan sistemlerin modellemesinde büyük kolaylıklar getirmiştir. Fakat sistem giriş-çıkış bileşenleri arasındaki karmaşıklık düzeyi artıkça akıllı modelleme yapılarında da istenilen hata düzeyinde eğitimin gerçekleşememesi, örnek sayısının, eğitim süresinin ve sistem parametre sayısının artması gibi sorunlar ile karşılaşılmaktadır. Bu sorunları çözmek için henüz tam bir yaklaşım önerilmemiştir. Bu tez çalışmasında geliştirilen akıllı modelleme yapıları ile bu sorunlara çözüm getirilmekle birlikte, karmaşık sistemlerin yapay zekâ teknikleri ile modellenmesine yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Önerilen yaklaşımla sistem giriş parametreleri doğrusallaştırılarak ve boyutu indirgenerek yapay zeka tekniklerinde kullanılmıştır.

Dalgacık Dönüşümleri (DD), günümüzde birçok mühendislik uygulamasında durağan olmayan işaretlerin ve süreçlerin analizinde oldukça başarılı sonuçları veren kullanışlı ve güçlü bir araçtır [7]. Fourier dönüşümlerinin aksine, işaretin (veya veri dizilerinin) zamana bağımlı frekans değişim karakteristiklerini ölçmedeki güvenilirlikleri, durağan olmayan işaretlerin yapılarına uygun bir analiz şekli olduklarını göstermektedir [8]. Çünkü DD'ler işaretin farklı bölümlerini analiz etmek için odağı ayarlanabilir bir matematik mikroskobu gibi davranabilmektedirler. Bu yapısı ile DD'ler diğer yöntemlere alternatif bir yaklaşım olarak görülmektedir [9,10].

Bu tezde, DD'ler ile karmaşık sistem verileri alt veri bileşenlerine ayrılarak durağan hale getirilmekte, böylece sistemdeki iç ve dış dinamiklere karşı daha dayanımlı modellenecek sistem özellikleri çıkarılmaktadır. Bu yaklaşımın kullanımı, sisteme ait özelliklerin daha etkin belirlenmesine neden olmaktadır. Önerilen model özellik çıkarma yapısı, modelin özellik uzayının boyutunu indirgemek amacı ile entropi hesaplama teknikleri kullanılarak güçlendirilmiştir. Böylelikle, model özelliklerinin boyutları indirgenip ve kararlı kılınarak geliştirilen akıllı modelleme yapısı daha az veri işleyeceğinden, daha hızlı hale getirilmiştir. DD ve YSA modelleme yapısı ilk olarak Chua devresi ve atık su arıtma tesisine uygulanmıştır. Daha

az özellik kullanılarak daha yüksek başarım elde edilmiştir. Geri beslemeli bir yapı kullanılmadığından modelin giriş sayısı azalmakta ve modelin çıkışında oluşan hata sisteme giriş olarak uygulanmadığından sistem daha dayanımlı olmaktadır.

Akıllı modellemede yapay zeka teknikleri kullanılmaktadır. Bu teknikler içerisinde başarılı bir şekilde ve yaygın olarak kullanılan YSA'lar, paralel bilgi işlediklerinden dolayı hızlı sonuç üretme, öğrenebilme ve öğrendiklerinden genelleme yapabilme yeteneklerine sahiptir. Böylece YSA kullanılarak modele, öğrenme ve öğrendiklerinden bilgi çıkarma yetenekleri kazandırılır.

Model özellik çıkarım sürecinin yapay zeka tekniklerinin başarımına endeksli yapılması ile uyarlamalı bir akıllı modelleme yapısı oluşturulur. Böylece, karmaşık sistemler için elverişli akıllı modelleme teknikleri elde edilir. Bu bağlamda yukarıda önerilen model özellik çıkarım analiz yöntemleri, YSA'nın içerisine gömülerek, uyarlamalı yeni akıllı modeller oluşturulur.

1.3. Yöntem

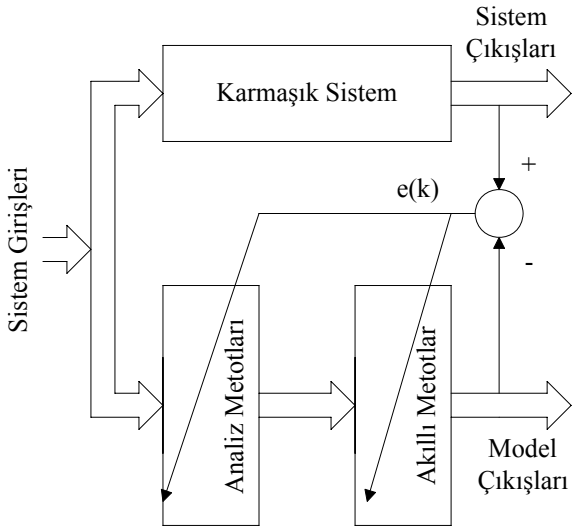
Bu çalışma, sistem analizi ve öğrenmeli yapı üzerine kurulmuştur. Sistem analizi aşamasında, modellenecek sistemin belirleyici veya ayırt edici özellikleri çıkarılır. Öğrenmeli yapı da ise yapay zeka teknikleri ile çıkarılan özelliklerin öğrenilmesi sağlanılır. Böylece oluşan akıllı modelleme yapıları, model özellik çıkarımı ve öğrenme olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır.

Bu tezde yer alan akıllı modeller, modelleme ve benzetim olarak iki aşamada geliştirilmiştir. Birinci aşamada, belirlenen sistemlerin akıllı modelleri elde edilir. İkinci aşamada ise, elde edilen modellerin benzetimi MATLAB ortamı ve araçları kullanılarak gerçekleştirilir. Böylece, geliştirilen akıllı modelleme tekniklerinin başarımları test edilir ve gerçek (ölçülen) veriler ile karşılaştırılır.

Geliştirilen modelleme yapıları kullanılarak elde edilen akıllı modeller sayesinde, belirlenen karmaşık sistemlerin daha dayanıklı modelleri oluşturulmuştur. Uzmanlara denetim ve karar verme konusunda yardımcı olacak benzetimler gerçekleştirilmiş ve aynı zamanda daha hızlı ve güvenilir sistemlerin geliştirilmesi için teknikler önerilmiştir.

Bu tezde, Şekil 1.1'de verilen blok şemadan da görülebileceği gibi önce karmaşık sistemler belirlenmiş, sonra bu sistemlerin akıllı modellerini oluşturmak için gerekli olan giriş-çıkış verileri elde edilmiş, elde edilen veriler arasındaki ilişkiler göz önünde bulundurularak ve çeşitli sınıflara ayrıştırılarak ayrıntılı tasarım yapılmıştır. Gerekli veri ayrıştırmaları yapıldıktan sonra benzetimleri gerçekleştirilmiş ve geçerlilik analizleri yapılmıştır.

Sistemlerin akıllı modellerinin elde edilmesinde YSA, BM ve hibrit yapılardan faydalanılmıştır. Modellemede kullanılan akıllı modelleme yapısı, Şekil 1.2'de görülmektedir. Akıllı modellerin eğitimi için, sistemlerin matematiksel modellerinden elde edilen veriler yada gerçek (ölçülen) veriler kullanılmıştır. Modelin eğitimi gerçekleştirildikten sonra farklı girişler uygulanarak sistem test edilmiştir.



Şekil 1.2. Akıllı modelleme yapısı.

1.4. Tezin Organizasyonu

Tezin birinci bölümünde, teze genel bir bakış açısı kazanmaya yönelik olarak temel bilgiler verilmiştir. Diğer bölümlerin organizasyonu ve tezdeki orijinal katkılar ise aşağıda sunulmuştur. Bu tezde karmaşık sistem olarak Chua devresi, Atık su arıtma tesisi, hidrolik sistemlerden savak yapıları ile doğrusal olmayan elemanlar olan varikap diyot ve histerisiz çevrimli indüktans ele alınmıştır. Elektriksel eşdeğer devresinde birden fazla devre elemanı bulunan varikap diyot tek girişli tek çıkışlı bir sistem, histerisiz çevrimli indüktans da iki girişli tek çıkışlı bir sistem olarak düşünülmüştür.

Bölüm 2'de, tez çalışmasında kullanılan temel konular açıklanmıştır. Önce sistem kavramı tanımlanmış, bilimsel yazında yer alan çeşitli sistem tanımlamalarına yer verilmiştir. Daha sonra, modelleme kavramı ve modelleme ile ilgili olan terimler açıklanmıştır. Özellikle akıllı modellemede kullanılan modelleme yapıları açıklanmıştır. Akıllı modellemenin en önemli bileşeni olan ve bu tezde de odaklanılan model özellik çıkarımı için önerilen algoritmaların dayalı olduğu teorik alt yapıyı oluşturmaya yönelik DD, Dalgacık Paket Dönüşümü (DPD) ve Entropi hesaplama teknikleri açıklanmıştır. Akıllı modellemede kullanılan YSA, BM,

Uyarlamalı Bulanık Sinir Ağ (UBSA) yapıları sistematik bir gösterimle açıklanmış ve tez çalışmasında kullanılan karmaşık sistemler hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Böylece, bu bölümü okuyan kişinin, sonraki bölümlerde kullanılan algoritmaları daha rahat anlayabilmesi amaçlanmıştır.

Bölüm 3'de, YSA tabanlı akıllı modelleme kavramı örneklerle açıklanmıştır. Burada; su yapıları, varikap diyot, histerisiz çevrimli indüktans ve kaos çalışmalarında kullanılan temel devrelerden biri olan Chua devresinin YSA tabanlı akıllı modelleri gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 4'de, UBSA tabanlı akıllı modelleme kavramı örneklerle açıklanmıştır. Bu bölümde su yapıları, varikap diyot, histerisiz çevrimli indüktans ve Chua devresinin UBSA tabanlı akıllı modelleri oluşturulmuştur.

Bölüm 5'de, DD ve YSA ile modelleme kavramı örneklerle açıklanmıştır. Burada; bir atık su arıtma tesisine ait veriler kullanılarak tesisin akıllı modeli, Chua devresinin akıllı modeli ve temel su yapılarından olan savakların akıllı modeli DD ve YSA kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 6'da, DPD ve YSA ile modelleme kavramı örneklerle açıklanmıştır. Atık Su Arıtma Tesisinin (ASAT) başarımı ve Chua devresinin durum değişkenleri modellenmiştir.

Bölüm 7'de, elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve yapılan çalışmaların sağladığı avantajlar vurgulanmıştır. Ayrıca ileriye dönük uygulama alanları ve öneriler sunulmuştur.

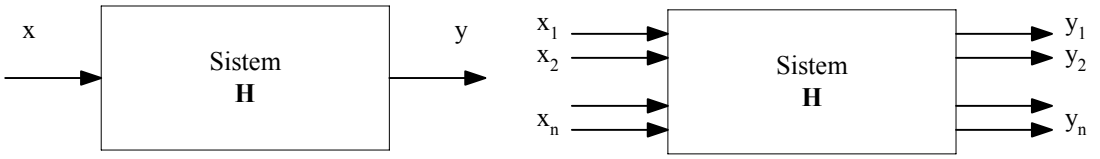
2. SİSTEM MODELLEME KAVRAMI VE AKILLI YÖNTEMLER

2.1. Sistem Kavramı

Bir giriş sinyaline karşı bir çıkış sinyali üreten fiziksel bir sürece yada bu sürecin matematiksel olarak ifade edilmiş haline sistem denir [11]. Girişi *x* çıkışı *y* olan bir sistem, *x*'i *y'*ye dönüştüren bir fonksiyon olarak düşünülebilir. Bu fonksiyon,

$$y = H.x \tag{2.1}$$

ile gösterilir. Burada *H*, *x*'ten *y*'ye dönüşümü sağlayan iyi tanımlanmış bir kuralı simgeleyen fonksiyondur ve transfer fonksiyonu olarak adlandırılır. Bir sistem tek girişli tek çıkışlı olabileceği gibi, çok girişli çok çıkışlı da olabilir [11, 12]. Şekil 2.1'de blok yapı olarak sistem yapısı gösterilmiştir.



a) Tek girişli tek çıkışlı sistem

b) Çok girişli çok çıkışlı sistem

Şekil 2.1. Sistemlerin blok gösterimi.

Farklı özellikler göz önünde bulundurularak yapılan çeşitli sistem tanımlamalarından bazıları şu şekildedir: Bir sistemin giriş ve çıkış sinyalleri sürekli zamanlı sinyallerden oluşuyorsa *sürekli zamanlı sistemler*, ayrık zamanlı sinyaller veya dizilerden oluşuyorsa *ayrık zamanlı sistemler* denir. Ayrık zamanlı bir sinyal, *n* bir tamsayı olmak üzere $\{x_n\}$ yada *x[n]* biçiminde bir dizi sayı ile gösterilir. Bir sistemin *H* transfer fonksiyonu toplamsallık ve homojenlik şartlarını sağlıyor ise *doğrusal sistem*, eğer bu şartları sağlamıyorsa *doğrusal olmayan sistem* olarak isimlendirilir [11, 12].

Örnek olarak iki girişli (x_1, x_2) bir sistem (2.2) şartını sağlıyor ise *toplamsallık* özelliğine sahiptir.

$$H.x_1 = y_1 \; ve \quad H.x_2 = y_2 \; ise$$
$$H.(x_1 + x_2) = y_1 + y_2 \tag{2.2}$$

Herhangi bir sistem, bir *x* sinyali ve α çarpanı için (2.3) şartını sağlıyor ise bu sistem *homojenlik* özelliğine sahiptir.

$$H.\alpha.x = \alpha.y \tag{2.3}$$

Doğrusal olmayan sistemlere aynı zamanda *karmaşık sistemler* de denir. (2.2) ve (2.3) eşitlikleri, α_1 ve α_2 keyfi skala değeri kullanılarak (2.4) biçiminde tek bir eşitlikle ifade edilebilir. (2.4) eşitliği toplamsallık özelliği olarak adlandırılır.

$$H.\{\alpha_1.x_1 + \alpha_2.x_2\} = \alpha_1.y_1 + \alpha_2.y_2 \tag{2.4}$$

Bir sistemin herhangi bir $t=t_0$ anındaki *y(t)* çıkışı, *(*$t<t_0$ ve $t=t_0$) sürecindeki *x(t)* girişlerine bağlı ise *y*ani sistemin herhangi bir andaki çıkış değeri girişin o andaki ve geçmişteki değerlerine bağlı ise sisteme *nedensel sistem* denir. Nedensel bir sisteme herhangi bir giriş uygulanmadan bir çıkış elde etmek olası değildir. Bu özellikleri sağlamayan sistemlere ise *nedensel olmayan sistemler* denir. (2.5)'deki gibi tanımlanabilen sistemler nedensel sistemlerdir.

$$y(t) = x(t+1)$$
$$y[n] = x[-n] \tag{2.5}$$

Eğer bir sistemin çıkışı, sadece o anki girişe bağlı ise bu sistem *belleksiz sistem*, eğer bu sistemin çıkışı o anki ve daha önceki girişlere bağlı ise bu sisteme *bellekli sistem* denir. Sadece dirençlerden oluşan bir devre belleksiz sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Böyle bir sistemin girişi seçilen bir direncin akımı ve çıkışı da direncin gerilimi alınması durumunda, bu *R* direncinin giriş-çıkış bağıntısı,

$$y(t) = R.x(t) \tag{2.6}$$

şeklinde tanımlanır. Bellekli sistemlere ise kondansatörler içeren bir devre örnek olarak verilebilir. *x(t)* girişinin akım ve *y(t)* çıkışın gerilim alınması durumunda kondansatörün giriş-

çıkış bağıntısı (2.7)'deki gibi tanımlanır. Giriş ve çıkış dizileri arasında (2.8)'deki gibi bir ilişki bulunan ayrık zamanlı sistemde bellekli bir sistemdir.

$$y(t) = \frac{1}{C}\int_{-\infty}^{t} x(\tau)d\tau \tag{2.7}$$

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{n} x[k] \tag{2.8}$$

Belleksiz sistemlerin tümü aynı zamanda nedenseldir. Ancak nedensel olup da bellekli olan sistemlerde vardır. (2.6) eşitliği ile tanımlanan direnç ve (2.7) eşitliği ile tanımlanan kondansatör, aynı zamanda doğrusal sistemlere örnek olarak gösterilebilirler. (2.9)'da verilen sistemler ise doğrusal olmayan sistemlere örnek gösterilebilir.

$$\begin{aligned} y &= x^2 \\ y &= \cos x \end{aligned} \tag{2.9}$$

Bir sistemin girişindeki bir zaman ötelemesi (gecikme veya ilerleme), çıkış sinyalinde de aynı ötelemeye neden oluyor ise bu sisteme *zamanla değişmeyen sistem* denir. Sürekli zamanlı bir sistem, herhangi bir τ gerçel değeri için (2.10)'da verilen şartı sağlıyor ise bu sistem zamanla değişmeyen bir sistemdir.

$$H\{x(t-\tau)\} = y(t-\tau) \tag{2.10}$$

Bu şart ayrık zamanlı sistemler için (2.11)'de tanımlanmıştır. Burada k herhangi bir tamsayıdır. (2.10) eşitliğini sağlamayan sürekli zamanlı bir sistem veya (2.11) eşitliğini sağlamayan ayrık zamanlı bir sistem *zamanla değişiyor* demektir. Bir sistemin zamanla değişmezliğini sınamak için ötelenmiş çıkış ile ötelenmiş girişin neden olduğu çıkış karşılaştırılabilir.

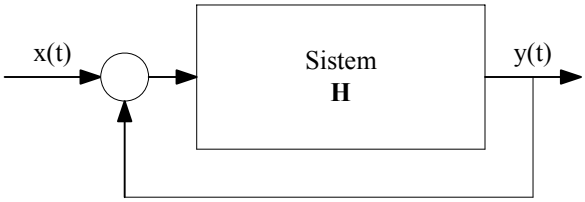
$$H\{x[n-k]\} = y[n-k] \tag{2.11}$$

Hem doğrusal olan hem de zamanla değişmeyen sistemlere *doğrusal zamanla değişmeyen sistem* denir.

$$|x| \leq k_1$$
$$|y| \leq k_2 \qquad (2.12)$$

Bir sistem (2.12)'de verilen şartları sağlayan herhangi *x* sınırlı girişine karşı, sınırlı *y* oluşturuyor ise, bu sistemin sınırlı giriş/sınırlı çıkış kararlı olduğu söylenir. (2.12)'de verilen şartları sağlamayan sistemlere ise kararsız sistem denir. (2.12)'de yer alan k_1 ve k_2 değişkenleri sonlu gerçel sayılardır. Kararlılık için bunun dışında yapılmış farklı tanımlarda vardır.

Bir sistemin çıkışı, geri besleme yapılarak girişe ekleniyorsa bu sisteme *geri beslemeli sistem,* eğer çıkıştan girişe herhangi bir geri besleme yapılmıyorsa bu sisteme *açık sistem* denir. Açık sistemler Şekil 2.1'deki gibi, geri beslemeli sistemler ise Şekil 2.2'deki gibi blok olarak gösterilir [11-14].



Şekil 2.2. Geri beslemeli sistem.

2.1.1. Sistem Modelleme

Bir sistemin uygun bir modelleme yapısı seçilerek bilinmeyen parametrelerinin hesaplanmasına sistem modelleme denir. Bilinmeyen parametrelerin hesaplanmasında temel kural, sistemin bilinen parametrelerinin model yapısı oluşturulurken ön bilgi olarak kullanılmasıdır. Sistemin bilinen parametrelerine bağlı olarak üç farklı modelleme yapısından birisi seçilir [15-17].

Ön bilgi olarak kullanılacak parametrelerin tamamı, sistemin fiziksel özelliklerinden elde edilerek oluşturulan modellere *açık modeller* denir. Ön bilgi olarak kullanılacak parametrelerin bazıları, sistemin fiziksel özelliklerinden ve diğer parametreler ise sistemden yapılan ölçümlerle elde edilerek oluşturulan modellere *yarı açık modeller* denir. Yarı açık modellerde sistemin fiziksel yapısına ve derecesine uygun olarak model yapısı seçilebilir ve model parametreleri sistemden ölçülen veriler kullanılarak hesaplanır. Sistemin fiziksel özelliklerinden ön bilgi olarak kullanılacak parametrelerin hiçbiri elde edilemiyorsa, böyle sistemler için oluşturulan modellere *kapalı modeller* denir.

Doğrusal sistemlerin modellenmesi için çeşitli modelleme yapıları ve parametre hesaplama teknikleri geliştirilmiştir. Benzer modelleme yapıları ve parametre hesaplama teknikleri, karmaşık sistemler içinde kullanılmaktadır. Ancak karmaşık sistemler için kullanılan yapılarda karmaşık matematiksel teorilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Karmaşık sistem modelleme, sistemin gelecekteki çıkışını veren (2.13)'deki gibi, sistemden ölçülen giriş *x(k)* ve çıkış *y(k)*'lardan yararlanarak doğrusal olmayan ilişkiyi belirlemektir.

$$y(k) = f\left(y(k-n), x(k-m)\right) + e(k) \qquad k=1,2,...,N \tag{2.13}$$

Burada *e(k)* hata terimini, *n* ve *m* tamsayı olmak üzere öteleme adımını, *N* ise toplam örnek sayısını göstermektedir. Doğrusal olmayan *f(.)* fonksiyonu, *w* parametre vektörüne bağlı olarak (2.14)'deki gibi yazılabilir.

$$y(k) = f\left(y(k-n), x(k-m), w\right) \tag{2.14}$$

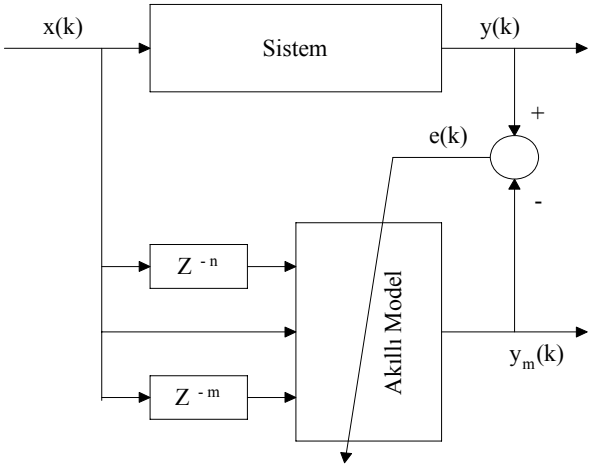
Yapılan çalışmalarda amaç hatayı mümkün olduğu kadar sıfıra yaklaştırarak sistemin gelecekteki çıkışını doğru olarak tahmin etmektir.

Zamanla değişmeyen doğrusal sistemler için sistemin matematiksel modelini çıkarmak, geliştirilmiş olan yöntemlerle oldukça kolaydır. Geliştirilen yöntemlerle parametreleri bilinmeyen doğrusal sistemlerin modellenmesi için kararlı parametre uyarlaması yapılabilir [18]. Ancak sistemdeki karmaşıklığın artması gibi nedenler, ihtiyaç duyulan modelin elde edilmesini engellemektedir.

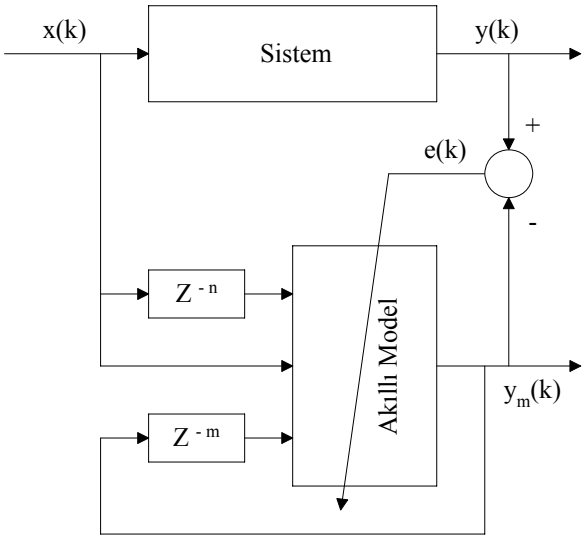
Karmaşık sistemlerin modellenmesi konusunda, sistem teorisi ve kararlılık şartları yeterince geliştirilememiştir. Bununla birlikte sistemlerdeki belirsizlikler ve dinamik davranışlarındaki değişiklikleri tanılamak için akıllı modelleme yöntemlerine yönelik çalışmalar artmıştır [19]. Akıllı modelleme, insanın yaratıcı ve uyarlayıcı davranışlarını taklit edebilecek niteliğe sahip sistemler geliştirmeyi hedeflemektedir. Akıllı modelleme, zamanla değişen iyi tanımlanmamış ortamlarda çalışan, ortamda ve sistem dinamiklerindeki değişimlere kendini uyarlayan, ön bilgileri kararlı bir yöntemle öğrenen, sistemin dinamikleri üzerine çok az kısıtlama gerektiren algoritmalara ihtiyaç duyar [17].

Son yıllarda doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesinde uzman sistemler, BM ve YSA fazlaca kullanılmıştır. Yapılan çalışmaların amacı, yeni teoriler ve modeller geliştirmek ve bu modelleri gerçek uygulamalarda kullanmaktır. Özellikle geleneksel yöntemlerle çözümü güç problemler için akıllı modeller oldukça önemlidir.

Bir sistemin, düz yön dinamiklerini gösterecek şekilde modelleme yapısının seçilmesi ve eğitilmesi *düz modelleme* olarak adlandırılır [17, 20]. Düz modelleme yapısı Şekil 2.3'de verilmiştir. Sistemlerin modellenmesinde önemli bir konu, sistemin dinamik davranışlarının model yapısı ile tam olarak temsil edilmesidir. Bu ancak dinamiklerin model yapısında tanımlanması ile sağlanabilir. Bu durumda geri beslemeli modelleme yapılarına ihtiyaç duyulur. Sistem modellemede, genellikle düz modelleme kararlılık açısından tercih edilir. Ancak, gürültülü sistemlerde, gerçek sistem çıkışı üzerindeki gürültünün neden olduğu polarma problemini önlemesi nedeniyle, Şekil 2.4'deki düz modelleme yapısı kullanılır [21-23].

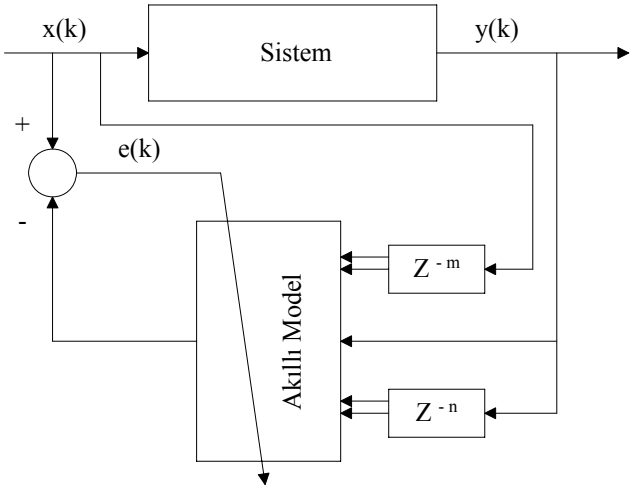


Şekil 2.3. Akıllı sistem ile düz modelleme yapısı.



Şekil 2.4. Akıllı sistem ile gürültüye dayanımlı düz modelleme yapısı.

Bir sistemin, ters yön dinamiklerini gösterecek şekilde modelleme yapısının seçilmesi ve eğitilmesi *ters modelleme* olarak adlandırılır. Şekil 2.5'deki modelde sistemin o andaki ve önceki çıkışları ile sistem girişinin önceki örnekleri ters modelin girişleri olarak alınır. Model sistem girişini verecek şekilde eğitilir. Ancak ters modelleme yönteminde sistemin doğru bir ters modeli elde edilemeyebilir.



Şekil 2.5. Akıllı sistem ile ters modelleme yapısı.

2.2. Sistem Analiz Yöntemleri

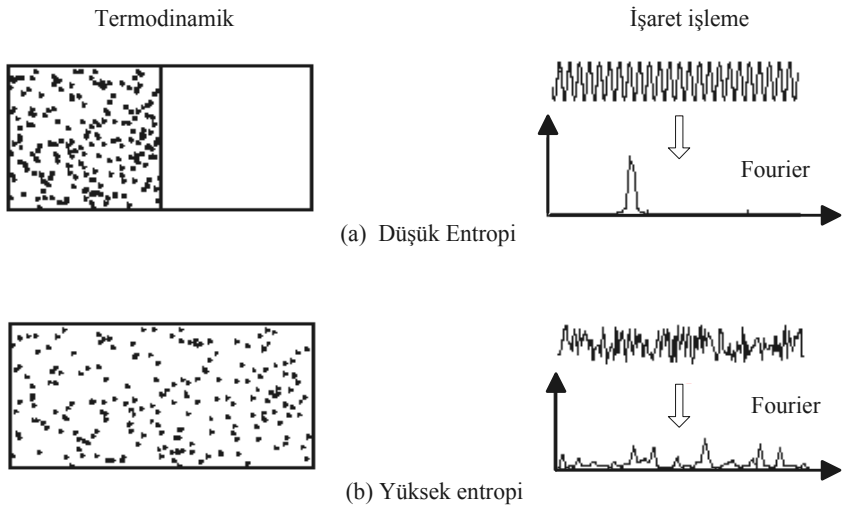
Karmaşık sistemleri analiz etmek amacı ile farklı analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Kısmi diferansiyel denklemler, regresyon analizi, spektral analiz yöntemleri, zaman frekans dönüşümleri, entropi hesaplama teknikleri, dalgacık dönüşümleri ve dalgacık paket dönüşümleri başlıca kullanılan analiz yöntemlerıdır. Bu tezde kullanılan analiz yöntemleri aşağıda sunulmuştur.

2.2.1. Entropi Hesaplama Teknikleri

Entropi kavramı, kısaca bir sistemin düzensizliğinin ölçüsü olarak tanımlanabilir. Özellikle, termodinamik fiziğinde bir sistemin düzenliliğini ölçmek amacı ile oldukça fazla kullanılan bir terimdir. Bu basit tanımlamada düzensizlik kelimesi ile anlatılmak istenen, sistemin toplam enerjisinin mevcut tanecikler arasındaki dağılımıdır. Entropi kavramını, iletişim teorisinde, özellikle haberleşme sahasında ilk olarak Shannon kullanmıştır [3, 24]. Entropi hesaplama tekniği, durağan olmayan bir işaretin düzensizlik derecesini ölçmek için uygun bir

araç olarak görünmektedir [25]. Ayrıca, bir olayın içerdiği bilginin ortalama miktarını ölçmek amacı ile de entropi kavramı kullanılmaktadır [26].

Şekil 2.6'da entropi kavramının anlaşılabilmesine yönelik olarak, termodinamik ve işaret işleme alanlarındaki kullanımı karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 2.6.a'dan görüleceği gibi gaz molekülleri belirli bir bölgeye sıkıştırılmıştır. Burada gaz molekülleri düşük entropi değerine sahiptirler, çünkü daha düzenli bir yapıdadırlar. Şekil 2.6.b'de ise gaz molekülleri sıkıştırıldığı bölgeden serbest bırakılarak tüm kapalı hacme yayılmışlardır. Burada, gaz molekülleri yüksek entropi değerine sahiptirler, çünkü gaz moleküllerinin düzenli yapısı bozulmuştur. Termodinamikteki bu kavram, iletişim teorisinde bir işaretteki düzensizliği veya belirsizliği ölçmek için kullanılabilecek iyi bir araçtır. İşaret işleme açısından Şekil 2.6 incelendiğinde, işaret durağan ise frekans bölgesinde dar bir spektrum ile düşük bir entropi değerine sahip olur (Şekil 2.6.a). Durağan değilse, frekans spektrumu geniş bir banda yayılarak yüksek bir entropi değeri oluşmasına neden olur (Şekil 2.6.b) [3, 27].



Şekil 2.6. Entropi kavramı. a) Düşük, b) Yüksek.

Entropi üzerine ilk çalışmalar, termodinamik alanında 19. yüzyıl da yapılmıştır. 1940'larda haberleşme kanallarının doluluğunu tahmin etmek ve haberleşme işaretlerinin içerdiği bilgi miktarını ölçmek için entropi kavramı Shannon tarafından kullanılmıştır [3, 24]. Son yıllarda, entropi işaret işleme alanında da yaygın olarak kullanılan bir kavram haline gelmiştir. Bunlardan bazıları; entegre devre teknolojisinde karbon üzerindeki elektron enerji kaybını bulmak [27], JPEG görüntü kodlamada oluşabilecek gürültüyü tespit etmek [28], biyomedikal NMR işaretlerinin dalgacık dönüşüm uzayından istatistiksel bilgilerini elde ederek işaretin gürültüsüz şeklini kestirmek [31], EEG işaretlerinin spektral entropilerini kullanarak anestezi derinliğini tahmin etmek [30] ve MEG biyomedikal görüntülerin yeniden

yapılandırılmasında Norm entropi metodu kullanarak yüksek kalitede MEG görüntüleri elde etmek [31] sayılabilir.

İşaret işlemede yaygın olarak kullanılan entropi hesaplama türleri; Shannon, Norm, Eşik (Threshold), Logaritmik Enerji ve Sure metotlarıdır [3, 32]. Bunun dışında diğer entropi hesaplama teknikleri de bulunmaktadır. Aşağıdaki entropi yöntemlerinde, s işareti ve s_i de işaretin *i.* katsayısını göstermektedir.

Tablo 2.1. İşaret işlemede yaygın kullanılan entropi türleri ve denklemleri.

Entropi Türleri	**Entropi Denklemleri**
1. Shannon Entropisi	$E(s) = -\sum_i s_i^2 . \log_2(s_i^2)$ ve $\log(0) = 0$ kabul edilerek
2. Norm Entropisi	$E(s) = \sum_i \lvert s_i \rvert^p$ ve $1 \le p < 2$
3. Logaritmik Enerji Entropisi	$E(s) = \sum_i \log_2(s_i^2)$ ve $\log(0) = 0$ kabul edilerek
4. Eşik Entropisi	$E(s) = \sum_i E(s_i)$ ε pozitif bir eşik değeri olup $\lvert s_i \rvert > \varepsilon \Rightarrow E(s_i) = 1$ ve $\lvert s_i \rvert \le \varepsilon \Rightarrow E(s_i) = 0$
5. Sure Entropisi	$\lvert s_i \rvert \le \varepsilon \Rightarrow E(s) = \sum_i \min(s_i^2, \varepsilon^2)$ burada ε pozitif bir eşik değeri olup

Bu entropi hesaplama tekniklerinin, işaret işlemedeki kesin kullanım alanları belirli olmayıp, uygulamalara göre başarımları değişmektedir. Fakat durağan olmayan işaretler için zamana bağımlı entropi hesaplaması daha kullanışlıdır. Bunun için de işaret katsayıları s_i'lerin zamana bağımlı olması gerekir [25].

2.2.2. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık teorisi farklı alanlarda birçok köke sahiptir. Fakat sürekli DD ilk olarak jeofizik alanında geliştirilmiştir [3]. Daha sonra yapılan çalışmalarla teori daha sağlamlaştırılmıştır ve ayrık zamanlı işaretlere uyarlaması yapılmıştır. DPD, ayrık dalgacık dönüşümünün genelleştirilmiş bir hali olup, Coifman ve Wickerhauser (1992) tarafından önerilmiştir. Bugün dalgacıklar ve dalgacık paketleri işaret işlemenin birçok alanında kullanılmaktadır [3].

DD işaretin ölçeklenebilir bir Zaman Frekans Gösterimi (ZFG) ile analizini sağlar ve geleneksel işaret işleme teknikleri Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) ve Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) tarafından görülmeyen detayları meydana çıkarır. KZFD'nin sınırlamalarından biri olan, kullanılan pencerenin sabit olması DD de ölçeklenebilir bir pencere ile giderilmiştir. Böylece işaret içindeki düşük frekans eğilimlerini açmak için geniş bir pencere, yüksek frekans detaylarını analiz etmek için sıkıştırılmış bir pencere kullanılır. Bunun için, DD ölçeklenebilir temel bir dalgacık fonksiyonu kullanıp sabit çözünürlük problemine çözüm getirerek, işaretin farklı çözünürlüklerde daha esnek bir zaman bölgesi analizini yapar [3, 8]. Şekil 2.7'de yaygın olarak kullanılan dalgacıkların bir kısmı verilmiştir. DD zaman–ölçek metoduna dayalı olduğu için, odağa tam olarak ayarlanarak işaretin farklı kısımlarını gözetleyebilen bir matematik mikroskobu gibi davranır [33]. Dalgacık analiz metotlarının geleneksel metotlara göre üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Frekans spektrumundaki farklı bölgeler için, daha kolay farklı frekans çözünürlükleri seçebilir.
- Eğer analizde spektrumdaki birkaç frekans bandı kullanılacaksa, tüm spektrumu hesaplamaya gerek yoktur.
- Spektrumun düşük frekans kısımlarında, DD oldukça hızlıdır.

Bu özelliklerinden dolayı, DD'nin durağan olmayan işaretlerin daha esnek zaman-frekans gösterimlerinin elde edilmesinde etkili bir araç olduğu bilimsel yazında belirtilmiştir [3, 31].

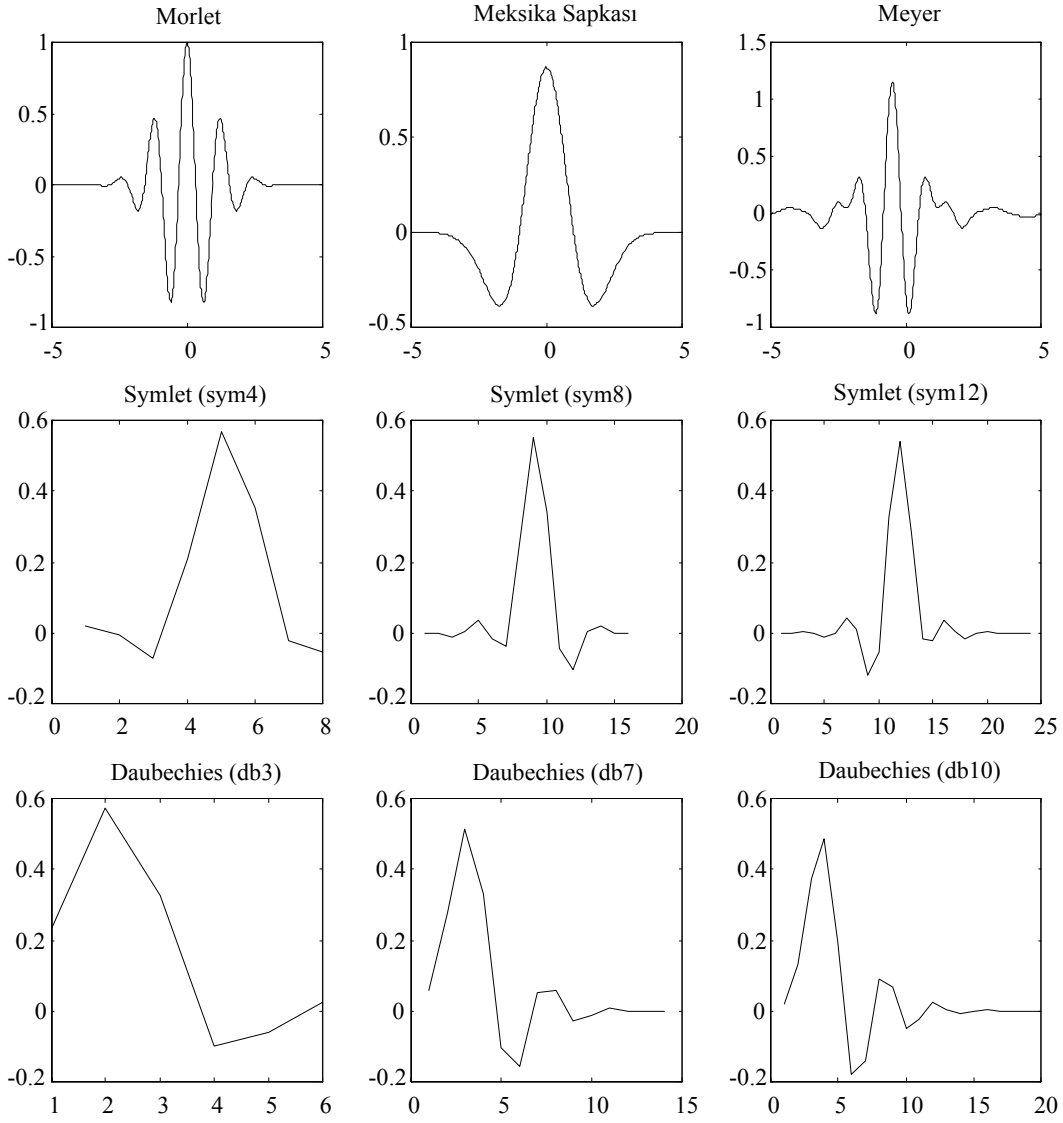
A) Sürekli Dalgacık Dönüşümü

Sürekli DD (SDD) sıkıştırmalar, genişlemeler ve dönüşümler ile tüm zaman ve ölçeklerdeki işaretler ile ana dalgacık arasında uygunluk sağlar.

$$SDD(a,b) = -\int_{-\infty}^{\infty} x(t)\frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)dt \tag{2.15}$$

Burada $x(t)$ işaret, $\psi(t)$ dalgacıktır, b dönüşüm etmeni olup, farklı frekans seviyelerinde ayrışım filtreleri tanımlar ve a ise ölçekleme etmeni olup her seviye için ayrışım filtrelerini ölçeklendirir. Dönüşüm sonucu, zamanın bir fonksiyonu olarak işaret ve dalgacık arasında nasıl karşılıklı bir ilişki (korelasyon) olduğunu gösterir. İşaret ve dalgacık iyi eşleşmişse işaret ve dalgacık arasındaki korelasyon yüksek olur. Uygulamalara bağlı olarak dalgacık türü seçilir. SDD deki ölçekleme kavramı frekans dönüşümündeki (FD) frekansın tersine benzerdir. Dalgacık yüksek oranda sıkışık olduğunda işaretin yüksek frekans detaylarını elde eder.

Dalgacık tamamen genişse dalgacığın uzunluğu, işaretin uzunluğu ile daha uygun benzerlik sağlar ve böylece işaretin düşük frekans eğilimleri ortaya çıkar.



Şekil 2.7. Yaygın olarak kullanılan dalgacık örnekleri.

B) Ayrık Dalgacık Dönüşümü

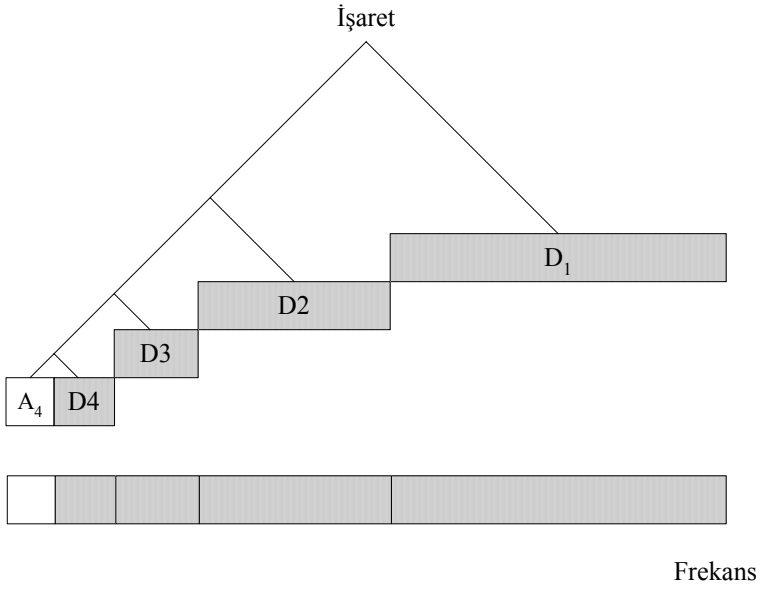
SDD'nin hesaplama yükü fazla ve dönüşümü sağlamak için kullandığı bilgi miktarı oldukça büyüktür. Daha etkili bir yol Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) olup, ana dalgacığın sadece belirli genişlemelerinde işarete bakar. ADD'yi anlamak ve dalgacıkların yerini görmek için filtre bankası kavramını tanıtmak gereklidir. Çünkü filtre bankası, dalgacıkların ayrık eşdeğerleridir.

***Filtre bankası ve alt bant kodlama*:** Tek bir filtre belirli bir frekans cevabına sahiptir ve işaret filtreden geçtikten sonra işaretin içindeki bilginin bir kısmı kaybolur. Bu yüzden tek bir filtre, filtrelenmiş işaretten tekrar asıl işareti yeniden elde etmek için kullanılamaz. Çünkü kaybolmuş bilgi tekrar kazanılamaz. İki filtre kullanılırsa, biri düşük frekans bilgisini, diğeri yüksek frekans bilgisini tutar. Bir başka deyişle işaret içindeki bilginin tümü içerilmiş olunur. Böylece bu iki filtrenin çıkışı asıl işareti yeniden elde etmek için birleştirilebilir. Filtre kümesi veya filtre bankası, spektrum bilgisini ayırmak için kullanılarak işareti gittikçe daha ince frekans bantlarına ayrıştırmayı mümkün kılar. Filtrelerin çıkışından elde edilen veriyi örneklemek gerekir. Çünkü işaret, filtre bankasının her bir seviyesinden geçirildiğinde verinin miktarı iki katına çıkar.

Genellikle ideal olan, işareti daha etkili temsil etmektir. Eğer işaret m tane zaman ile ayrıştırılırsa asıl işaretten 2^m zaman daha fazla veriye sahip olması yararlı değildir. Filtre kümesinin, kusursuz yeniden yapılandırma filtreleri gibi davranabilmesi için özel karakteristiklere sahip olması gerekir. Çünkü gerçek filtreler kusursuz kesim frekanslarına sahip değillerdir. Böylece bilginin tümünü yeniden elde etmek için bitişik filtreler arasında bazı binişmeler vardır. Bu görevi yerine getirmek için geliştirilen filtreler kuvadratür filtreler olarak bilinir [3, 34]. ADD, bu filtrelerden elde edilir. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi işaretin ADD'si, ayrışımının her bir seviyesinde yüksek frekans bileşenleri çıkarılarak, asıl işaretin gittikçe kaba bir yaklaşığının elde edilmesine sebep olacak çok çözünürlüklü bir ayrışımdır. Asıl işaret, en yüksek seviyedeki yaklaşık ve daha düşük seviyelerdeki detay işaretleri birleştirilerek yeniden oluşturulabilir.

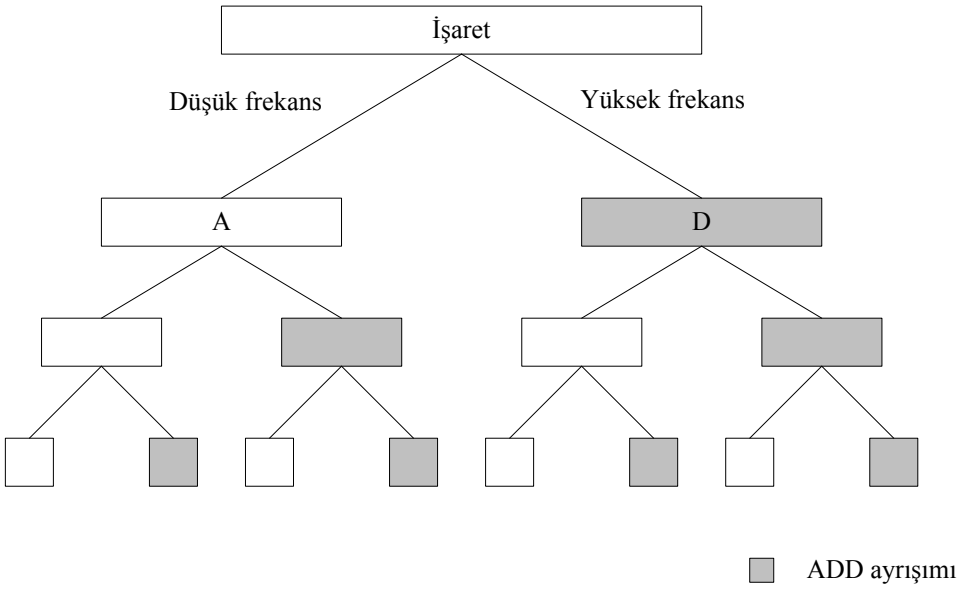
2.2.3. Dalgacık Paket Analizi

DPA, ADD'ye benzer olup işaret üzerinde mümkün olan birçok ayrışımları üretir. Filtre bankası her bir zaman için düşük frekans bileşenlerini tam olarak ayrıştırmak yerine, yüksek frekans bileşenlerini daha iyi ayrıştırmayı mümkün kılar. Böylece tüm zaman-frekans düzlemi Şekil 2.9'da görüldüğü gibi mümkün olan tüm alt bölümlere, farklı zaman–frekans pencereleri ile bölünür [35].



Şekil 2.8. ADD ayrışım ağacı.

DPA'nın avantajı asıl işaretin en uygun ZFG'sini elde etmek için ayrışımın farklı seviyelerini birleştirmeyi mümkün kılmasıdır.



Şekil 2.9. DPA ağaç yapısı.

2.3. Yapay Zeka Teknikleri

Belirli bir yapı kullanarak çözülemeyen yada çözülmesi zor olan problemler için yapay zeka teknikleri geliştirilmiştir. Günümüzde 60'tan fazla yapay zeka tekniğinden söz

edilmektedir [36]. Fakat bu tekniklerin çoğu laboratuar düzeyindedir. Günlük hayatta karşılaşılan karmaşık sistemler farklı yapılarda olduğundan dolayı, hangi yapay zeka tekniğinin daha iyi sonuç ürettiği kesin olarak belirlenmemiştir. Başlıca yapay zeka teknikleri; uzman sistemler, genetik algoritmalar, zeki etmenler, YSA, BM ve UBSA yapılarıdır. Bu tezde bilimsel yazında da yaygın olarak kullanılan yapay zeka teknikleri YSA, BM ve UBSA kullanılmıştır.

2.3.1. Yapay Sinir Ağları

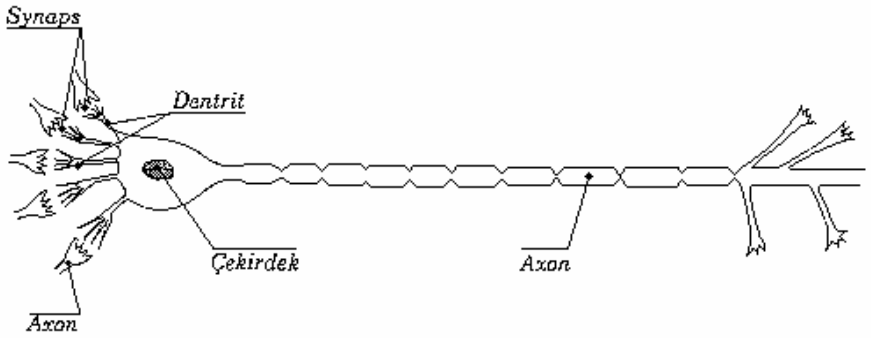
YSA, herhangi bir nesnenin öznitelik vektörünü giriş olarak alan ve çıkış ünitelerinin birinde her bir giriş için bir cevap üreten, doğrusal olmayan pek çok hesaplama elemanlarının paralel işleyişinden meydana gelmiş tümleşik bir yapıdır. YSA'ların paralel yapıları, özellikle ses ve örüntü tanıma gibi alanlarda kullanımını üstün kılmıştır [4, 6, 37–39].

YSA, insan beyninin çalışma prensibinden esinlenerek oluşturulmuş bir bilgi işleme yöntemidir. Bu yapılar, birbirine paralel olarak bağlanmış işlem elemanlarından (yapay sinir ağı hücresi, nöron, ünite, birim, düğüm) ve onların hiyerarşik bir organizasyonundan oluşurlar. YSA'nın çalışma prensibi ile insan beyninin çalışması arasında benzerlikler vardır. YSA, her ne kadar temel yapı itibariyle bir kısım özellikleri insan beyninin fiziki özelliklerinden esinlenerek ortaya atılmış ise de, kesinlikle şu andaki halleri ile insan beyninin ne tam ne de yaklaşık bir modeli olarak değerlendirilemezler [4, 6, 39].

İnsan beyninin ne olduğu ve nasıl çalıştığı henüz kesinlik derecesinde keşfedilmiş sayılmaz. Günümüzde her ne kadar karmaşık matematiksel hesaplamaları ve hafıza işlemlerini eldeki mevcut bilgisayarlarla hızlı ve doğru yapmak mümkün ise de, aynı bilgisayarlarla beynin birçok basit fonksiyonunu (görmek, duymak, koklamak gibi) yerine getirmek ya mümkün olmamakta ya da çok zor olmaktadır. Aynı şekilde biyolojik beyin, tecrübe ile öğrenme ve bilgiyi kendi kendine yorumlama, hatta eksik bilgilerden sonuçlar çıkartma kabiliyetine sahiptir. Bu, daha çok biyolojik sistemlerin, hücreler üzerinde dağıtılmış bilgiyi paralel olarak işleme özelliklerinden kaynaklanır. Hücreler birbirine bağlı ve paralel çalıştıklarından bazılarının işlevini yitirmesi halinde, diğerleri çalıştığı için sinir sistemi, fonksiyonunu tamamen yitirmez. YSA, bu özellikleri bünyesinde toplayacak şekilde geliştirilmektedir. YSA'ları daha iyi anlamak için, önce biyolojik sinir ağlarına bakmak faydalı olacaktır.

Biyolojik sinir ağının en temel elemanı olan sinir hücresi, Şekil 2.10'da verilmiştir. Sinir sistemi içerisindeki fonksiyon ve görevlerine göre, değişik şekil ve büyüklükte olabilir. Bütün hücrelerin ortak bazı özellikleri vardır. Nöronun bir ucunda "dentrit" adı verilen ve hücreye, diğer hücrelerden veya dış dünyadan gelen bilgileri toplayan bağlantı elemanı, diğer

ucunda ise tek bir life benzer "akson" adı verilen ve hücreden diğer hücrelere ve dış dünyaya bilgi taşıyan bağlantı elemanı vardır. Akson diğer hücrelerle birleşme esnasında dağınık dallara ayrılmaktadır. Bu iki uçtaki bağlantı noktalarının, elektrofizyolojik olarak hücrelerdeki bilgileri işlemede önemli yeri vardır. Hücrelerin birbiri ile elektrik işaretleri vasıtasıyla irtibat kurduğu belirlenmiştir. İşaretler, bir hücrenin aksonundan, diğerinin dentritine gönderilir. Bir akson birden fazla dentrit ile bağlantı kurabilir. Bu bağlantıların yapıldığı yere "synaps" denir.

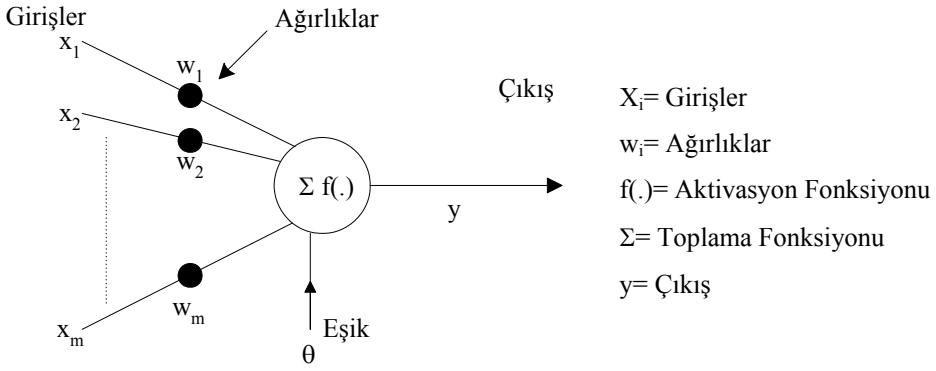


Şekil 2.10. Biyolojik nöronun şematik yapısı

Hücreler, elektrik işaretini hücre duvarlarındaki gerilimi değiştirerek üretirler. Bu ise, hücrenin içinde ve dışında dağılmış iyonlar vasıtası ile olur. Bu iyonlar sodyum, kalsiyum, potasyum ve klorin gibi iyonlardır. Bir hücre, diğer hücreye elektrik enerjisini bu kimyasal iyonlar vasıtasıyla transfer eder. Bazı iyonlar elektrik ve magnetik kutuplaşmaya sebep olurken, bazıları kutuplaşmadan kurtulup hücre zarını açarak iyonların hücreye geçmesine olanak sağlar. Zaten işaretlerin bir hücreden diğerine akmasını sağlayan da bu kutuplaşmanın azalması olayıdır. İşaretler, hücrenin etkinliğini belirler. Bir hücrenin etkinliği, hücreye gelen synaps sayısı, synapslardaki iyonların konsantrasyonu ve bir de synapsın sahip olduğu güç olmak üzere üç faktöre bağlıdır. Bir hücre sahip olduğu dürtü miktarınca diğer hücreleri etkiler. Hücrelerden bazıları diğerlerinin dürtülerini pozitif yönde, bazılarıda negatif yönde etkiler. İnsan sinir ağı sistemi, bu şekilde çalışan milyonlarca hücrenin bir araya gelmesinden oluşur [3, 4, 6].

YSA'lar, biyolojik sinir ağlarından esinlenerek modellenmiş olup, onlardan çok daha basit bir yapıya sahiptir. Geliştirilen birçok YSA biyolojik sinir ağlarının bilinen birkaç özelliğini (öğrenme kabiliyeti gibi) temsil etmek üzere geliştirilmiştir. Bir takım özellikler ise nörofizyolojik yaklaşımlar yerine mühendislik yaklaşımı ile geliştirilmektedir. Bir YSA'nın yapısını belirleyen bazı faktörler vardır. Yapay sinir hücreleri veya mühendislik tabiriyle işlem elemanları, sinir ağının yapısal modelleri, ağın sahip olduğu kural ve stratejisi bunların başında gelir. Bunlar hakkında detaylı bilgiler ve ilgili formüller [4,6] bulunmakla beraber burada kısa bilgiler verilmesi yararlı olacaktır.

YSA, biyolojik sinir ağları gibi yapay sinir hücrelerinin veya işlem elemanlarının bir araya gelmesinden oluşur. Her bir işlem elemanı Şekil 2.11'de görüldüğü gibi beş parçadan oluşur. Bunlar; girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkıştır.

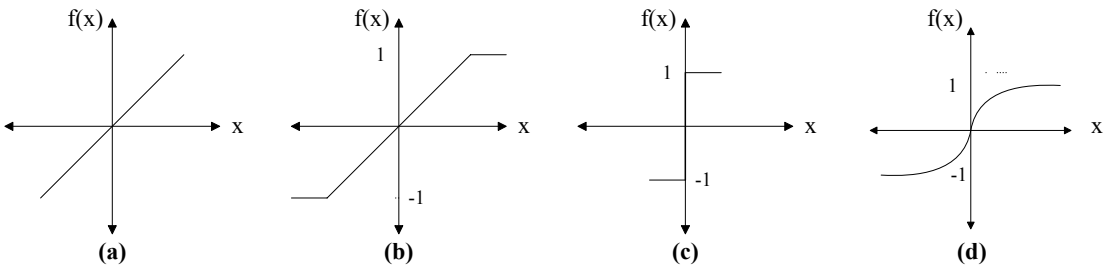


Şekil 2.11. Bir YSA hücresi modeli.

Şekil 2.11'de görülen bir YSA hücresinin matematiksel ifadesi,

$$y = f\left((\sum_{i=1}^{m} w_i.x_i = w_1.x_1 + w_2.x_2 + ... + w_m.x_m) + \theta \right) \qquad (2.16)$$

olarak yazılır. Tıpkı biyolojik sinir hücresi gibi, işlem elemanına birden fazla giriş gelmekte ve sadece bir çıkış gitmektedir. Girişler, dentritlere benzer şekilde diğer yapay hücrelerden bağlantılar vasıtasıyla işlem elemanına bilgi gelmesini sağlarlar. Bazı durumlarda bir işlem elemanı kendisine de bilgiyi geri gönderebilir (geri besleme). Bahsedilen bu bilgiler elemanlar arasında bulunan bağlantı hatları üzerinde depolanır. Her bağlantının bir ağırlığı vardır. Bu ağırlık bir işlem elemanının diğeri üzerindeki etkisini gösterir. Ağırlık büyüdükçe etki de büyür. Ağırlığın sıfır olması hiç bir etkinin olmaması, negatif olması ise etkinin ters yönde olması demektir. Bu ağırlıklar sabit olabildikleri gibi, değişken de olabilirler.



Şekil 2.12. YSA'lar için kullanılan eşik fonksiyonları.

Eşik fonksiyonları, işlem elemanlarının sınırsız sayıdaki girişini önceden belirlenmiş sınırda çıkış olarak düzenler. En çok kullanılan dört tane eşik (aktivasyon) fonksiyonu vardır. Şekil 2.12'de bu fonksiyonlar gösterilmiştir. Bunlar; lineer (a), rampa (b), basamak (c) ve sigmoid (d) fonksiyonudur.

Toplama fonksiyonu, bir işlem elemanına gelen net girişi hesaplayan bir fonksiyondur. Net giriş genellikle gelen bilgilerin ilgili bağlantıların ağırlıkları ile çarpılıp toplanması ile belirlenir. Bu nedenle toplama fonksiyonu olarak adlandırılır. Eşik fonksiyonu da, toplama fonksiyonu tarafından belirlenen net girişi alarak, işlem elemanının çıkışını belirleyen fonksiyondur. Genel olarak türevi alınabilen bir fonksiyon olması tercih edilir.

Toplama ve çıkış fonksiyonları, ilgili probleme bağlı olarak farklı şekiller alabilirler. İşlem elemanının çıkış ünitesi ise çıkış fonksiyonunun ürettiği dürtüyü diğer işlem elemanlarına veya dış dünyaya aktarma işlevini yapar. İşlem elemanları ağın topolojik yapısına bağlı olarak, tamamen birbirinden bağımsız ve paralel olarak çalışabilirler.

2.3.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Yapıları ve Öğrenme

YSA'ların görevlerini gerçekleştirmede, sahip oldukları fiziksel yapının da önemi vardır. Bugün atmışa yakın farklı yapılanma, diğer bir deyişle farklı model görülmekte ve bu sayı her geçen gün artmaktadır [4-6, 34-36]. Farklı yapılaşma, işlem elemanlarının birbirleri ile olan bağlantılarından ve uygulanan öğrenme kuralından kaynaklanmaktadır. İşlem elemanları ya tamamen birbirleri ile bağlantılı yada yerel olarak gruplar halinde bağlantılı olabildikleri gibi değişik şekilde de birbirleri ile bağlanabilmektedirler. Bilgi akışı bu bağlantılar üzerinden tek yönlü olduğu gibi, çift yönlü de olabilir. Bir grup işlem elemanı bir araya gelerek bir katman oluştururlar. Genel itibariyle YSA'larda üç tür katman bulunur. Sinir ağının dış dünya ile bağlantısını kuran giriş katmanı, gelen bilgileri işleme kabiliyetine sahip ara katmanlar ve sinir ağının kararlarını dış dünyaya aktaran bir çıkış katmanı mevcuttur. İşlem elemanları, onların birbirleri ile ilişkileri ve katmanlar arası ilişkiler değişik yapısal modellerin oluşmasına neden olmaktadır.

YSA'nın sahip olduğu bilgi, işlem elemanları arasındaki bağlantı hatları üzerinde saklanır ve ağırlıklar vasıtası ile gösterilir. Ağ, olaylar hakkında giriş ve çıkışlar arasındaki ilişkiyi, elde bulunan mevcut örneklerden genellemeler yaparak öğrenir ve bu genelleme ile yeni oluşan ve ortaya çıkan daha önce hiç görülmemiş olaylar hakkında karar verir. Yani ağa, bir örnek olay gösterildiğinde, giriş katmanından alınıp ara katmanlarda işlenerek, ağın o olay hakkında ürettiği sonuç, çıkış katmanına sunulur. Bu bilgiyi işleme, ağın sahip olduğu tecrübeye

göre, bilginin ara katmanlarda çağrıştırılması ile gerçekleştirilir. Bu çağrıştırma olayı modelden modele değişmektedir. Mesela, ara katmanlardaki işlem elemanları sahip oldukları bağlantılar ile kendi kararlarını üretir ve çıkış katmanındaki işlem elemanlarına gönderirler. Çıkış katmanındaki işlem elemanları da, yine ilgili ağırlıkları kullanarak ağın en son kararını oluştururlar. Bu ağırlıklar, tıpkı ilgili olayın belirli özelliklerini hafızada saklayan elemanlar gibi düşünülebilirler. Bilgi işleme ise bir olay gösterildiğinde hafızadan ilgili özellikleri çağırmak ve bunlar ile ilgili girişleri birlikte analiz ederek karar vermek şeklinde yorumlanabilir [39].

YSA'nın öğrenme işlemini gerçekleştirebilmesi için, sahip olduğu bütün ağırlıkların, ilgili problemde öğrenilmesi istenen özellikleri genelleştirecek şekilde doğru değerlere sahip olması gerekir. Bu doğruluk ne kadar artarsa ağın sınıflandırma kabiliyeti, dolayısı ile öğrenme işlemi o kadar iyi olur. Doğru ağırlık değerleri, bir öğrenme kuralına göre tespit edilirler. Çoğunlukla bağlantılara başlangıç değerleri olarak rasgele ağırlıklar atanır ve bu ağırlıklar, eldeki örnekler incelendikçe bir kurala göre değiştirilerek doğru ağırlık değerleri bulunmaya çalışılır. Öğrenme yöntemleri temelde üç gurupta toplanır [4-6, 39].

Eğiticili Öğrenme: Bu yöntemde, dışardan bir eğiticinin sinir ağına müdahalesi söz konusudur. Eğitici, sinir ağının ilgili giriş için üretmesi gereken sonucu sinir ağı sistemine verir. Yani YSA'ya giriş/çıkış ikilisinden oluşan örnekler sunulur. Bu ikili, ağın öğrenmesi gereken özellikleri temsil eder. Ağ giriş kısmını alır ve o anki bağlantı ağırlıklarının temsil ettiği bilgi ile bir çıkış oluşturur. Bu çıkış, olması gereken çıkış ile mukayese edilir ve aradaki hata tekrar ağa aktarılarak ağırlıklar bu hatayı azaltacak şekilde değiştirilirler.

Takviyeli Öğrenme: Bu yöntemde de yine eğiticiye ihtiyaç vardır. Yukarıdaki yöntemden farkı ise, bu durumda eğiticinin, ağın üretmesi gereken sonuç yerine, onun ürettiği sonucun sadece doğru veya yanlış olduğunu söylemesidir. Bu ise ağa bir takviye işaretinin gönderilmesi ile gerçekleştirilir. Bu yöntem, ilgili örnek için beklenen çıkışın oluşturulamadığı durumlarda çok faydalıdır.

Eğiticisiz Öğrenme: Bu durumda hiç bir eğiticiye ihtiyaç yoktur. Bu nedenle çoğu zaman buna kendi kendine organize olma (self-organized learning) da denilmektedir. Ağ, kendine gösterilen örnekleri alır ve belli bir kritere göre sınıflandırır. Bu kriter önceden bilinmeyebilir. Ağ, kendi öğrenme kriterlerini kendisi oluşturmaktadır.

Öğrenme işleminin, başlangıçtaki rasgele seçilmiş ağırlıklarının, belirli bir kurala göre değiştirilmesine dayandığı belirtilmişti. Bu öğrenme kurallarının bazıları aşağıda yer almaktadır. Bu algoritmalarda, $w_i = [w_1\ w_2\ ...\ w_m]$ vektörü ağdaki i. hücreye gelen n tane girişin ağırlık katsayılarını, $x = [x_1\ x_2\ ...\ x_m]$ vektörü ağa gelen m tane girişi, y_i ve d_i de sırasıyla i. hücrenin hesaplanan ve istenen çıkışını temsil etmektedirler.

***Hebb Öğrenme Algoritması*:** Bilinen en eski öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritmadaki temel fikir; bir hücre kendisi aktif ise bağlı olduğu hücreyi aktif yapacak, kendisi pasif ise bağlı olduğu hücreyi pasif yapacak şekilde bağlantı ağırlıklarını yenilemesidir. Buna göre bu değişim;

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \varepsilon.f\left(w_i(t).x(t)\right).x(t) \tag{2.17}$$

veya

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \varepsilon.y_i(t).x(t) \tag{2.18}$$

olarak tanımlanır. Burada ε 'a öğrenme katsayısı veya öğrenme oranı denilmektedir. Dışardan istenilen bir çıkış uygulanmadığından, eğiticisiz bir öğrenme algoritmasıdır.

Algılayıcı (Perceptron) Öğrenme Algoritması : Rosenblatt tarafından önerilen algılayıcı öğrenme algoritmasında *w* değişimi, nöron çıkışı ve istenilen çıkışın farkı ile orantılıdır. Dolayısıyla eğiticili bir öğrenme algoritmasıdır.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \varepsilon.\left[d_i(t) - sgn\left(w_i(t).x(t)\right)\right].x(t) \tag{2.19}$$

Ağın ürettiği çıkış, istenen çıkıştan farklı ise hata azaltılacak yönde hareket edilmektedir. Hata sıfır olduğunda *w* değişimi durmaktadır.

Delta Kuralı (Eğim Düşme) Öğrenme Algoritması: Eğim düşme (gradient descent) öğrenme algoritması veya "delta kuralı" öğrenme algoritması, sadece türetilebilir fonksiyonlara sahip olan ağlara uygulanabilmektedir. Eğiticili bir öğrenme algoritmasıdır. Ağırlık değişimi, hatanın eğiminin tersi yöndedir. Böylece, hata fonksiyonunun minimum olduğu yere doğru hareket edilmektedir.

$$w_i(t+1) = w_i(t) - \varepsilon.\frac{\partial E(t)}{\partial w(t)} \tag{2.20}$$

Burada *E(t)*, hata fonksiyonunu temsil etmektedir ve

$$E(t) = \frac{1}{2}\left(d_i(t) - y_i(t)\right)^2 \tag{2.21}$$

$$E(t) = \frac{1}{2}\left[d_i(t) - f\left(w_i(t).x(t)\right)\right]^2 \tag{2.22}$$

$$\frac{\partial E(t)}{\partial w(t)} = -\left[d_i(t) - f\left(w_i(t).x(t)\right)\right].\frac{\partial f(w_i(t).x(t))}{\partial(w_i(t).x(t))}.x(t) \tag{2.23}$$

gibi tanımlanır. Bilinen hata geriye yayılım algoritmasının esası, bu öğrenme kuralına dayanmaktadır.

Widrow-Hoff Öğrenme Algoritması : Bu algoritma, eğiticili bir öğrenme algoritmasıdır, ağırlıkların değişimi ağın çıkışından bağımsızdır.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \varepsilon.\left(d_i(t) - w_i(t).x(t)\right).x(t) \tag{2.24}$$

İlintili Öğrenme Algoritması: Hebb öğrenme algoritmasının eğiticili uyarlamasıdır. $f(w_i(t).x_i(t))$ yerine $d_i(t)$ istenen çıkış alındığında (2.25) elde edilir.

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \varepsilon.d_i(t).x(t) \tag{2.25}$$

Yarışmacı Öğrenme Algoritması: Bu algoritmada, giriş işaretine en yakın olan bağlantı ağırlık katsayıları bulunur. Bu ağırlıklara ilişkin nöron, kazanan nöron olarak adlandırılmaktadır. Sadece kazanan nöron bir çıkış üretmekte ve bu nörona ilişkin ağırlıklar değişime uğramaktadır. Eğiticisiz öğrenmenin tipik bir örneği olan bu algoritma sonuçta ağa gelen girişleri sınıflandırmaktadır.

$$w(t+1) = w(t) + \varepsilon.\left(x(t) - w_m(t)\right) \tag{2.26}$$

Burada, w_m kazanan hücrenin bağlantı ağırlık katsayısı olup

$$w_m.x = max(w_i.x) \qquad \text{ve} \quad i = 1,2,...,N \tag{2.27}$$

şeklinde tanımlanır.

Levenberg-Marquart Öğrenme Algoritması: Toplam karesel hatayı sıfırlamak için kullanılan yöntemlerden biridir. Newton metoduna bir yaklaşımdır. Newton metodunun hızı ile adım düşme metodunun sağlamlığının bileşkesi olan bir yöntemdir. Her bir iterasyon adımında hata yüzeyine parabolik yaklaşımlar ile yaklaşılır. Her bir adımın çözümü parabolün

minimumudur. Newton metodu yardımı ile yapılacak hesaplamada dE^2 Hessian matris ve dE eğim katsayıları elde edilir. Ve bu değerler kullanılarak hata sıfıra eşitlenmeye çalışılır.

$$E = \frac{1}{2}\sum_n e^n = \frac{1}{2}\sum_n (y^n - w^T x^n)^2 = \left\| e^n \right\|^2 \tag{2.28}$$

$$Z_i = \frac{\partial e}{\partial \omega_i} \tag{2.29}$$

$$e(w(n+1)) = e(w(n)) + Z(w(n+1)) - w(n) \tag{2.30}$$

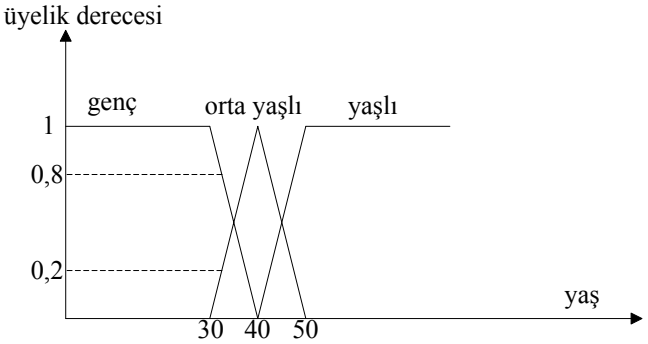
$$\begin{aligned} E &= \left\| e(w(n)) + Z(w(n+1) - w(n)) \right\|^2 \\ \frac{\partial E}{\partial w} &= \left[e(w(n)) + Z(w(n+1) - w(n)) \right]^T Z = 0 \end{aligned} \tag{2.31}$$

$$\left[e(w(n)) + (w(n) - w(n)) \right]^T Z = Z^T \left[e(w(n)) + Z(w(n+1) - w(n)) \right] = 0 \tag{2.32}$$

2.3.2. Bulanık Mantık

İnsan düşüncesinin büyük çoğunluğu bulanık yapıdadır. Bu yüzden 0 ve 1 ile temsil edilen klasik küme mantığı insan düşünce yapısını yeterince ifade edememektedir. Çünkü insan düşünce yapısı; az, çok, sıcak, soğuk gibi kesin ifadelerin yanı sıra orta, serin, çok sıcak gibi ara değerleri de kapsamaktadır. BM, klasik mantığın aksine iki seviyeli değil, çok seviyeli işlemleri kullanmaktadır. Klasik küme tabanlı yapılan çalışmalarda karşılaşılan zorluklar nedeni ile BM tabanlı yapılan çalışmalar hızla gelişerek birçok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir konu olmuştur. BM; denetim, haberleşme, tümleşik devre üretimi, işletme, tıp ve psikoloji gibi birçok farklı alanda uygulanmıştır [35,40]. BM'nin oldukça kapsamlı ve ayrıntılı matematiksel temeli olmasına rağmen, uygulaması kolaydır. Bilinen klasik var-yok mantığında (boolean mantığı) bir eleman bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir (0 veya 1). Bu tür kümelere keskin küme denir. Denetim sistemlerinde bir denetleyici için bu durum ele alınırsa, fiziksel büyüklüklerin oluşturduğu kümeler birbirinden böyle keskin çizgilerle ayrılmışsa, denetim çıkışında ani değişimlerin olması kaçınılmazdır. Örneğin sıcaklık denetimi yapan bir on/off denetleyicide, soğuk-sıcak sınırı 40° C'de ise 39.9°C soğuk olarak algılanırken 40.1°C sıcak olarak algılanacak ve ısıtma-soğutma işlemleri çok ani değişimlerle gerçekleşecektir ki bu

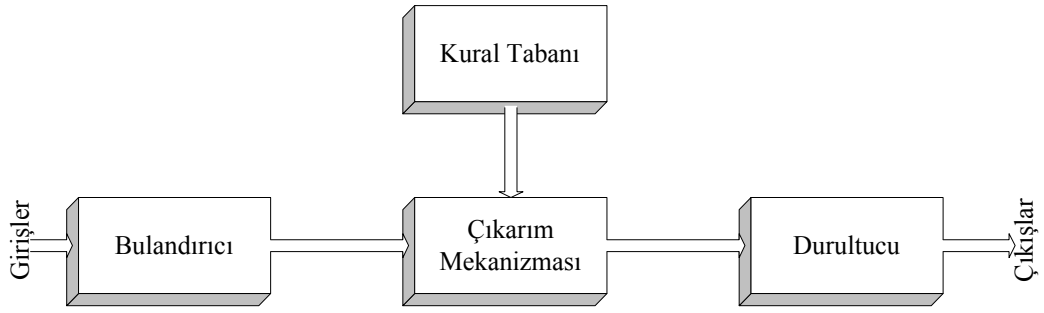
istenmeyen bir durumdur. BM, keskin mantığın soğuk/sıcak gibi ikili kavramları yerine ara kavramlar da tanımlayarak ve her değere bu kümeler içinde bir üyelik derecesi vererek gerçek dünya ile daha iyi bağdaşan uygun bir mantık oluşturur. Bulanık kümeler, Şekil 2.13'de görüldüğü gibi yaş ve benzeri değişkenleri dereceli olarak tanımlamaya imkân verir. Bu özellik sayesinde BM, insan düşünce sistemini klasik var-yok mantığına göre daha iyi modelleyebilir ve insanın tecrübelerini matematiksel ifadelere çok daha doğru şekilde dönüştürebilir [39-41].



Şekil 2.13. Üyelik fonksiyonları ve girişlerin üyelik derecelerinin gösterimi.

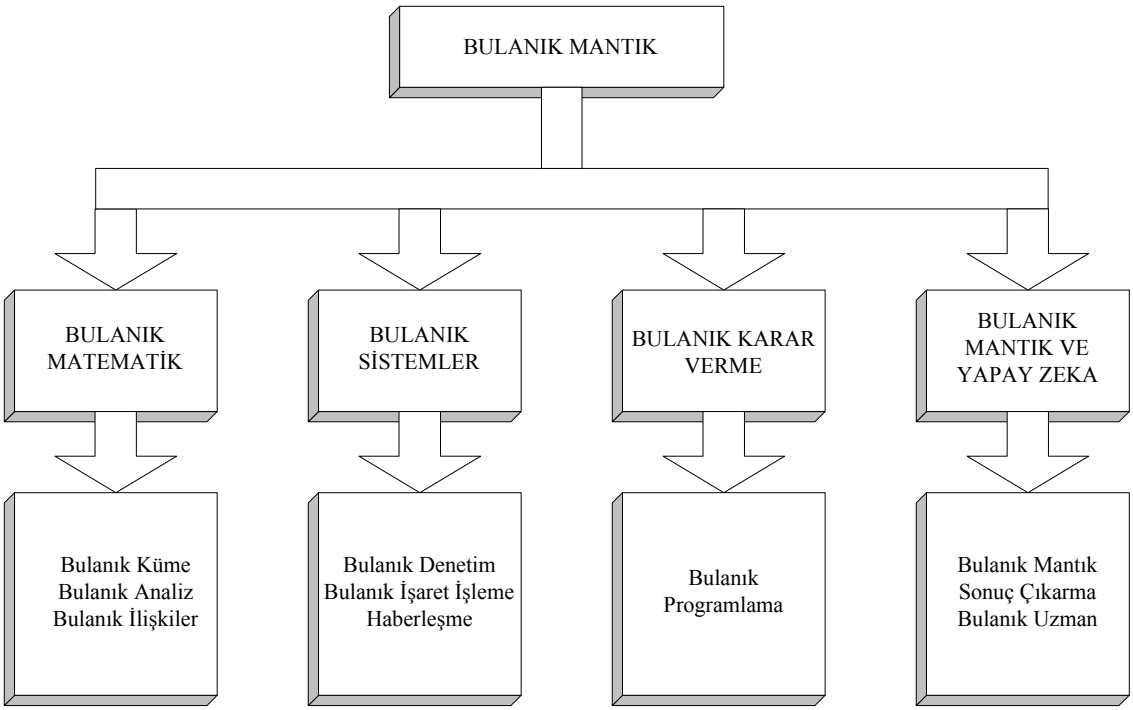
2.3.2.1. Bulanık Sistemlerin Temel Yapısı

Bir bulanık sistem temel olarak dört ana bölümden oluşur. Şekil 2.14'de görüldüğü gibi bunlar; bulandırıcı olarak adlandırılan giriş birimi, kural–tabanı, çıkarım mekanizması, durultucu olarak adlandırılan çıkış birimidir.



Şekil 2.14. Bir bulanık sistemin blok diyagramı.

BM'nin kullanıldığı başlıca araştırma alanları, Şekil 2.15'de verilmiştir. Şüphesiz bu 4 ana dal birbirinden bağımsız değildir ve aralarında kuvvetli bir ilişki vardır [39-41].



Şekil 2.15. Bulanık mantığın uygulama alanları

Bilimsel yazında bazen, yukarıda kural tabanı olarak adlandırılan birim 2 ayrı kısma bölünerek bulanık sistemin ana birimleri 5 kısım halinde ele alınır. Genellikle bu birim, kural tabanı ve veri tabanı diye ikiye ayrılır ve bu birimlerin birleşimi bilgi tabanı olarak adlandırılır [39, 40]. Burada bulanık kümelerin üyelik işlevlerinin bulunduğu veri tabanı kısmı ayrı bir bölüm olarak ele alınmayacak ve kural tabanı adlı bölümün içinde anlatılacaktır.

2.3.2.2. Giriş Birimi

Bir bulanık denetleyicinin giriş birimi, giriş değişkenlerinin değerlerini, çıkarım mekanizmasında kolayca kullanılabilecek bilgilere dönüştürür. Bulandırıcı temel olarak giriş değişkenlerinin aldığı her değere, ilgili giriş değişkeni için tanımlanan tüm bulanık kümeler için bir üyelik derecesi hesaplar. Oluşturulan BM yapısının verimli çalışmasını sağlamak için farklı bulanık kümeler seçilebilir.

2.3.2.3. Kural Tabanı

Bir bulanık denetleyicinin kural tabanı, genellikle denetimi yapılacak sistem hakkında bilgi sahibi uzman kişilerin dilsel ifadelerinden elde edilen bir grup "IF-THEN" kuralından oluşur. Girişler ile çıkışlar arasındaki bağlantılar, bu bölümde yer alan kurallar kullanılarak

sağlanır. Kurallar, bazen matematiksel ilişkilerden de çıkartılabilir. Kural tabanı, bir BM yapısının en önemli bölümüdür. Çünkü diğer bütün bölümler, bu kuralların makul ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi için kullanılır.

2.3.2.4. Çıkarım Mekanizması

Çıkarım mekanizması, bulandırıcının çıkışlarını (üyelik derecelerini) ve kural tabanını kullanarak bir bulanık küme oluşturur. Bu bulanık küme, durultucu tarafından denetleyicinin çıkışını hesaplamak için kullanılacaktır. Çıkarım mekanizmalarında genellikle iki ana yaklaşım kullanılır. Bunlardan ilki "birleşim tabanlı çıkarım" ikincisi ise "bireysel kural tabanlı çıkarım"dır. Bileşim tabanlı çıkarım yönteminde, öncelikle bütün kurallar birleştirilerek tek bir bulanık ilişki elde edilir. Çıkarım bu birleştirilerek oluşturulan tek bulanık ilişki ve bulandırıcıdan gelen sonuçlar kullanılarak gerçekleştirilir.

Bireysel kural tabanlı çıkarım yönteminde ise, her kural bireysel bir bulanık çıkış kümesi belirler ve çıkarım mekanizmasının çıkışı bireysel bulanık çıkış kümelerinin toparlanarak bir araya getirilmesi neticesinde elde edilir [42]. Hesaplama süresi olarak bireysel tabanlı çıkarım mekanizması daha avantajlı olduğundan, denetim sistemlerinde genellikle bu yöntem kullanılır.

Çıkarım mekanizmasında, üç ana işlem türü mevcuttur. Bunlardan ilki kuralların varsayım kısmındaki terimler arasındaki işlemlerdir. Terimler genellikle "AND", "OR" veya "NOT" işlemleriyle bağlanmışlardır. Temel olarak, bu operatörler giriş değerleri ile üyelik dereceleri arasındaki işlemi gerçekleştirir ve sonuç olarak her kural için bir kuralın kesinlik derecesi elde edilir. İkinci işlem ise kuralın kesinlik derecesi ile ilgili kuralın bulanık çıkış kümesi arasındaki "İma" işlemidir. Bu işlemden sonra kural tabanındaki her kural bir ima edilen bulanık çıkış kümesi oluşturur. Üçüncü tür işlem ise, ima edilen bulanık çıkış kümelerini "Toparlama" işlemidir. Bu işlem neticesinde sonuç bulanık çıkış kümesi elde edilir. Bazı durultucu yöntemleri, doğrudan ima edilen bulanık çıkış kümelerini kullanır. Dolayısıyla bu tip durultucular için "Toparlama" işlemi gerekmez [43]. En sık kullanılan operatörler Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. En sık kullanılan matematiksel operatörler

AND	min veya cebirsel çarpma
OR	max veya olasılık VEYA'sı
İMA	min veya cebirsel çarpma
TOPARLAMA	max veya cebirsel toplam

2.3.2.5. Çıkış Birimi

Durultucu birimi, çıkarım mekanizmasının oluşturduğu sonucu kullanarak denetleyicinin çıkışını sayısal olarak hesaplar. En popüler durultma metodu "*Ağırlık Merkezi*" yöntemidir. Bu yöntemde, *C* çıkış üyelik işlevlerinin birleşimi, *u* üyelik değerlerini göstermek üzere, u^* bulanık kümesinin ağırlık merkezi (2.33) ile hesaplanır.

$$u^* = \frac{\int u\mu_c(u)dz}{\int \mu_c(u)dz} \tag{2.33}$$

Fakat $\mu_c(u)$ fonksiyonunun integralini hesaplamak, bazen güç ve zaman alıcı olabilmektedir. Sonuç bulanık çıkış kümesi ima edilen bulanık çıkış kümelerinin birleşimi neticesinden elde edildiğinden, ağırlık merkezi hesaplanmasının yaklaşık değeri, ima edilen bulanık çıkış kümelerinin merkezlerinin ağırlıklı ortalaması hesaplanarak bulunabilir. Örneğin, u_n *n*'inci ima edilen bulanık kümenin merkezi ve w_n de bu kümenin yüksekliği olsun. Buna göre denetleyicinin çıkışının sayısal değeri,

$$u* = \frac{\sum_{n=1}^{m} w_n u_n}{\sum_{n=1}^{m} w_n} \tag{2.34}$$

olarak hesaplanır. Bu yönteme "*Merkezlerin Ağırlıklı Ortalaması*" metodu denir. Çıkış hesaplaması oldukça kolay olduğundan bulanık denetim uygulamalarında en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde, "Toparlama" işlemine ihtiyaç yoktur. Çünkü çıkışın sayısal değeri doğrudan ima edilen bulanık çıkış kümeleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Dikkat edilecek olursa w_n aslında ilgili kuralın kesinlik derecesidir [39, 43]. Hesaplamalarda, çıkış bulanık kümelerinin sadece merkezleri kullanıldığı için, çıkış bulanık kümelerinin şekilleri önemli değildir.

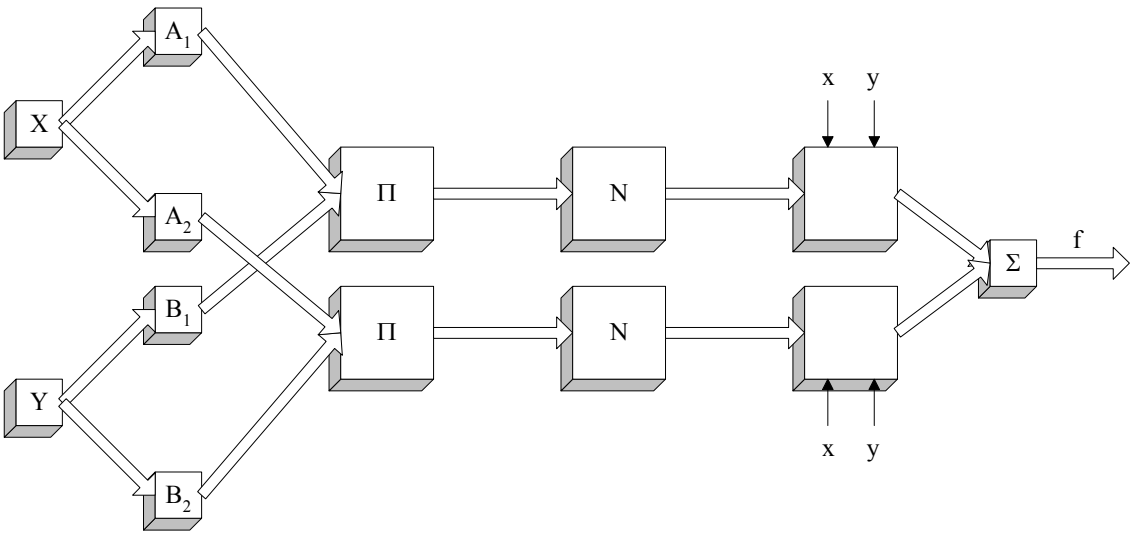
2.3.3. Uyarlamalı Bulanık Sinir Ağ Yapısı

2.3.3.1. Uyarlamalı Bulanık Sinir Ağ Mimarisi

Uyarlamalı Bulanık Sinir Ağ (UBSA) sisteminin yapısında hem YSA hem de BM kullanılır [44]. Yapı bakımından UBSA, bulanık çıkarım sistemindeki eğer-ise kuralları ve giriş-çıkış bilgi çiftlerinden oluşur. Ancak sistem eğitiminde YSA öğrenme algoritmaları kullanılır. UBSA yapısını basit bir şekilde anlatabilmek için örnek olarak iki girişli ve tek çıkışlı bir sistemin beş katmanlı UBSA yapısı, Şekil 2.16'da görülmektedir. Her giriş için iki üyelik fonksiyonu tanımlandığı ve *x, y* giriş *f* çıkış olmak üzere, kurallar aşağıdaki gibi tanımlanır. Burada, A_i ve B_i bulanık kümeleri, p_i, q_i ve r_i sonuç değişkenlerini göstermektedir [43, 44].

Kural 1: Eğer x_1, A_1 ve y_1, B_1 ise $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$

Kural 2: Eğer x_2, A_2 ve y_2, B_2 ise $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$



Şekil 2.16. 2 girişli 4 kurallı bir UBSA sınıflandırıcı yapısı.

***1.Katman**:* Bu katmandaki her bir düğüm bir bulanık kümeyi ifade eder. Bu katmandaki hücre sayısı, iki giriş ve bu iki girişin her birine iki üyelik fonksiyonu tanımlandığına göre dörttür. Bu katmandaki düğümlerin çıkışı, giriş örneklerine ve kullanılan üyelik işlevine bağlı olan üyelik dereceleridir. Bu düğümlerden elde edilen üyelik dereceleri veya düğüm çıkışları (2.35)'deki gibidir.

$$O_i^1 = \mu_{Ai}(x) \qquad i=1,2$$
$$O_{i+2}^1 = \mu_{Bi}(y) \qquad (2.35)$$

Kullanılan üyelik fonksiyonu olarak çan eğrisi fonksiyonu kullanıldığı kabul edilmiştir. (2.36)'da m_i çan eğrisi üyelik fonksiyonunun orta noktasını, σ_i standart sapmasını göstermek üzere sonuç işlevi (2.36)'da verilmiştir.

$$\mu_{Ai}(x) = exp\left[-\left(\frac{x - m_i}{\sigma_i} \right)^2 \right] \tag{2.36}$$

2. Katman: Burada kuralların kesinlik dereceleri cebirsel çarpım kullanılarak bulunur.

$$O_i^2 = \mu_i = \mu_{Ai}(x)\mu_{Bi}(y) \qquad i=1,2 \tag{2.37}$$

3. Katman: Bu katmanda kuralların normalizasyon işlemi yapılmaktadır.

$$O_i^3 = \overline{\mu}_i = \frac{\mu_i}{\mu_1 + \mu_2} \qquad i=1,2 \tag{2.38}$$

4. Katman: Bu katmanda normalize edilmiş her bir kural kendine ait çıkış fonksiyonu ile çarpılır.

$$O_i^4 = \overline{\mu}_i f_i = \overline{\mu}_i (p_i x + q_i y + r_i) \tag{2.39}$$

Buradaki *p, q* ve *r* lineer parametreleri, sonuç parametreleri olarak adlandırılır.

5. Katman: 4. Katman çıkışlarının toplanarak UBSA çıkışının sayısal değerinin bulunduğu kısımdır.

$$O^5 = \sum_i \overline{\mu}_i f_i = \frac{\sum_i \mu_i f_i}{\sum_i \mu_i} \tag{2.40}$$

2.3.3.2. Uyarlamalı Bulanık Sinir Ağ İçin Geri Yayılımlı Öğrenme Algoritması

Geri yayılımlı öğrenme algoritmasında ağın çıkışından elde edilen hata değeri giriş katmanına kadar geriye doğru yansıtılarak gerekli ağırlık değişkenlerinin ayarlanması gerçekleştirilir [43, 44]. Amaç *E* hata ölçütünü öğrenme işlemi sonunda bütün giriş örnekleri

için sıfıra götürmektir. Ağın çıkışındaki e hata değeri, istenen değer d ile gerçek çıkış f arasındaki farktır ve (2.41) ile ifade edilir.

$$e = d - f \tag{2.41}$$

Bu hata değerine en küçük kareler yöntemi uygulanarak hata ölçütü E

$$E = \frac{1}{2} e^2 \tag{2.42}$$

olarak hesaplanır. Hata ölçütü kullanılarak hata geriye doğru katman katman aşağıdai gibi yansıtılır,

5. Katman: Bu katmanda herhangi bir ağırlık değeri ayarlaması yoktur, sadece çıkıştaki hatanın katman çıkışına yansıması hesaplanır,

$$\delta^5 = -\frac{\partial E}{\partial f} = -\left[\frac{\partial E}{\partial e}\frac{\partial e}{\partial f}\right] = e \tag{2.43}$$

4. Katman: Bu katmanda, p_i, q_i ve r_i sonuç değişkenlerinin ayarlanması için gerekli hesaplamalar yapılır.

$$\Delta p_i = -\frac{\partial E}{\partial p_i} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f}\right]\left[\frac{\partial f}{\partial p_i}\right] \tag{2.44}$$

$$f = \sum_i \overline{\mu}_i (p_i x + q_i y + r_i) \qquad i = 1,2 \tag{2.45}$$

$$\frac{\partial f}{\partial p_i} = \overline{\mu}_i x \tag{2.46}$$

buradan,

$$\Delta p_i = \delta^5 \overline{\mu}_i x \tag{2.47}$$

Aynı işlemler diğer sonuç değişkenlerine de uygulanarak değişimler hesaplanır. Buna göre,

$$\Delta q_i = \delta^5 \overline{\mu}_i y \tag{2.48}$$

$$\Delta r_i = \delta^5 \overline{\mu}_i \tag{2.49}$$

olur. Elde edilen bu ifadelere öğrenme oranı η eklenerek üçgen (delta) kuralı uygulanır. $n = \{p, q, r\}$ olarak alınırsa bu ifadeler tek bir eşitlik olarak aşağıdaki gibi gösterilir.

$$n_i(k+1) = n_i(k) + \eta_n \Delta n_i(k+1) \tag{2.50}$$

3. Katman: Bu katmanda çıkış katmanından yansıyan hata değeri hesaplanır herhangi bir ağırlık hesaplaması yoktur,

$$\delta_i^3 = -\frac{\partial E}{\partial \overline{\mu}_i} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f} \right] \left[\frac{\partial f}{\partial \overline{\mu}_i} \right] \qquad i = 1,2 \tag{2.51}$$

$$f = \sum_i \overline{\mu}_i f_i \tag{2.52}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \overline{\mu}_i} = f_i \tag{2.53}$$

$$\delta_i^3 = \delta^5 f_i \tag{2.54}$$

2. Katman: Bu katmanda çıkış katmanından yansıyan hata değeri hesaplanır herhangi bir ağırlık hesaplaması yoktur,

$$\delta_i^2 = -\frac{\partial E}{\partial \mu_i} = \left[-\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \overline{\mu}_i} \right] \left[\frac{\partial \overline{\mu}_i}{\partial \mu_i} \right] \qquad i = 1,2 \tag{2.55}$$

$\overline{\mu}_i = \dfrac{\mu_i}{\sum_i \mu_i}$, bu ifade de $a = \sum_i \mu_i$ olarak alınırsa,

$$\frac{\partial \overline{\mu}_i}{\partial \mu_i} = \left[\frac{a - \mu_i}{a^2} \right] \tag{2.56}$$

olarak bulunur. Bu ifade (2.55)'de yerine konularak aşağıdaki son durum elde edilir.

$$\delta_i^2 = \delta_i^3 \left[\frac{a - \mu_i}{a^2} \right] \tag{2.57}$$

1. Katman: Bu katmanda hem hata değeri hem de giriş üyelik işlevlerine ait değişkenlerin ayarlanması gerçekleştirilir.

$$\delta_i^1 = -\frac{\partial E}{\partial \mu_{Ai}} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \overline{\mu}_i} \frac{\partial \overline{\mu}_i}{\partial \mu_i} \right] \left[\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{Ai}} \right] \qquad i = 1,2 \tag{2.58}$$

$$\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{Ai}} = \mu_{Bi} \tag{2.59}$$

$$\delta_i^1 = \delta_i^2 \mu_{Bi} \tag{2.60}$$

$$\delta_{i+2}^1 = -\frac{\partial E}{\partial \mu_{Bi}} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \overline{\mu}_i} \frac{\partial \overline{\mu}_i}{\partial \mu_i} \right] \left[\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{Bi}} \right] \tag{2.61}$$

$$\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{Bi}} = \mu_{Ai} \tag{2.62}$$

$$\delta_{i+2}^1 = \delta_i^2 \mu_{Ai} \tag{2.63}$$

$$\mu_{Ai} = exp\left[-\left(\frac{x - m_i}{\sigma_i} \right)^2 \right] \qquad v_i = -\left[\frac{x - m_i}{\sigma_i} \right]^2 \qquad \mu_{Ai} = exp[v_i] \tag{2.64}$$

Çan eğrisi şekilli üyelik işlevlerinin orta noktalarındaki değişim aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\Delta m_i = -\frac{\partial E}{\partial m_i} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f} \frac{\partial f}{\partial \overline{\mu}_i} \frac{\partial \overline{\mu}_i}{\partial \mu_i} \frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{Ai}} \right] \left[\frac{\partial \mu_{Ai}}{\partial v_i} \frac{\partial v_i}{\partial m_i} \right] \qquad i = 1,2 \tag{2.65}$$

$$\frac{\partial \mu_{Ai}}{\partial v_i} = \exp[v_i] = \mu_{Ai} \tag{2.66}$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial m_i} = 2\left[\frac{x - m_i}{\sigma_i^2} \right] \tag{2.67}$$

$$\Delta m_i = 2\left[\frac{x - m_i}{\sigma_i^2} \right] \delta_i^1 \mu_{Ai} \qquad \delta_i^1 = \delta_i^2 \mu_{Bi} \tag{2.68}$$

$$\Delta m_i = 2\left[\frac{x - m_i}{\sigma_i^2}\right]\delta_i^2 \mu_{Ai}\mu_{Bi} \qquad \mu_i = \mu_{Ai}\mu_{Bi} \tag{2.69}$$

$$\Delta m_i = 2\left[\frac{x - m_i}{\sigma_i^2}\right]\delta_i^2 \mu_i \tag{2.70}$$

Aynı şekilde Δm_{i+2} aşağıdaki şekilde elde edilir,

$$\Delta m_{i+2} = 2\left[\frac{y - m_{i+2}}{\sigma_{i+2}^2}\right]\delta_i^2 \mu_i \tag{2.71}$$

Çan eğrisi şekilli üyelik işlevlerinin standart sapmalarındaki değişim aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\Delta\sigma_i = -\frac{\partial E}{\partial \sigma_i} = -\left[\frac{\partial E}{\partial f}\frac{\partial f}{\partial \overline{\mu}_i}\frac{\partial \overline{\mu}_i}{\partial \mu_i}\frac{\partial \mu_i}{\partial \mu_{Ai}}\right]\left[\frac{\partial \mu_{Ai}}{\partial v_i}\frac{\partial v_i}{\partial \sigma_i}\right] \qquad i = 1,2 \tag{2.72}$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial \sigma_i} = 2\left[\frac{(x - m_i)^2}{\sigma_i^3}\right] \tag{2.73}$$

$$\Delta\sigma_i = 2\left[\frac{(x - m_i)^2}{\sigma_i^3}\right]\delta_i^2 \mu_i \tag{2.74}$$

Aynı şekilde $\Delta\sigma_{i+2}$ aşağıdaki şekilde elde edilir,

$$\Delta\sigma_{i+2} = 2\left[\frac{(y - m_{i+2})^2}{\sigma_{i+2}^3}\right]\delta_i^2 \mu_i \tag{2.75}$$

Elde edilen bu değişimlere üçgen kuralı uygulanarak üyelik işlevine ait değişkenlerin ayarlanması aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir.

$$m_i(k+1) = m_i(k) + \eta_m \Delta m_i(k+1) \qquad i=1,2,3,4 \tag{2.76}$$

$$\sigma_i(k+1) = \sigma_i(k) + \eta_m \Delta\sigma_i(k+1) \qquad i=1,23,4 \tag{2.77}$$

2.4. Karmaşık Sistemler

Çok sayıda doğrusal olmayan etkileşimli süreç yada elemandan meydana gelen sistemlere karmaşık sistemler denir. Karmaşık sistemler ile çok farklı alanlarda özellikle petrol endüstrisi, metal sanayi, işaret işleme, görüntü işleme, elektrik, elektronik, bilgisayar, hastalık teşhisi, biyokimyasal süreçler, medikal cihazlar, yenilenebilir enerji kaynakları, su kaynakları gibi alanlarda karşılaşılmaktadır. Bu tezde incelenecek olan sistemler; Chua devresi, varikap diyot, histerisiz çevrimli indüktans, atık su arıtma tesisi ve hidrolik sistemlerden savak yapıları olup, bunlar aşağıda açıklanmıştır:

2.4.1. İndüktans

Doğrusal bir L indüktansının gerilimine ilişkin tanım bağıntısı,

$$V = L\frac{di}{dt} \tag{2.78}$$

olur. Doğrusal bir bobinin indüktansı, fiziksel özelliklerine bağlıdır. Farklı yapıdaki bobinlerin indüktansı elektromanyetik alan teorisine dayalı olarak hesaplanır ve bu hesaplar bilimsel yazında bulunabilir. Örnek olarak bir selenoidin indüktansı,

$$L = \frac{N^2 \mu A}{\ell} \tag{2.79}$$

ile hesaplanır. Burada; N sarım sayısını, ℓ manyetik akı uzunluğu, A kesiti, μ ise malzemenin manyetik geçirgenliğini göstermektedir. Doğrusal bir bobinin akım bağıntısı,

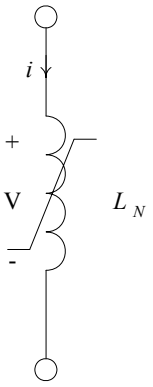
$$i = \frac{1}{L}\int_{-\infty}^{t} v(t)dt + i(t_0) \tag{2.80}$$

olur. Doğrusal olmayan indüktansın denklemlerle ifade edilmesi oldukça zordur. Birçok parçalı diferansiyel denklem kullanılarak bu bağıntıların tanımlanması gerekir [45-48]. Karmaşık bir sistem olarak kabul edilen doğrusal olmayan indüktansın devre sembolü, Şekil 2.17'de ve histerisiz çevrimli i-φ karakteristiği Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Bu karakteristiği ifade etmek

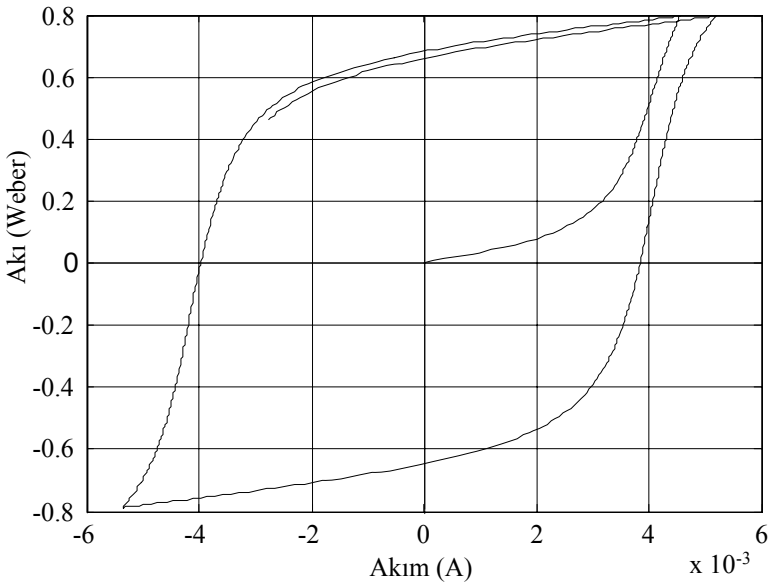
için birçok denklem gereklidir. Bu denklemler basit formda (i) akım, (v) gerilim ve (φ) akıya bağlı olarak,

$$i = f(v, \varphi) \tag{2.81}$$

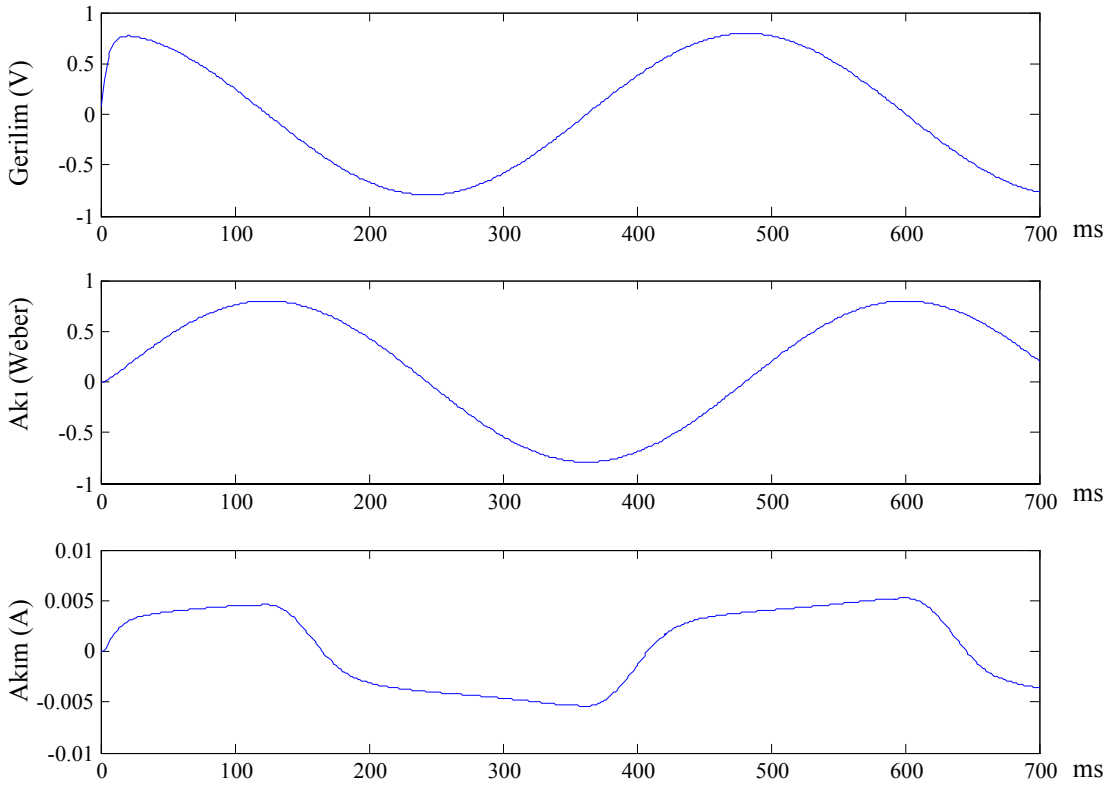
gibi yazılabilir [47]. MATLAB güç sistemleri ve simulink araçları kullanılarak histerisiz çevrimli indüktansın i-φ karakteristiği elde edilmiştir. Doyumlu transformatörün uçlarından gerilim uygulanmış ve oluşan akım ve akı değerleri kaydedilmiştir. Uygulanan gerilim ve oluşan akım ve akı işaretleri, t=0.01 örnekleme adımı için Şekil 2.19'da gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Doğrusal olmayan indüktans.



Şekil 2.18. İndüktansın φ - i karakteristiği.



Şekil 2.19. Histerisiz çevrimi oluşturmak için uygulanan gerilim ve oluşan akım ve akı işaretleri.

2.4.2. Chua Devresi

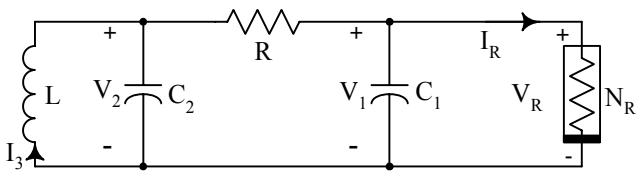
Şekil 2.20.a'da görülen Chua devresi, bir tank resonatör, bir filtre ve bir gerilim kontrollü aktif doğrusal olmayan dirençten oluşan, üçüncü dereceden bir kaotik osilatör devresidir. Devrenin durum değişkenleri (2.82)'de verilmiştir [49].

$$\begin{aligned} \frac{dI_3}{dt} &= -\frac{1}{L}V_2 \\ \frac{dV_2}{dt} &= \frac{1}{C_2}I_3 - \frac{G}{C_2}(V_2 - V_1) \\ \frac{dV_1}{dt} &= \frac{G}{C_1}(V_2 - V_1) - \frac{1}{C_1}f(V_1) \end{aligned} \tag{2.82}$$

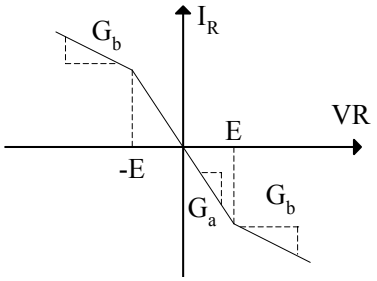
Burada $f(V_1)$, Şekil 2.20.b'de karakteristiği görülen parça-parça doğrusallaştırılmış direncin bir fonksiyonudur. Bu fonksiyon (2.83)'deki gibi tanımlanır. Burada G_a ve G_b eğimleri, E ise doğrusal olmayan direncin kırılma noktalarını, yani doğrusal bölgelerin

sınırlarını gösterir. Şekil 2.20.a'da yer alan doğrusal olmayan direncin (N_R) akımı, gerilimin bir fonksiyonu olduğu için gerilim kontrollü bir direnç olarak da adlandırılır.

$$f(V_1) = G_b V_1 + \frac{1}{2}(G_a - G_b)[|V_1 + E| - |V_1 - E|] \tag{2.83}$$



(a)



(b)

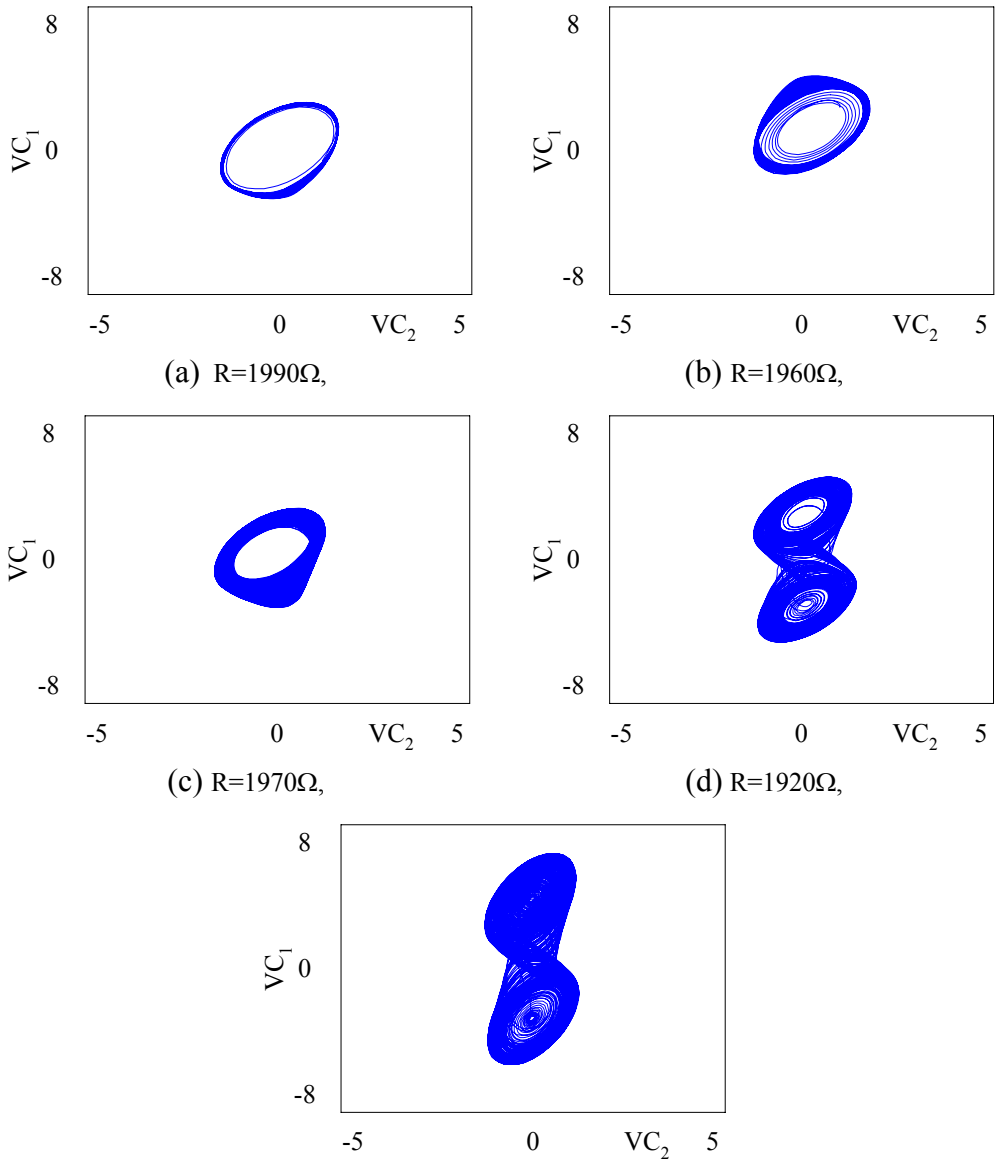
Şekil 2.20. (a) Chua devresi ve (b) doğrusal olmayan direncin akım gerilim karakteristiği.

Chua devresi durum değişkenleri (2.82)'de verilen bağıntılar ve Tablo 2.3'de verilen parametre değerleri kullanılarak MATLAB ortamında RungeKutta enterpolasyon metodu ile t=0.01 örnekleme adımı kullanılarak çözülmüştür. Başlangıç şartları ve diğer parametreler değiştirilmeden sadece *R* direncinin değeri değiştirilerek farklı dinamik davranışlar elde edilmiştir. *R*'nin değişimine bağlı olarak elde edilen dinamik davranışların bazıları Şekil 2.21'de gösterilmiştir. *R* direncinin değerine bağlı olarak elde edilen davranışlar sırasıyla; periyodik pencereler (Şekil 2.21.a), spiral çeker (Şekil 2.21.b,c) ve çift kaydıraçlı çeker (Şekil 2.21.d,e) dir [49-50].

2.4.2.1. Boyutsuz Chua Devresi Denklemleri

Chua devresi denklemleri, devre parametrelerinden bağımsız olarak boyutsuz yazılabilir [49, 50]. Böylece devre yedi parametre yerine dört parametre (α , β , a ve b) kullanılarak tanımlanır. Bu boyutsuz denklemler ile üç boyutlu diyagramlar, bir boyutlu diyagramlarla ilişkilendirilebilirler. Boyutsuz denklemler kullanılarak, benzetim zamanının küçülmesi bakımından bir avantaj sağlanmaktadır. Çatallaşma diyagramı olarak adlandırılan ve Şekil

2.22'de görülen diyagram, boyutsuz denklemler kullanılarak elde edilir [49, 50]. Bu diyagram ile sistemin hangi bölgelerde kaosa girdiği ya da osilasyonlar yaptığı rahatlıkla izlenebilir. (2.82)'deki değişkenlere $x = V_1/E$, $y = V_2/E$, $z = I_3/(EG)$, $\tau = tG/C_2$, $a = G_a/G = 1 + G_a/G$, $b = G_b/G = 1 + G_b/G$, $\alpha = C_2/C_1$ ve $\beta = C_2/(LG^2)$ şeklinde değişken değiştirme işlemleri yapılırsa, (2.84)'de görülen boyutsuz formdaki Chua devresi denklemleri elde edilir.



(a) R=1990Ω, (b) R=1960Ω,

(c) R=1970Ω, (d) R=1920Ω,

(e) R=1950Ω,

Şekil 2.21. Chua devresinden elde edilen davranışlar (a) Periyodik pencereler, (b, c) Spiral çeker, (d, e) Çift kaydıraçlı çeker.

$$\frac{dz}{d\tau} = -\beta \cdot y \tag{2.84.a}$$

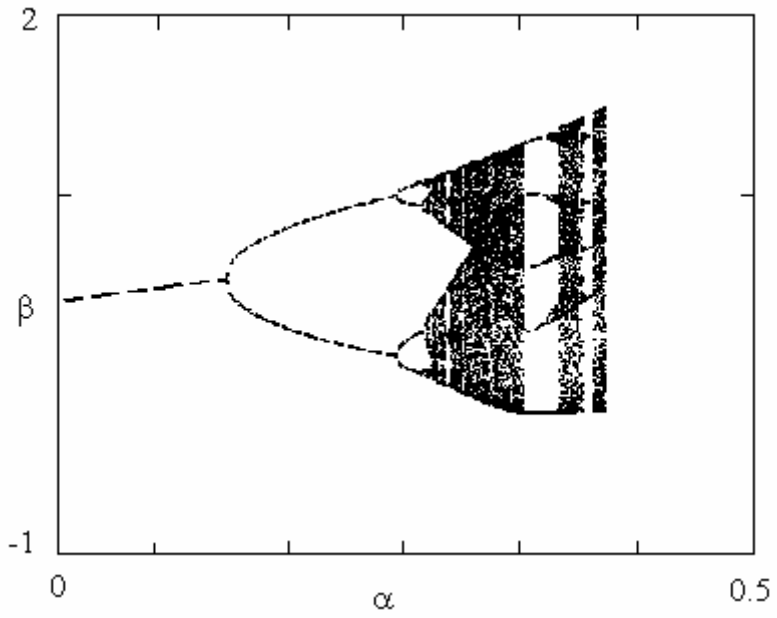
$$\frac{dy}{d\tau} = x - y + z \tag{2.84.b}$$

$$\frac{dx}{d\tau} = \alpha \cdot (y - g(x)) \tag{2.84.c}$$

$$g(x) = b \cdot x + \frac{1}{2}(a-b) \cdot [|x+1| - |x-1|] \tag{2.84.d}$$

Tablo 2.3. MATLAB'da kullanılan Chua devresi parametre değerleri.

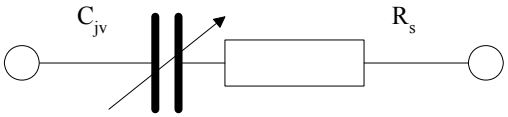
Parametre	**Değeri**	**Parametre**	**Değeri**
$VC_1(0)$	0 V	E	1 V
$VC_2(0)$	4 V	C_1	10e-9 F
$i_L(0)$	0 A	C_2	100e-9 F
Ga	-747e-6 μS	L	18.68e-3 H
Gb	-409e-6 μS	R	(1900-2000) Ω



Şekil 2.22. Chua devresinin çatallaşma diyagramı.

2.4.3. Varikap Diyot

Varaktör olarak adlandırılan varikap diyot, günümüzde çeşitli osilatör ve filtre gibi değişken kapasite gerekli olan devrelerde kullanılmaktadır. Ters ön-gerilimlendiğinde değişme aralığı küçük bir kapasitör özelliği göstermektedir. Uygulanan ters ön-gerilim değeri değiştirilerek diyotun kapasitansı değiştirilir. Fakat varikap diyotun bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlardan birincisi osilatör devrelerinde gürültü üretmeleri, diğeri ise gerilim-kapasite değişimlerinin doğrusal olmamasıdır. Karmaşık bir sistem olarak kabul edilen varikap diyot Şekil 2.23'de görüldüğü gibi değişken bir kapasite ve buna seri bir direnç ile modellenebilir.

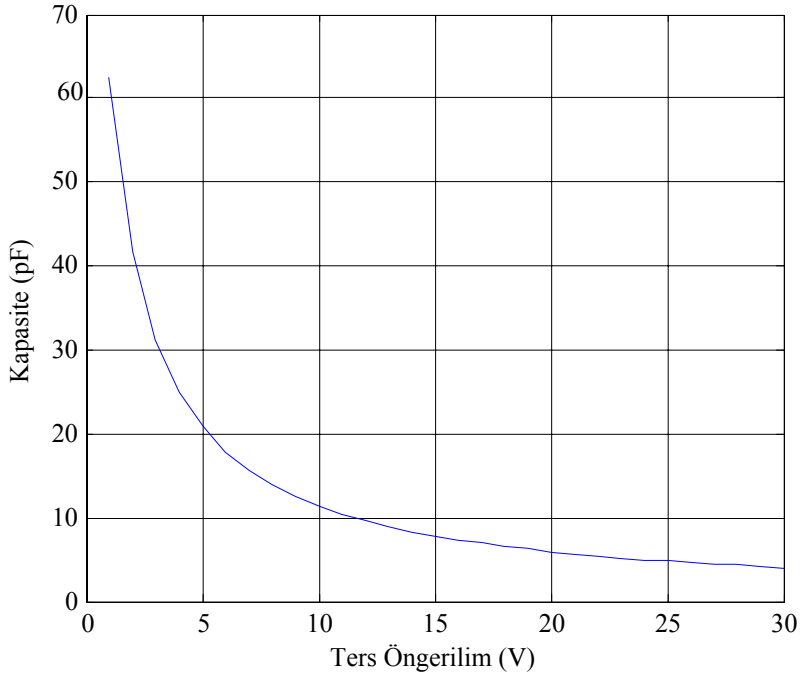


Şekil 2.23. Varikap diyot eşdeğer modeli.

Kapasite değeri ters ön-gerilim değeri değiştirilerek ayarlanır. Oluşan yeni kapasite değeri (2.85) ile hesaplanır. Burada *Cjo* sıfır volt ters ön-gerilimdeki kapasite değeri, *Cjv* uygulanan ters ön-gerilim değerindeki kapasite değeri, *Vr* uygulanan ters ön-gerilim değeri, φ temas potansiyeli, *N* ise jonksiyon derecesidir [51].

$$C_{jv} = \frac{C_{j0}}{(1 + V_r / \varphi)^N} \tag{2.85}$$

Varikap diyot, MATLAB ortamında (2.85) kullanılarak uygulanan ters gerilime bağlı olarak oluşan kapasite değeri hesaplanmıştır. Gerilim-kapasite karakteristiği Şekil 2.24'de gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Varikap diyot gerilim-kapasite karakteristiği.

2.4.4. Su Yapıları (Savak Havalandırıcılar)

Akarsu, göl ve rezervuarlarda en önemli su kalite parametrelerinden biri, su içindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonudur. Tabii olarak meydana gelen birçok biyolojik faaliyet ve kimyasal reaksiyonlarda oksijen kullanılır. Bu nedenle, sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu azalır. Fiziksel olarak oksijen transfer işlemi, oksijenin atmosferden alınarak yeniden suya kazandırılmasıdır ki buna havalandırma adı verilmektedir [52].

Günümüzde, çeşitli nedenlerle akarsularda oluşan çözünmüş oksijen konsantrasyonu eksikliğinin, ekolojik dengeyi tehdit ettiği bilinmektedir. Bu doğrultuda ekolojik dengeyi korumak için akarsularda gerekli olan çözünmüş oksijen konsantrasyonu (5 mg/L) sağlanmalıdır. Akarsular üzerinde inşa edilecek olan hidrolik yapılarla, havalandırma yapılarak gerekli çözünmüş oksijen konsantrasyonu suya kazandırılabilir.

Oksijen transferinin hızlandırılması için, çok miktarda hava kabarcığının su içerisine kazandırılması gerekmektedir. Bu hava kabarcıkları, kütle transferi için mevcut olan yüzey alanını arttırır. Hidrolik yapılar ile bir düşü yüksekliği kazandırılmış suyun, mansap tarafındaki su yüzeyine çarptırılması sonucu atmosferden absorbe edilen hava, su içerisine aktarılır. Böylece suya hızlı bir şekilde oksijen kazanımı sağlanmış olur. Hidrolik yapılarla gerçekleştirilen oksijen transferinin verimi (havalandırma verimi), su kalitesi, su sıcaklığı,

mansap su derinliği, savak üzerindeki suyun düşme yüksekliği, hidrolik savak yükü, çözünmüş oksijen eksikliği ve savak tipi gibi ana parametrelere bağlıdır [52].

Tablo 2.4. Trapez şekilli savağa ait deney verileri.

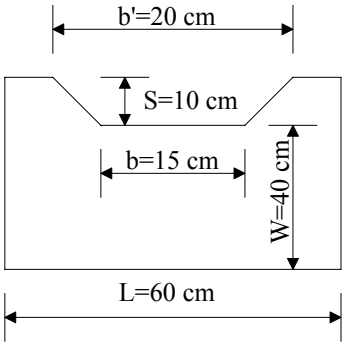
No	Q	h	H	T	Cu	Cd	Cs	r	E	E20
	(L/s)	(m)	(m)	(^{o}C)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(-)	(-)	(-)
1.	1	0.15	0.50	23.0	4.4	4.5	7.55	1.03	0.03	0.03
2.	2	0.15	0.50	21.5	4.5	4.6	7.78	1.03	0.03	0.03
3.	3	0.15	0.50	21.4	4.1	4.3	7.79	1.06	0.06	0.06
4.	4	0.15	0.50	21.0	4.0	4.0	7.85	1.00	0.00	0.00
5.	1	0.30	0.50	22.7	4.4	4.6	7.60	1.07	0.07	0.07
6.	2	0.30	0.50	21.3	4.5	4.7	7.81	1.06	0.06	0.06
7.	3	0.30	0.50	21.3	4.1	4.4	7.81	1.09	0.08	0.08
8.	4	0.30	0.50	20.8	4.0	4.3	7.90	1.08	0.07	0.07
9.	1	0.45	0.50	22.5	4.4	4.7	7.63	1.10	0.09	0.09
10.	2	0.45	0.50	21.3	4.5	4.7	7.81	1.06	0.06	0.06
11.	3	0.45	0.50	21.2	4.1	4.6	7.82	1.16	0.14	0.14
12.	4	0.45	0.50	20.8	4.0	4.5	7.90	1.15	0.13	0.13
13.	1	0.60	0.50	22.4	4.4	5.0	7.64	1.23	0.19	0.18
14.	2	0.60	0.50	21.4	4.5	4.9	7.79	1.14	0.12	0.12
15.	3	0.60	0.50	21.2	4.1	4.9	7.82	1.27	0.21	0.21
16.	4	0.60	0.50	20.8	4.0	4.7	7.90	1.22	0.18	0.18
17.	1	0.75	0.50	22.4	4.4	5.5	7.64	1.51	0.34	0.33
18.	2	0.75	0.50	21.5	4.5	5.4	7.78	1.38	0.28	0.27
19.	3	0.75	0.50	21.2	4.1	5.2	7.82	1.42	0.30	0.29
20.	4	0.75	0.50	20.8	4.0	5.0	7.90	1.34	0.25	0.25
21.	1	0.90	0.50	22.4	4.4	5.8	7.64	1.76	0.43	0.41
22.	2	0.90	0.50	21.6	4.5	5.7	7.76	1.58	0.37	0.36
23.	3	0.90	0.50	21.2	4.1	5.4	7.82	1.54	0.35	0.34
24.	4	0.90	0.50	20.1	4.0	5.4	7.85	1.57	0.36	0.35

Cipoletti savağı da denilen trapez savak, genellikle küçük tabanı aşağıda olan eşkenar bir trapez şekline sahiptir. Şekil 2.25'te gösterilmiştir. Kenarları, büzülme ortadan kalkacak şekilde eğimlidir. Bu da kenarların 1/4 (yatay/düşey) eğimi için mümkündür. İnce kenarlı trapez şekilli savaktan geçen debi (m^3/sn),

$$Q = 1.86*b* h^{3/2} \tag{2.86}$$

ile verilmektedir. Burada; *b*; küçük tabanın genişliğidir (m). Bu tezde kullanılan, trapez şekilli savak verileri [52]'den alınmıştır. Tablo 2.4'de bu veriler görülmektedir. Burada; *Q* savağın debisini, *h* suyun düşme yüksekliğini, *H* nehir ağzının derinliğini, *T* suyun sıcaklığını, *Cu* standart şartlarda kaynaktaki çözünmüş oksijen miktarını, *Cd* standart şartlarda nehir ağzındaki çözünmüş oksijen miktarını, *Cs* standart şartlarda çözünmüş oksijen doyum miktarını, *r* eksik çözünmüş oksijen miktarını, *E* oksijen transfer verimini ve *E20;* 20°C deki oksijen transfer

verimini göstermektedir. Bu veriler kurulan bir deney düzeneği yardımı ile yapılan ölçmelerden elde edilmiştir. [52]'de yapılan çalışmada deney düzeneğinden ölçüm yolu ile elde edilen veriler kullanılarak, oksijen transfer verimi regresyon analizi ile modellenmiştir.



Şekil 2.25. Trapez şekilli savak.

2.4.5. Atık Su Arıtma Sistemleri

Kirli su arıtmada kullanılan, atık su arıtma üniteleri aşağıda açıklamaları yapılan dört ana grupta toplanır [53].

- ***Fiziksel Arıtma Sistemleri:*** Atık su içerisindeki kirletici maddelerin, fiziksel işlemlerle atık sudan uzaklaştırılması işlemidir. Bu sistemlerde kullanılan bileşenler; ızgaralar, elekler, kum tutucular, yüzdürme sistemleri, çöktürme havuzları ve dengeleme havuzlarıdır.
- ***Biyolojik Arıtma Sistemleri***: Atık su içerisindeki çözünmüş organik maddelerin, bakteriyolojik faaliyetlerle giderilmesi işlemidir. Bakterilerin arıtma işlemini gerçekleştirebilmeleri için pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen gibi bazı parametrelerin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu sistemlerde kullanılan bileşenler; aktif çamur sistemleri, biyofilm sistemleri, dengeleme havuzları, havalandırmalı lagünler ve damlatmalı filtrelerdir.

  Aktif çamur: Aktif çamur sistemi dengeleme, havalandırma, çöktürme ve dezenfeksiyon ünitelerinden oluşmaktadır. Aktif çamur tekniğine göre çalışan sistemler, uygulamada en çok kullanılan sistemlerdir. Aktif çamur kolloidal çözünmüş maddelerin mikroorganizmalar ile çökebilir biyolojik floklara dönüştürüldüğü süreçtir ve bu süreçte havalandırma havuzu içindeki mikroorganizmaların askıda tutulması esastır. Biyolojik arıtma ünitesi havalandırma sonucu, organik maddelerin askıda büyüyen mikroorganizmalar tarafından parçalanması prensibiyle çalışır. Askıda büyüyen mikroorganizmalar, suyun içerisinde bulunan organik maddeleri parçalayarak H_2O ve

CO_2'e çevirirler. Mikroorganizmaların organik maddeleri oksitlemesi sonucu organik maddeler ya okside olur, yâda biokütleye dönüşür. Havalandırma havuzunda gereken arıtma veriminin sağlanması amacıyla, havuz içerisinde faaliyet gösteren mikroorganizma sayısını sabit bir değerde tutmak gerekmektedir. Bu nedenle biokütlenin bir kısmı çöktürme kademesinde fazla çamur olarak sistemden atılırken, diğer kısmı havalandırma bölümüne geri devrettirilir. Aktif çamur sistemlerinde bakteriler en önemli mikroorganizmalardır. Çünkü organik maddelerin parçalanmasından sorumludurlar. Aktif çamur sistemlerinin tasarımında çeşitli parametreler kullanılır. Bu parametrelerden bazıları çamur yükü, çamur yaşı ve bekletme süresidir.

- ***Kimyasal Arıtma Sistemleri:*** Bu sistemler; suda çözünmüş veya askıda bulunan maddelerin fiziksel durumunu değiştirerek, çökelmelerini sağlamak üzere uygulanan arıtma süreçleridir. Kimyasal arıtma işleminde, uygun pH değerinde atık suya kimyasal maddeler (koagülant, polielektrolit vb.) ilave edilmesi sonucu, çöktürülmek istenen maddeler çökeltilerek çamur halinde sudan ayrılır. Bu sistemlerde kullanılan bileşenler; nötralizasyon, flokülasyon ve koagülasyondur.
- ***İleri Arıtma:*** Dezenfeksiyon, azot giderme, fosfor giderme, filtrasyon, adsorbsiyon, iyon değiştirme, ters osmoz, ultrafiltrasyon gibi süreçlerdir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda akıllı yöntemlerle atık su arıtma tesislerinin performansının belirlenmesi, kullanılan kimyasal maddelerin dozunun belirlenmesi, süreçlerin denetimi ve arıtılmış suyun organik ve anorganik sınır değerlerinin kontrol edilmesi yapılmıştır. Fakat denetimi yapılan süreçler ve sistemler, doğrusal olmadığından dolayı yapılan çalışmalar en uygun değildir. Geliştirilecek akıllı modelleme teknikleri, bu tür denetimler için daha uygun olacaktır. Akıllı yöntemler kullanılarak yapılan ASAT ile ilgili çalışmalar çeşitli gruplar halinde sınıflandırılabilir.

Farklı YSA yapıları kullanılarak yapılan örnek çalışmalar [54-59]'da yer almaktadır. ASAT'ın benzetimi ile ilgili yapılan çalışmalar, genellikle fiziksel gerçeklemeleri yapılmış ASAT'ların akıllı modellerinin oluşturulması ile ilgilidir. YSA kullanılarak gerçekleştirilen benzetim çalışmalarında, arıtılmış çıkış suyunun çevresel özelikleri, giriş suyunun özellikleri istatistiksek yöntemler kullanılarak modellenmeye çalışılmıştır. [60-63]'de havasız (oksijensiz) sindirim sürecinin modellenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. [64-67]'de, aktif çamur sürecinin modellenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda, girişte ölçülmeyen parametreler ve durum değişkenleri belirlenmeye, giriş amonyum konsantrasyon miktarı tahmin edilmeye, çamur yaşının hesaplanmasına çalışılmıştır. [68-82]'de ASAT'ın kontrolü ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda geri dönüş biokütle değerinin giriş atık su miktarı ile

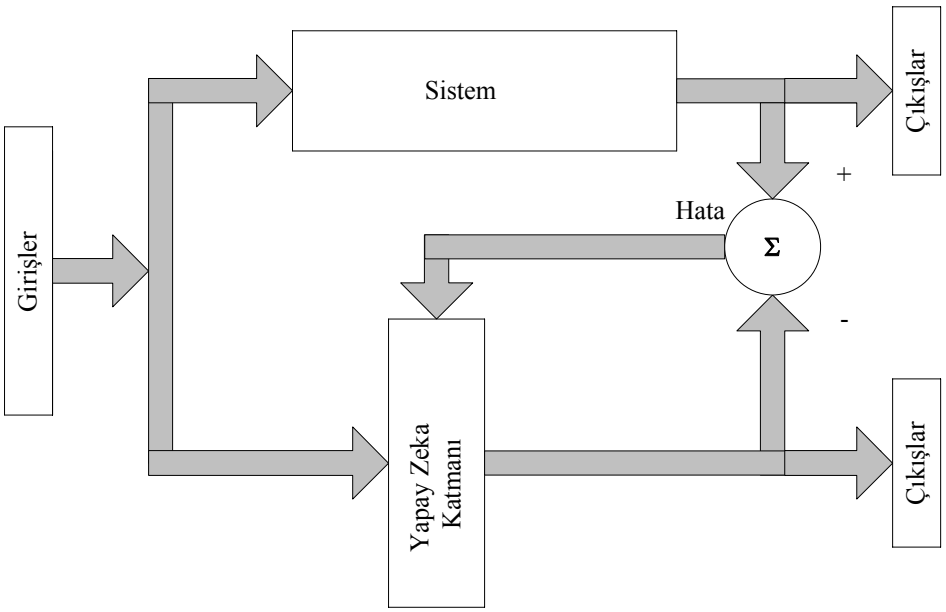
orantılı bir seviyede tutulması, motorların ve pompaların kontrolünün yapılması, havalandırma tankındaki Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) ve karışım içerisindeki Askıdaki Katı Madde Miktarı (AKMM) değerinin denetlenmesi, pıhtılaşma sürecinin modellenmesi amaçlanmış. [83-94]'de modellenmeyen dinamikler kullanılarak sistemin kontrolü, lineer olmayan dinamiklerin ve belirsizliklerin modellenmesi, BM kullanarak ASAT'ın kontrolü, işletme maliyetin düşürülmesi, filtrenin maksimum çalışma zamanı, kullanılan kimyasalların uygun değerleri oluşan gaz yoğunluğunun kontrolü, akış hızı kontrolü, pompa ve motorların kontrolü gibi konular çalışılmıştır. Parametre tahmini ile ilgili yapılan çalışmalar çevrimiçi ölçülmesi mümkün olmayan veya zor olan parametrelerin ölçümü ve çevrimiçi ölçülebilen parametrelerin tahmini şeklinde iki grupta toplanabilir. Ayrıca fiziksel gerçeklemeler sırasında oluşabilecek belirsizliklerin tahmini için modeller geliştirilmiştir. Kullanılan akıllı yöntemler ile sistemde oluşacak hataların önceden belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmalarda kullanılan veriler, Malatya belediyesi ASAT laboratuarlarından alınmıştır. Bu veriler yapılan günlük parametre ölçüm değerlerini içermektedir. Eksik parametre değerleri olan günlük veriler yapılan modelleme çalışmalarında kullanılmamıştır.

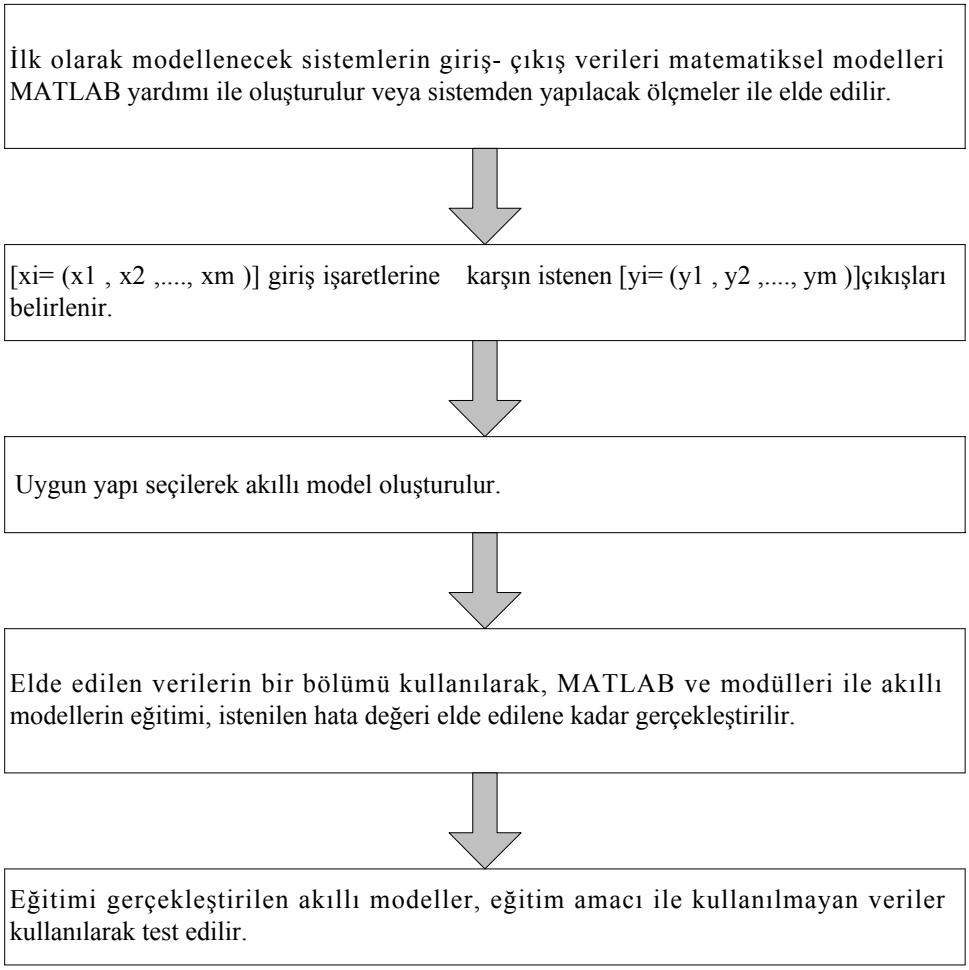
3. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLEME

Kararlılık şartları henüz kesin olarak belirlenememekle birlikte YSA, doğrusal olmayan sistem çalışmalarında en etkin yöntem olarak görülmekte ve fiziksel sistemler için YSA'nın modelleme ve denetim yeteneklerinin incelenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. YSA'nın en önemli özelliği, doğrusal olmayan bir fonksiyonu yaklaştırabilmesidir. Gerçek zamanda öğrenme, uyarlama ve genelleme yeteneği ile yapısı gereği çok girişli, çok çıkışlı sistemlere de uygulanabilmesi nedeniyle modelleme alanında tercih sebebi olmuştur. YSA'nın sistemin giriş-çıkış verileri kullanılarak eğitilmesi, doğrusal olmayan bir fonksiyonu yaklaştırma problemi olarak incelenir. Tek gizli katmanlı bir YSA'nın herhangi bir doğrusal olmayan sürekli fonksiyonu arzu edilen doğrulukta yaklaştırabileceği belirlenmiştir [16, 17].

Bu tezde yapılan YSA tabanlı çalışmalarda oluşturulan modelleme yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Yapılan modelleme çalışmalarının yapay zeka katmanında YSA kullanılmıştır. Bu yapının her bir aşamasının işleyişi adımlar halinde Şekil 3.2'de sunulmuştur. Bu bölümde yapılan çalışmalarda savak havalandırıcılar, varikap diyot, histerisiz çevrimli indüktans ve Chua devresi YSA tabanlı modellenmiştir. ASAT'ın YSA tabanlı modellenmesinde istenen eğitim başarımı sağlanmasına rağmen test başarımı iyi sonuç vermemiştir.



Şekil 3.1. Oluşturulan YSA modelleme yapısı.



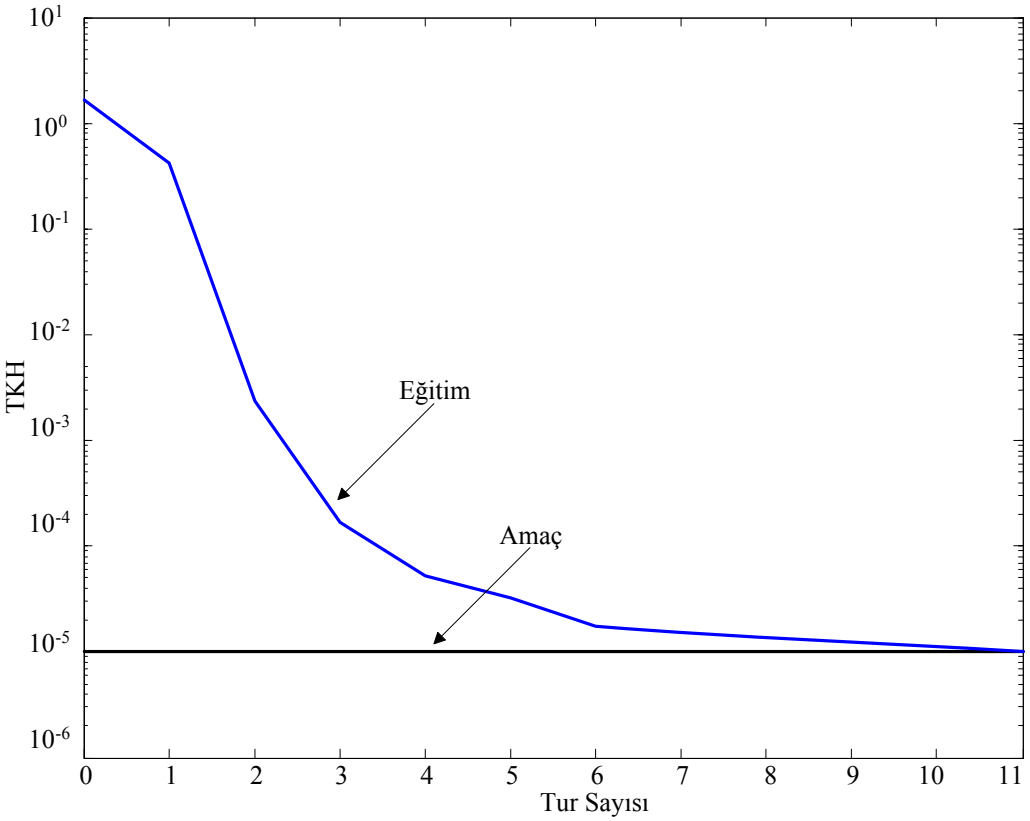
Şekil 3.2. YSA tabanlı modelleme aşamaları.

3.1. Su Yapılarının YSA ile Modellenmesi

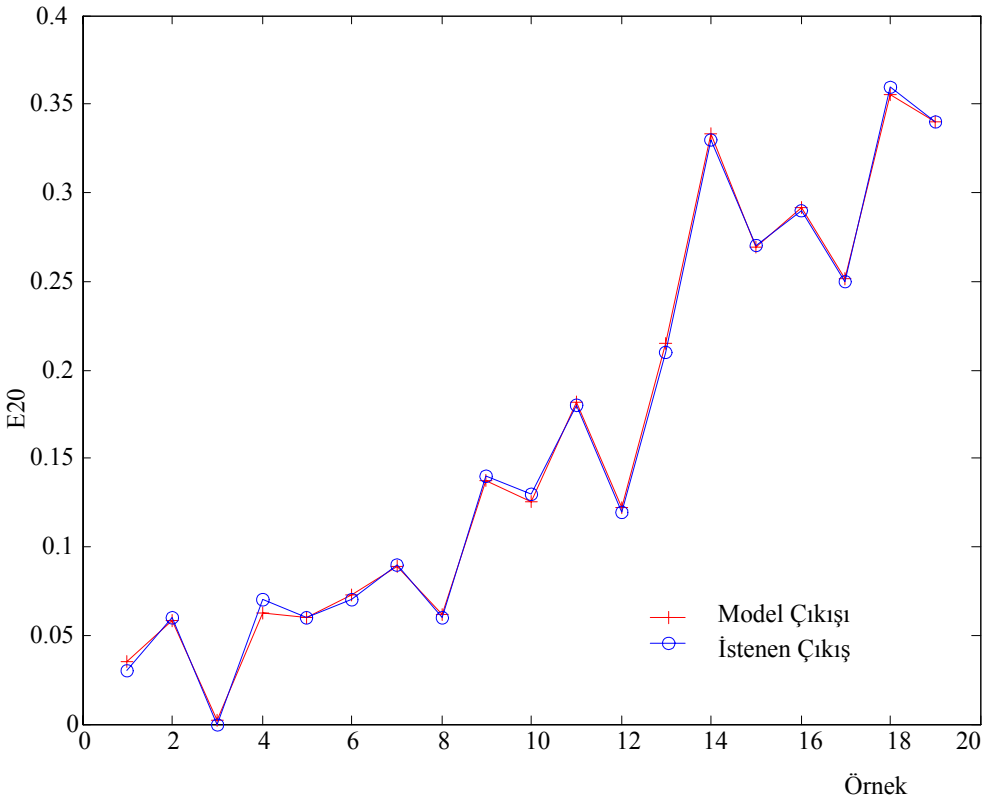
Hidrolik yapılar kullanılmadan yapılan su havalandırma işlemlerinde, su ve basınçlı hava pompalamak için kullanılacak elektrik enerjisi, işletme maliyetini artıracağından hidrolik yapılar ile havalandırmanın daha ekonomik olduğu söylenebilir. Birçok akarsuda doğal ortamda oksijen transferi için kilometrelerce mesafeye ihtiyaç duyulmasına rağmen, bu akarsular üzerinde yapılacak olan bir hidrolik yapı ile oksijen transferi çok kısa bir mesafede ve düşük bir maliyet ile sağlanabilir. Bu bölümde, su mühendisliğinde geniş uygulama alanına sahip olan ve havalandırma işlemi konusunda, mevcut havalandırma sistemlerine alternatif olarak gösterilen savak havalandırıcıların oksijen transfer verimi, savak işletim parametreleri kullanılarak YSA tabanlı modellenmiştir.

3.1.1. Modelleme Uygulaması

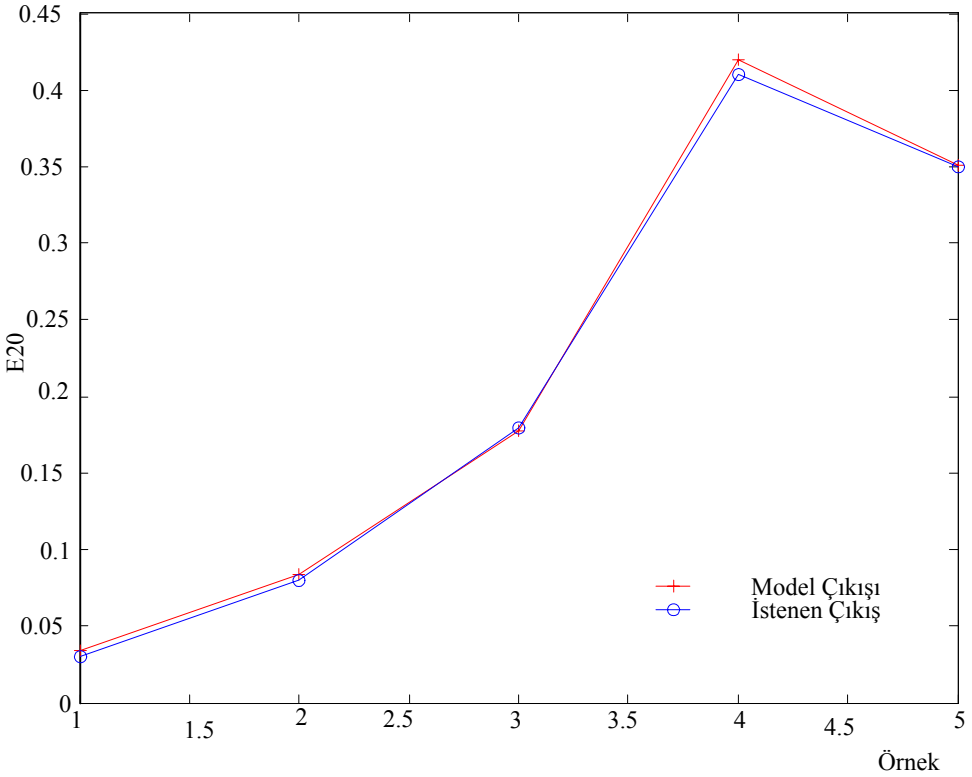
Bu örnekte, Şekil 3.1'de verilen modelleme yapısı kullanılmıştır. Modelleme çalışmasında Tablo 2.4'deki veriler kullanılmıştır. Bu tabloda toplam 24 adet veri dizisi vardır. Bu veri dizilerinden 19 tanesi YSA modelinin eğitimi için, 5 tanesi de eğitilen YSA modelinin test edilmesi için kullanılmıştır. Oluşturulan YSA modelinin yapısı ve parametre değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Oluşturulan model, *E* ve *E20* parametreleri için ayrı ayrı eğitilmiştir. Modellerin eğitimi istenilen başarımlarda gerçekleşmiştir. *E* ve *E20*'nin eğitim başarımları benzer olduğundan sadece *E20* için eğitim başarımı Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir. YSA modelinin test başarımı *E20* için Şekil 3.5'de ve *E* için test başarımı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



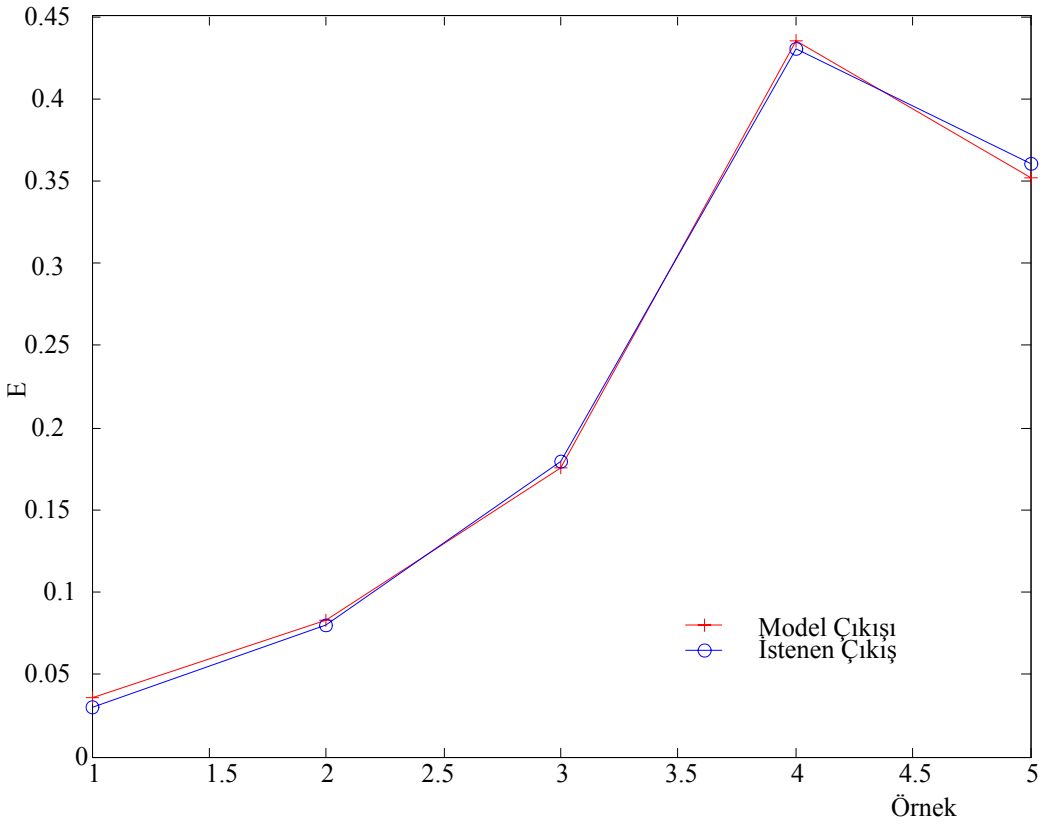
Şekil 3.3. YSA modelinin *E20* için eğitim başarımı.



Şekil 3.4. YSA modelinin *E20* için modelleme başarımı.



Şekil 3.5. YSA modelinin *E20* için test başarımı.



Şekil 3.6. YSA modelinin *E* için test başarımı.

Tablo 3.1. Savak havalandırıcı YSA model yapısı ve parametreleri.

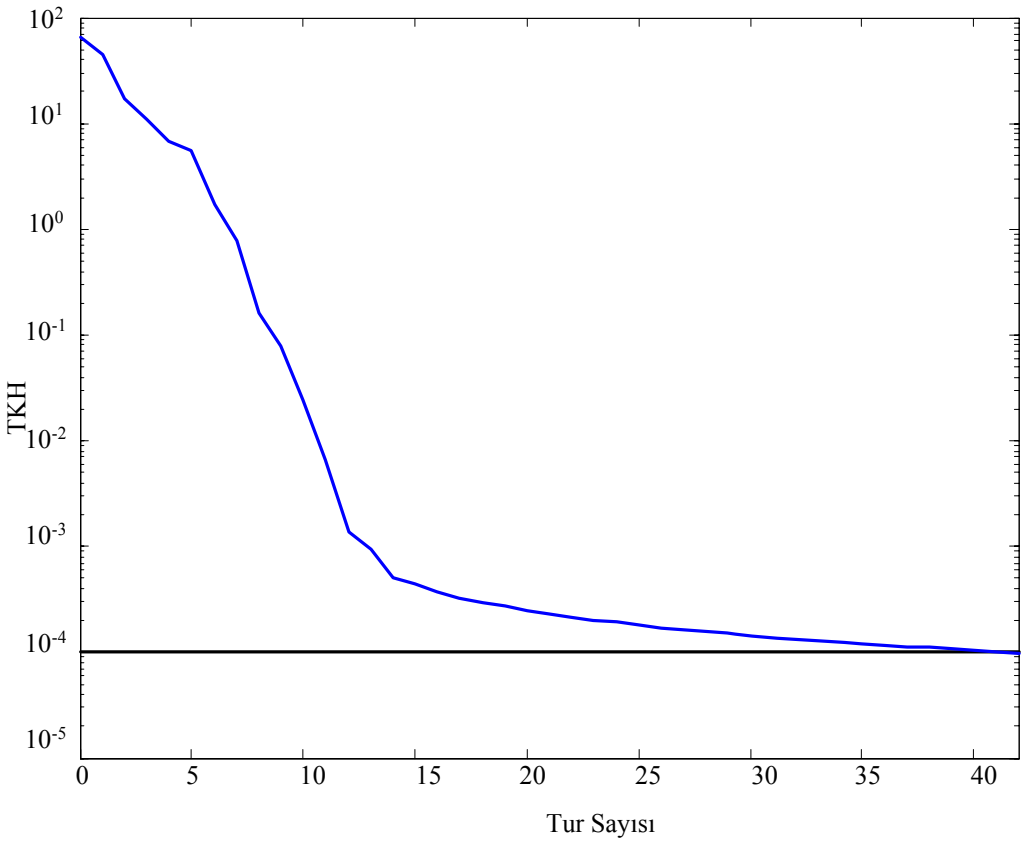
Model Yapısı				**Eğitim Parametreleri**	
Katman Sayısı	Katmanlardaki Hücre Sayısı	Ağırlıklar ve Eşik Değerleri	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğrenme Kuralı	TKH
Giriş	8	Eğim düşme	Tanjant-sigmoid	Levenberg–	0.00001
Ara	10	metoduna	Tanjant-sigmoid	Marquardt	
Çıkış	1	göre ayarlanır.	Lineer	Geriye yayılım	

3.2. Varikap Diyotun YSA ile Modellenmesi

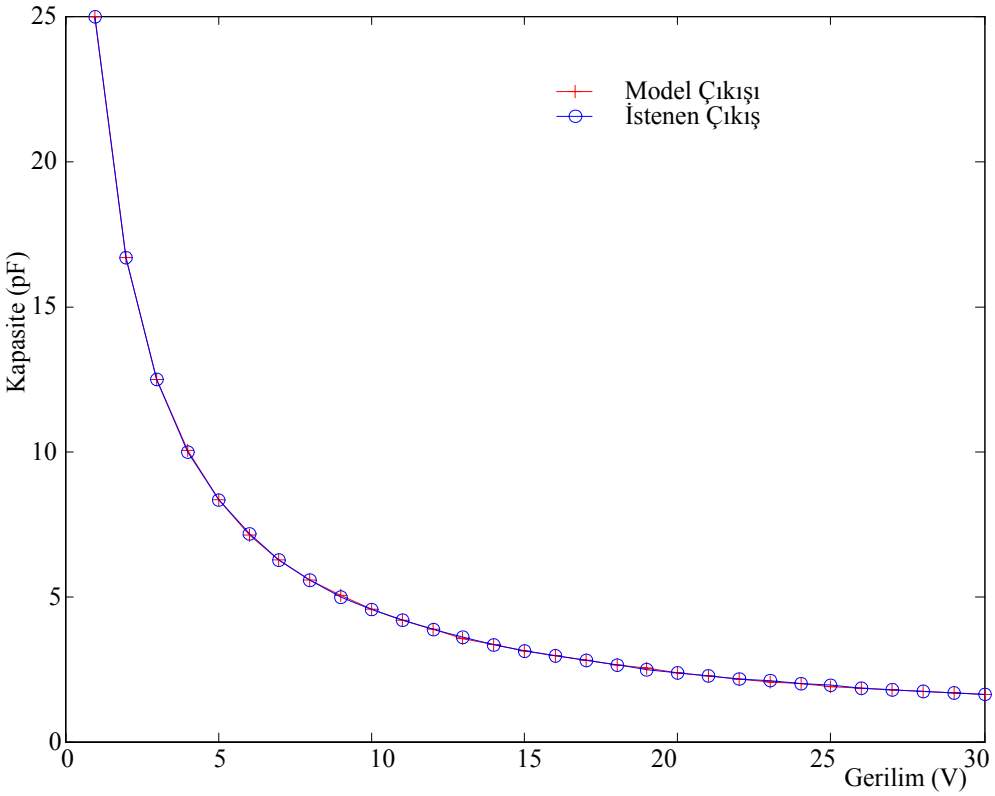
Bu bölümde, osilatör devrelerinde ayarlanabilen kapasitans özelliğinden dolayı kullanılan ve karmaşık bir sistem olarak kabul edilen varikap diyot örnek olarak ele alınmış ve YSA ile modellemesi yapılmıştır. Bu modellemenin yapılmasındaki temel amaç, gerçek uygulamalarda kullanılan varikap diyotun yerine, benzetim çalışmalarında kullanılacak daha etkili akıllı sistem tabanlı bir varikap diyot modelinin oluşturulması ve istenilen özellikte çalışabilmesinin sağlanmasıdır.

3.2.1. Modelleme Uygulaması

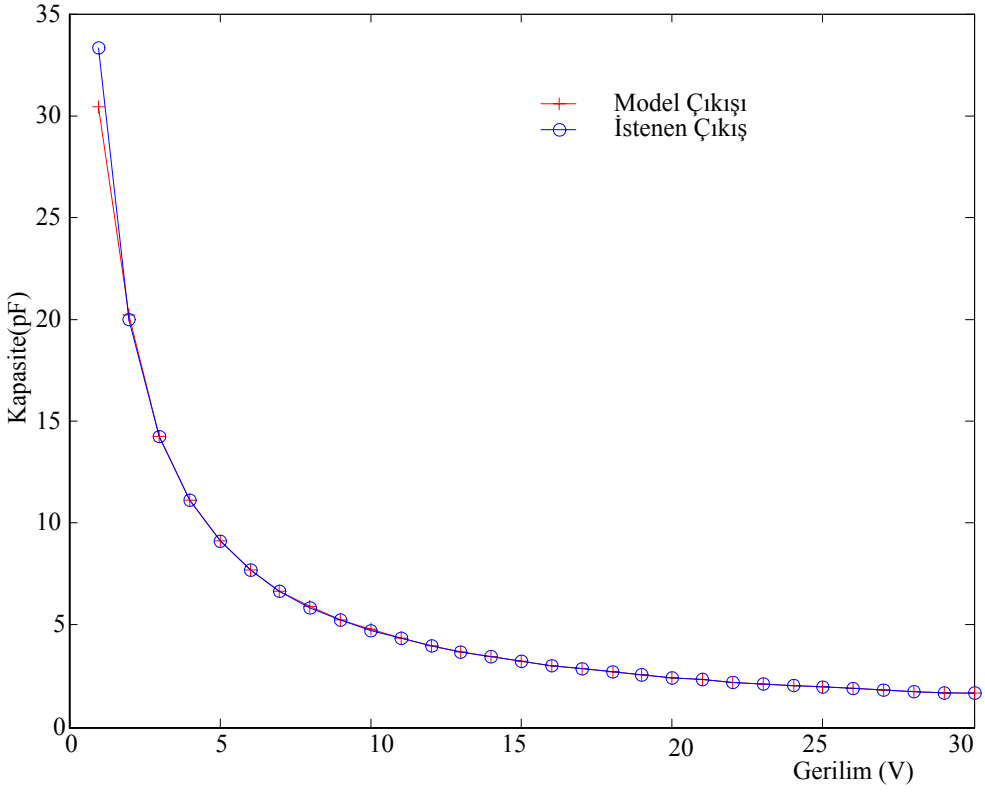
Bu çalışmada, Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'deki modelleme yapısı ve adımları kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, kullanılan varikap diyota ilişkin gerilim-kapasite karakteristiği Şekil 2.24'de görülmektedir. MATLAB/ YSA modülü kullanılarak bu karakteristiğin gerilim değerleri model girişi, kapasite değerleri ise model çıkışı olarak alınmıştır. Oluşturulan YSA modelinin yapısı ve parametre değerleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Varikap diyotun matematiksel modeli kullanılarak MATLAB ortamında giriş-çıkış ikilileri hesaplanmıştır. Hesaplamada; giriş gerilimi *1, 2,3,…, 30V*, sıfır ön gerilimde diyotun kapasitansı *100pF* olarak kullanılmıştır. YSA modelinin eğitim başarımı Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir. Test aşamasında ise, giriş gerilimi *0.5, 1.5, 2.5,…, 30.5V* olarak uygulanmıştır. Hesaplanan ve model çıkışından elde edilen kapasite değerleri grafiksel olarak Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Varikap diyot YSA modelinin eğitim başarımı.



Şekil 3.8. Varikap diyot YSA modelinin modelleme başarımı.



Şekil 3.9. Varikap diyot YSA modelinin test başarımı.

Tablo 3.2. Varikap diyot YSA model yapısı ve parametreleri.

Model Yapısı				Eğitim Parametreleri	
Katman Sayısı	Katmanlardaki Hücre Sayısı	Ağırlıklar ve Eşik Değerleri	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğrenme Kuralı	Toplam Karesel Hata
Giriş	1	Eğim düşme	Tanjant-sigmoid	Levenberg–	0.0001
Ara	7	metoduna	Tanjant-sigmoid	Marquardt	
Çıkış	1	göre ayarlanır.	Lineer	Geriye yayılım	

3.3. Histerisiz Çevrimli İndüktansın YSA ile Modellenmesi

Karmaşık bir sistem olarak kabul edilen histerisiz çevrimli indüktansın model yapısı, iki giriş ve tek çıkışa sahiptir. Girişler uygulanan gerilim ve oluşan akı, çıkış ise akım değeridir. İndüktans ile ilgili yapılan klasik modellemelerde matematiksel bağıntılar kullanılarak İndüktansın i-φ bağıntısı modellenmeye çalışılmıştır. Fakat elde edilen matematiksel modellerin karmaşıklığı yapılacak olan analiz çalışmalarını güçleştirmiştir. Oluşturulan akıllı model kullanılarak, doğrusal olmayan İndüktans veya bu elemanı içeren sistemler daha kolay analiz edilebilir. Ayrıca, istendiğinde sıcaklık değişimi gibi yeni parametreler modele eklenebilir. Çok katmanlı ileri beslemeli YSA kullanılarak elde edilen indüktans modelinin, doğruluk ve hesaplama başarımı grafiksel olarak gösterilmiştir.

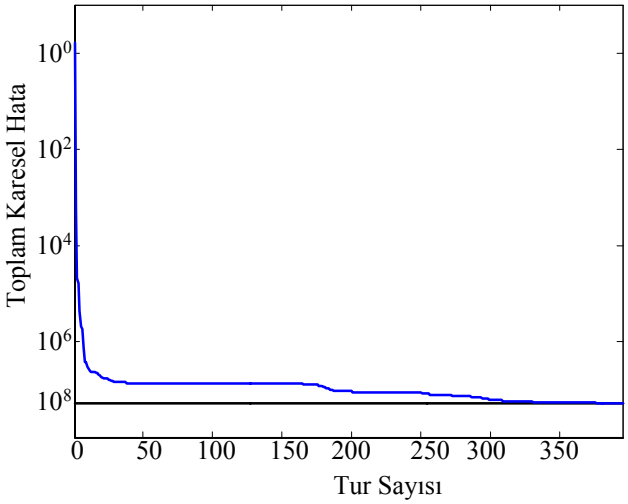
Histerisiz, çeşitli malzeme ve süreçle ilgili bir kavramdır. En çok bilinen örnekleri dielektrik, ferromanyetik ve ferrimanyetik ile ilgili olan örneklerdir. Histerisiz içeren sistemlerin analizi için histerisizin matematiksel modeli gereklidir. Matematiksel modeller oluşturulurken fiziksel sistemlerin diferansiyel denklemlerle ifade edilmesi ve elde edilen denklemlerin bilgisayar yardımı ile çözümlenmesi karşılaşılan sorunlardandır [2].

Histerisizin modellenmesi konusu bilimsel yazında oldukça fazla çalışılmış bir konudur. Yapılan bu çalışmalar sonucunda birçok model geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modeller [95]'e göre iki gruba ayrılabilir. Birinci grup fenemolojik yaklaşım tabanlı modeller. İkinci grup ise matematiksel yaklaşım tabanlı modellerdir [96-99]. Histerisiz çevrimli indüktans modeli kullanılarak yapılan modelleme çalışmalarına [99]'deki çalışma örnek olarak verilebilir.

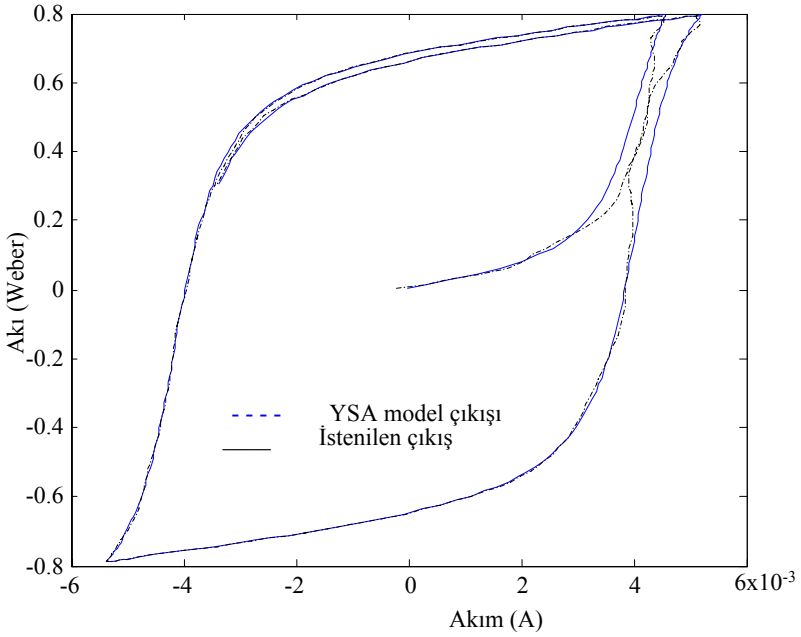
3.3.1. Modelleme Uygulaması

Bu çalışmada kullanılan modelleme yapısı Şekil 3.1'de görülmektedir. Bu yapının her bir aşamasının işleyişi adımlar halinde Şekil 3.2'de verilmiştir. Yapılan çalışmada, kullanılan histerisiz çevrimli İndüktansın i-φ karakteristiği Şekil 2.18'de verilmiştir. MATLAB/güç

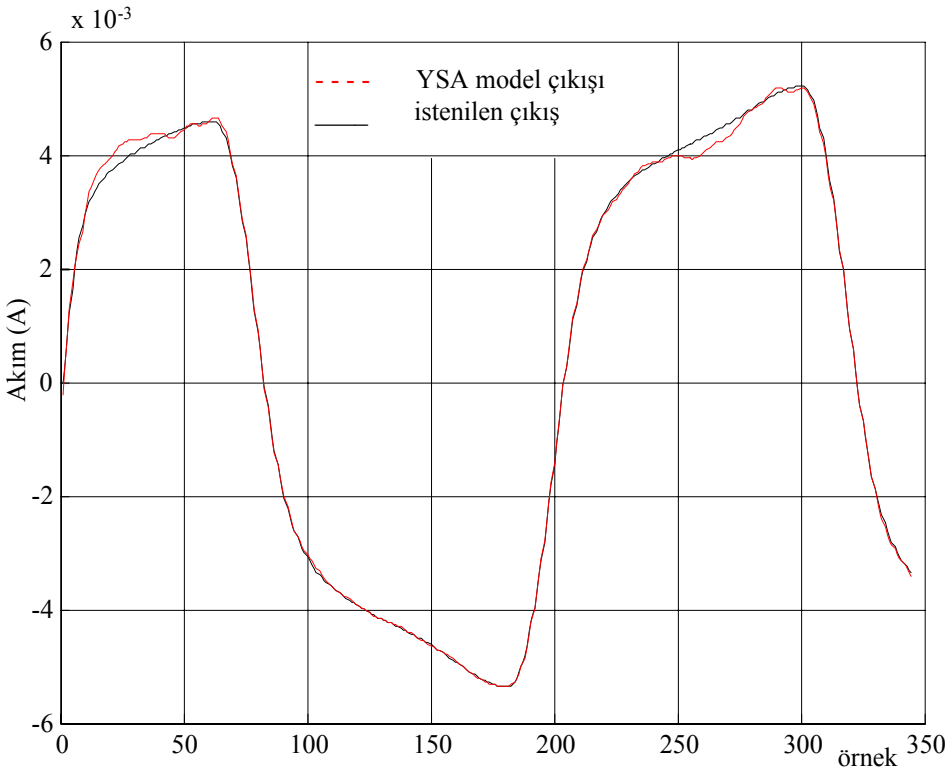
sistemleri modülü kullanılarak bu karakteristik elde edilmiştir. Giriş-çıkış verilerinden tek indisli olan 350 adet veri YSA modelin eğitiminde, çift indisli olan 350 adet veri test edilmesinde kullanılmıştır. YSA modelinin eğitim başarımı Şekil 3.10'da, histerisiz çevrimli indüktansın i-φ karakteristiği ve YSA modelinden elde edilen i-φ karakteristiği Şekil 3.11'de, t=0.01 örnekleme adımı ile matematiksel modelden elde edilen ve YSA modelinden elde edilen akım işaretleri Şekil 3,12'de gösterilmiştir. Oluşturulan YSA modelinin yapısı ve parametre değerleri Tablo 3.3'de verilmiştir. Tablo 3.3'de verilen parametre değerleri yapılan birçok deneme sonucunda elde edilen en iyi değerlerdir. Modelin başarılı bir şekilde histerisiz çevrimli indüktansı temsil ettiği, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de görülmektedir.



Şekil 3.10. YSA modelinin eğitim başarımı.



Şekil 3.11. İstenilen ve elde edilen histerisiz eğrileri.



Şekil 3.12. İstenilen ve model çıkışından elde edilen akım işaretleri.

Tablo 3.3. Histerisiz çevrimli indüktans YSA model yapısı ve parametreleri.

Model Yapısı				**Eğitim Parametreleri**	
Katman Sayısı	Katmanlardaki Hücre Sayısı	Ağırlıkları ve Eşik Değerleri	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğrenme Kuralı	Toplam Karesel Hata
Giriş	2	Eğim düşme	Tanjant-sigmoid	Levenberg–	0.00000005
Ara	4	metoduna	Tanjant-sigmoid	Marquardt	
Çıkış	1	göre ayarlanır.	Lineer		

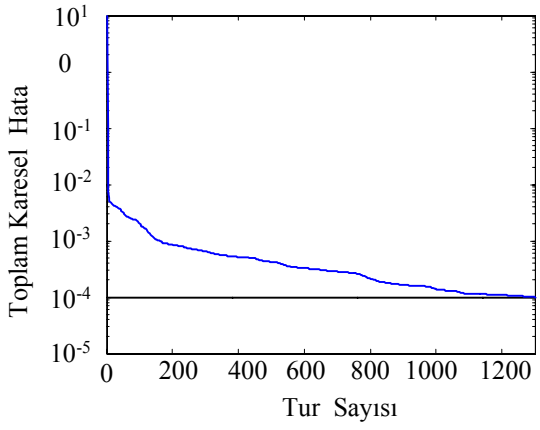
3.4. Chua Devresinin YSA ile Modellenmesi

Burada, temel olarak kaos tabanlı çalışmalarda kullanılan Chua devresi YSA ile modellenmiştir. Gerçekleştirilen model yapısı, üç girişe ve üç çıkışa sahiptir. Girişler, Chua devresinin durum değişkeleri, çıkışlar ise bu durum değişkenlerinin bir sonraki durumu olarak belirlenmiştir. Çok katmanlı ileri beslemeli YSA kullanılarak elde edilen Chua devresi modeli, test edilerek modelin başarımı grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca istendiğinde farklı giriş-çıkış ilişkileri yeniden eğitim yapılarak modele öğretilebilmektedir. Bu sayede uyarlamalı bir Chua modeli elde edilmektedir.

Tasarım aşamasındaki basitliği ve gösterdiği farklı tip kaotik davranışlar sebebiyle en yaygın kullanılan ve üzerinde en çok çalışılan kaotik osilatör devresi, Chua devresidir [49, 50,100]. Chua devresinde görülebilecek tüm kaotik davranışlar ve devre dinamiği hem deneysel, hem de teorik olarak incelenmiştir. Chua devresinin modellenmesi amacı ile farklı metotlar kullanılmaktadır, YSA en çok kullanılanlardan birisidir. YSA tabanlı çalışmalar temelde iki sınıfa ayrılabilir. Birinci sınıfta, Chua devresi çekerlerinin modellenmesi amacı ile yapılan hücresel sinir ağ tabanlı modelleme çalışmaları yer alırken, ikinci sınıfta Chua devresi davranışlarını sergileyebilecek YSA yapılarını araştıran çalışmalar yer almaktadır. Kaos konusunda kullanılan temel devrelerden biri olmasından dolayı Chua devresi, elektronik, haberleşme ve kontrol gibi alanlarda oldukça fazla kullanılmaktadır [101-108].

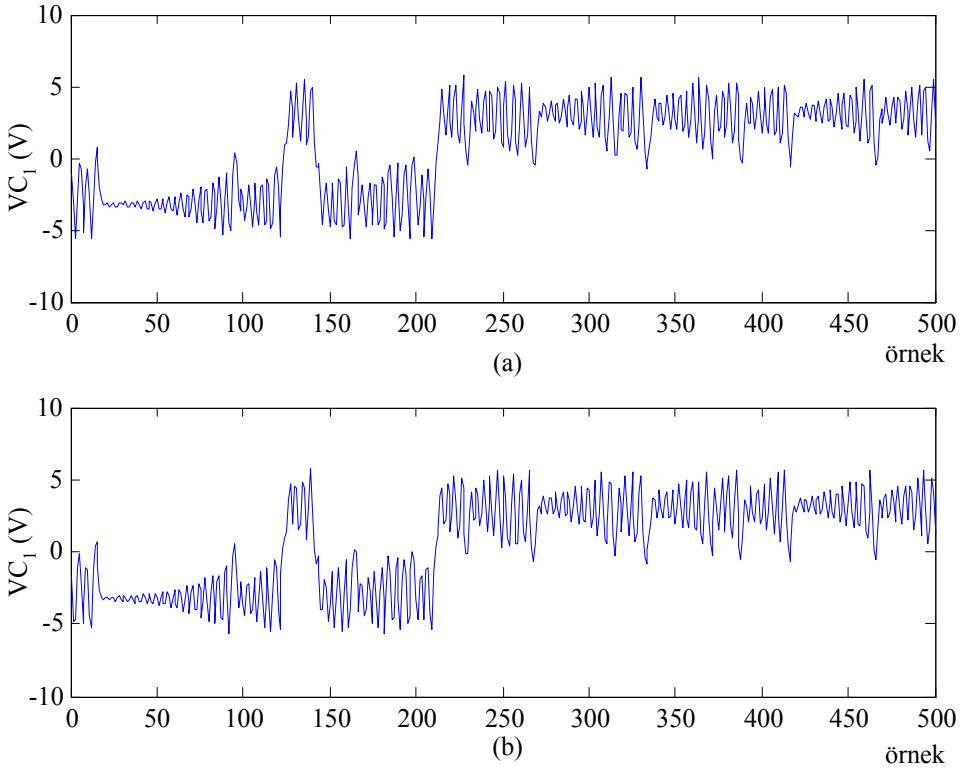
3.4.1. Modelleme Uygulaması

Bu çalışmada Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilen modelleme yapısı kullanılmıştır. Tablo 2.3'de verilen parametre değerleri ($R=1950\Omega$) kullanılarak MATLAB ortamında Chua devresi durum değişkenlerine ait işaretler elde edilmiştir. Bu işaretlere ait tek indisli veriler YSA modelinin eğitimi için kullanılırken çift indisli veriler YSA modelinin test edilmesi için kullanılmıştır. Yani elde edilen verilerin 500 tanesi YSA modelinin eğitimi için, diğer 500 tanesi ise eğitilen modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen en uygun YSA model parametreleri Tablo 3.4'de, YSA modelinin eğitim performansı Şekil 3.13'de verilmiştir. Test aşamasında kullanılan VC_1 durum değişkenine ait işaret Şekil 3.14.a'da, YSA modelinin VC_1 çıkışından elde edilen işaret Şekil 3.14.b'de gösterilmiştir. VC_2 ve VC_3 durum değişkenlerine ait sinyaller VC_1 durum değişkenine benzerdir.

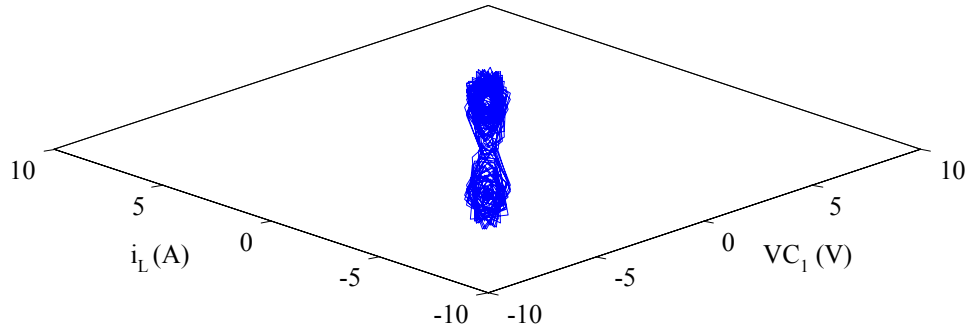


Şekil 3.13. YSA modelinin eğitim başarımı.

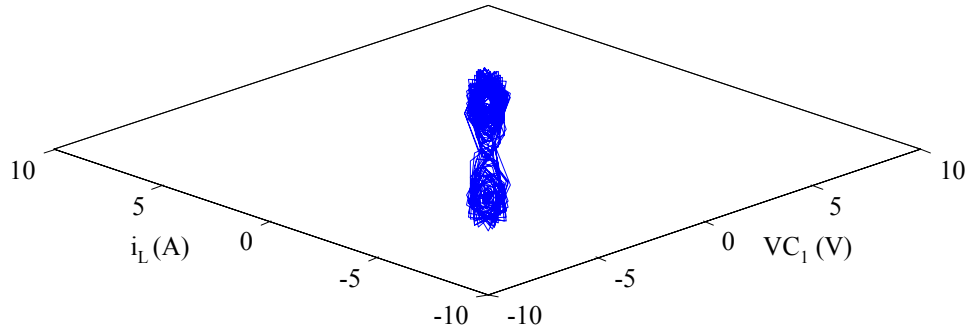
Chua devresine ve YSA modeline ait çift çekerler Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Modelleme aşamasında kullanılan veri miktarı artırıldığında modelin istenilen eğitim performansını sağlamadığı ve eğitimin daha uzun süre aldığı görülmüştür. Bu sorunları çözmek için ilk olarak giriş ve ara katman hücre sayısı artırılmış, bu durumda eğitim süresi artmıştır. İkinci olarak, devreyi temsil edecek ve istenilen davranışları sergilemesini sağlayacak daha iyi örnek değerler kullanılmıştır. Sadece ara katman hücre sayısı değiştirilerek en iyi sonucun elde edilmesine çalışılmıştır.



Şekil 3.14. *VC_1* durum değişkenine ait a) Ölçülen, b) YSA çıkış işaretleri.



a)



b)

Şekil 3.15. a) i_L-VC_1 grafiği, b) YSA modeli i_L -VC_1 grafiği

Tablo 3.4. Chua devresi YSA Model parametreleri.

Model Yapısı				**Eğitim Parametreleri**	
Katman Sayısı	Katmanlardaki Hücre Sayısı	Ağırlıkları Ve Eşik Değerleri	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğrenme Kuralı	Toplam Karesel Hata
Giriş	3	Eğim düşme	Tanjant-sigmoid	Levenberg–	0.0001
Ara	7	metoduna	Tanjant-sigmoid	Marquardt	
Çıkış	3	göre ayarlanır.	Lineer	Geriye yayılım	

4. UYARLAMALI BULANIK SİNİR AĞ YAPISI İLE MODELLEME

UBSA'da hem YSA hem de bulanık mantık kullanılır [42]. Yapı bakımından bulanık çıkarım sistemindeki eğer-ise kuralları ve giriş çıkış bilgi çiftlerinden oluşur. Ancak sistem eğitiminde yapay sinir ağı öğrenme algoritmaları kullanılır.

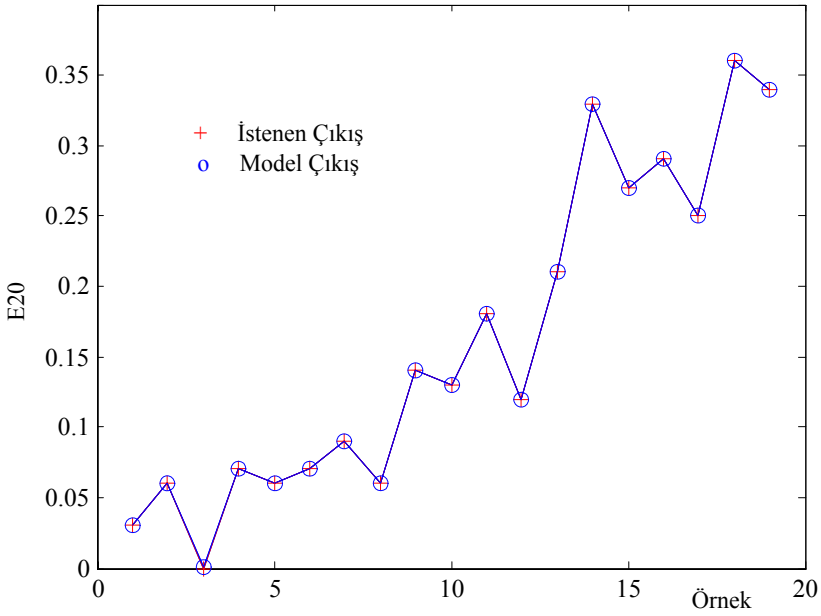
Yapılan UBSA tabanlı çalışmalarda oluşturulan modelleme yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Yapay zeka katmanında UBSA kullanılmıştır. Bu yapının her bir aşamasının işleyişi adımlar halinde Şekil 3.2'de sunulmuştur. Bu bölümde yapılan çalışmalarda savak havalandırıcılar, varikap diyot, histerisiz çevrimli indüktans ve Chua devresi UBSA tabanlı modellenmiştir. ASAT'ın UBSA tabanlı modellenmesinde istenen başarım parametre sayısının fazla olmasından dolayı sağlanamamıştır.

4.1. Su Yapılarının UBSA ile Modellenmesi

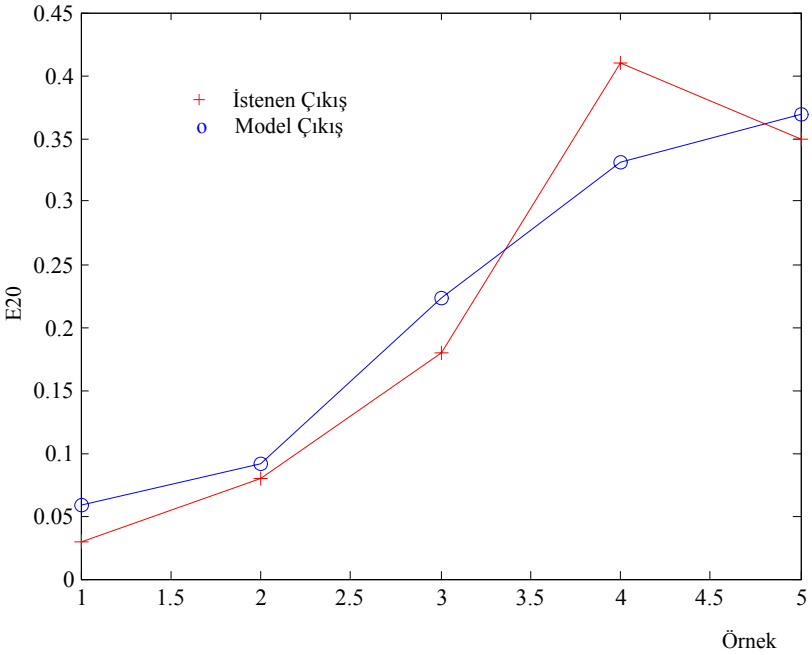
Bu çalışmada; mevcut havalandırma sistemlerine alternatif olarak gösterilen savak havalandırıcıların oksijen transfer verimi, savak işletim parametreleri kullanılarak UBSA tabanlı modellenmiştir [109].

4.1.1. Modelleme Uygulaması

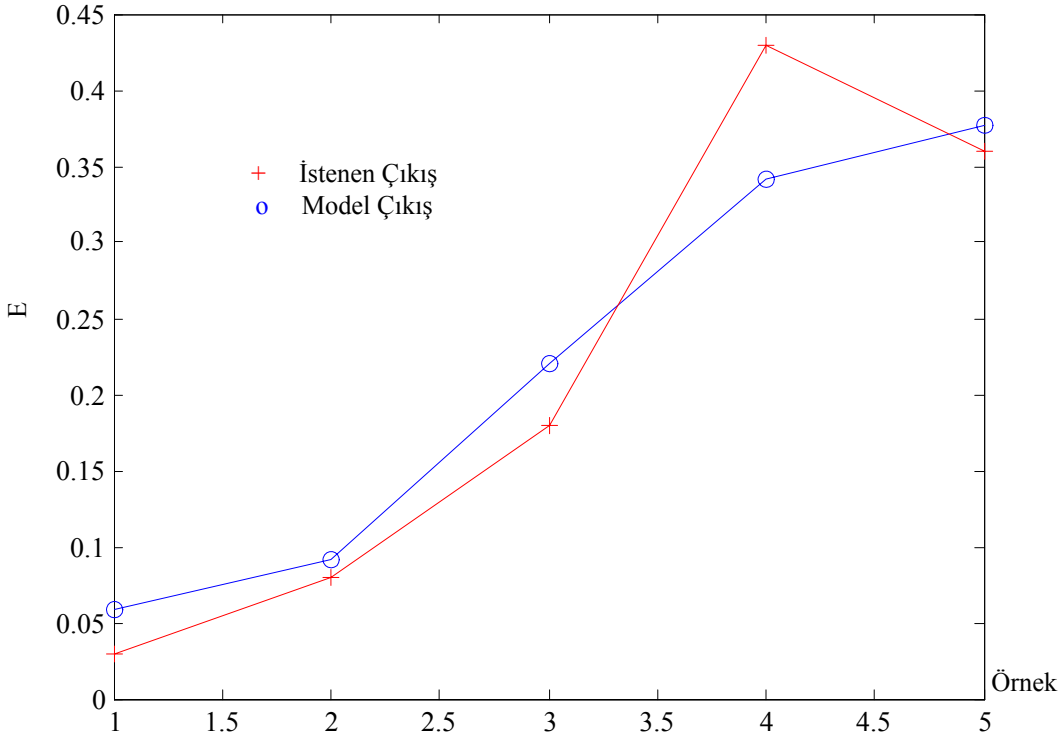
Bu örnekte, Şekil 3.1'de verilen modelleme yapısı kullanılmıştır. Modelleme çalışmasında Tablo 2.4'deki veriler kullanılmıştır. Bu tabloda toplam 24 adet veri dizisi vardır. Bu veri dizilerinden 19 tanesi UBSA modelinin eğitimi için, 5 tanesi de eğitilen UBSA modelinin test edilmesi için kullanılmıştır. Oluşturulan UBSA modelinin yapısı ve parametre değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Oluşturulan model, *E* ve *E20* parametreleri için ayrı ayrı eğitilmiştir. Modelin eğitimi istenilen başarımlarda gerçekleşmiştir. *E* ve *E20*'nin eğitim başarımları benzer olduğundan sadece *E20* için eğitim başarımı Şekil 4.1'de verilmiştir. UBSA modelinin test başarımı *E20* için Şekil 4.2'de ve *E* için test başarımı Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. *E20* için modelleme başarımı.



Şekil 4.2. *E20* için test başarımı.



Şekil 4.3. *E* için test başarımı.

Tablo 4.1. Savak havalandırıcı UBSA model yapısı ve parametreleri.

Model Yapısı ve Eğitim Parametreleri					
Üyelik Fonksiyon Sayısı	Üyelik Fonksiyon Tipi	Eğitim Tur Sayısı	Kural Sayısı	Giriş Sayısı	Çıkış Sayısı
2	Çan	50	256	8	1

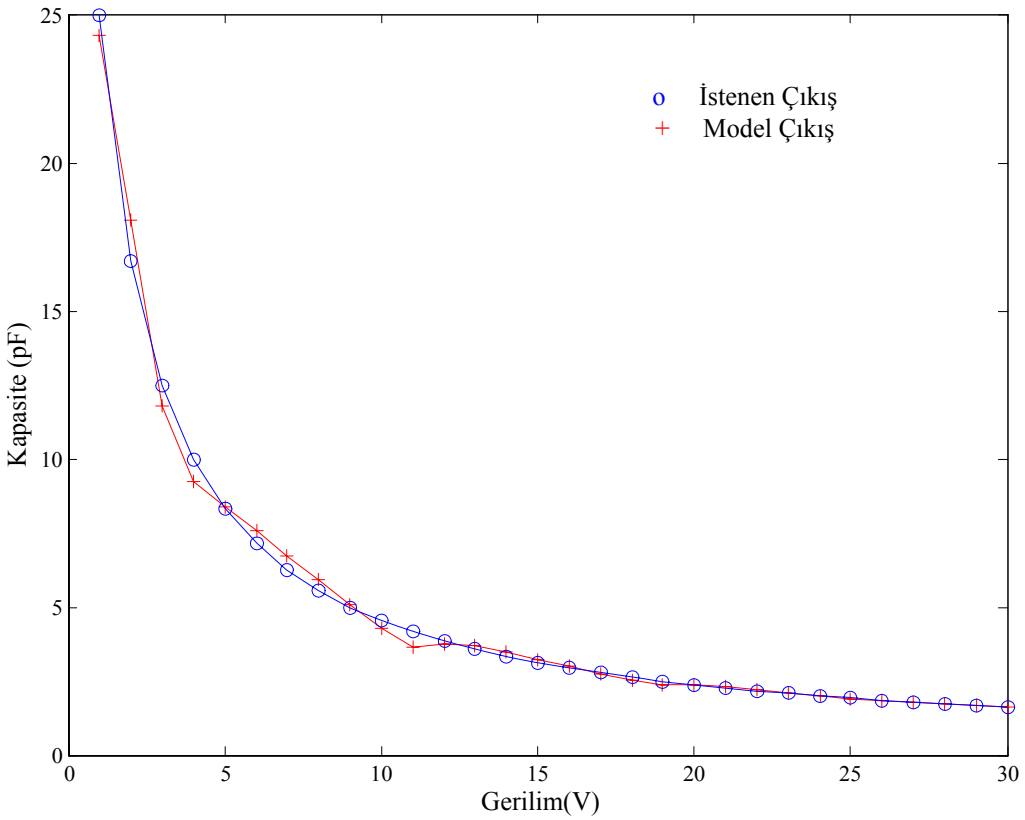
4.2. Varikap Diyotun UBSA ile Modellenmesi

Bu bölümde, varikap diyot örnek olarak ele alınmış ve UBSA ile modellemesi yapılmıştır [110].

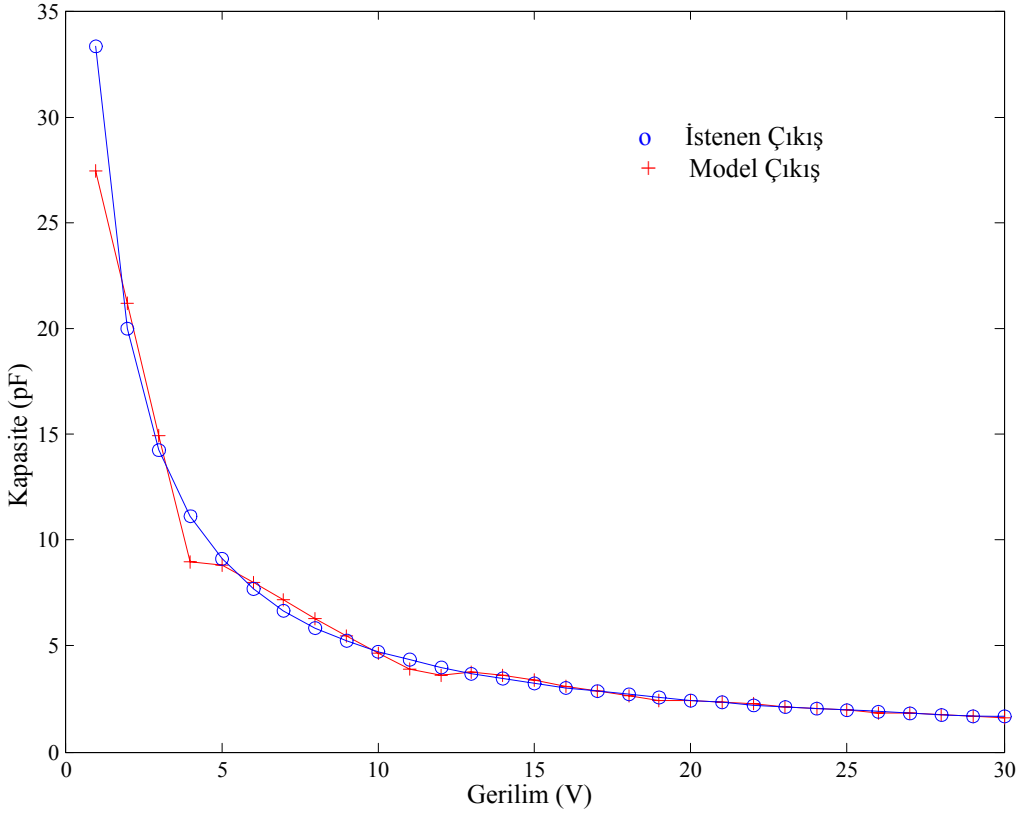
4.2.1. Modelleme Uygulaması

Bu çalışmada, Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'deki modelleme yapısı ve adımları kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, kullanılan varikap diyota ilişkin gerilim-kapasite karakteristiği Şekil 2.24'de görülmektedir. MATLAB/ UBSA modülü kullanılarak bu karakteristiğin gerilim değerleri model girişi, kapasite değerleri ise model çıkışı olarak alınmıştır. Oluşturulan UBSA modelinin yapısı ve parametre değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Varikap diyotun matematiksel modeli kullanılarak MATLAB ortamında giriş-çıkış ikilileri hesaplanmıştır. Hesaplamada; giriş gerilimi *1, 2, 3,…,30V*, sıfır ön gerilimde diyotun kapasitansı *100pF* olarak kullanılmıştır. UBSA modelinin eğitim başarımı

Şekil 4.4'de verilmiştir. Test aşamasında ise, giriş gerilimi *0.5, 1.5, 2.5,…,30.5V* olarak uygulanmıştır. Hesaplanan ve model çıkışından elde edilen kapasite değerleri grafiksel olarak Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Varikap diyot UBSA modelinin modelleme başarımı.



Şekil 4.5. Varikap diyot UBSA modelinin test başarımı.

Tablo 4.2. Varikap diyot UBSA model yapısı ve parametreleri.

Model Yapısı ve Eğitim Parametreleri					
Üyelik Fonksiyon Sayısı	Üyelik Fonksiyon Tipi	Eğitim Tur Sayısı	Kural Sayısı	Giriş Sayısı	Çıkış Sayısı
5	Çan	100	5	1	1

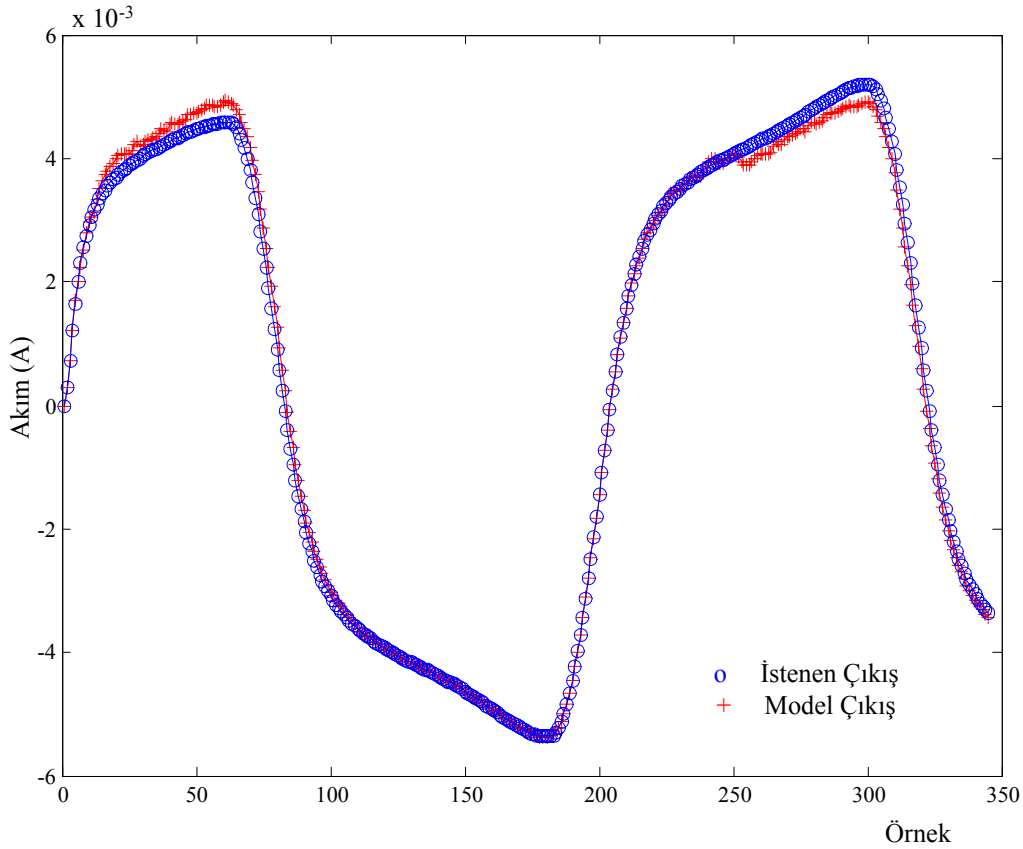
4.3. Histerisiz Çevrimli İndüktansın UBSA ile Modellenmesi

Histerisiz çevrimli indüktansın model yapısı, iki giriş ve tek çıkışa sahiptir. Girişler uygulanan gerilim ve oluşan akı, çıkış ise akım değeridir. Histerisiz içeren sistemlerin analizi için histerisizin matematiksel modeli gereklidir. Matematiksel modeller oluşturulurken fiziksel sistemlerin diferansiyel denklemlerle ifade edilmesi ve elde edilen denklemlerin bilgisayar yardımı ile çözümlenmesi karşılaşılan sorunlardandır.

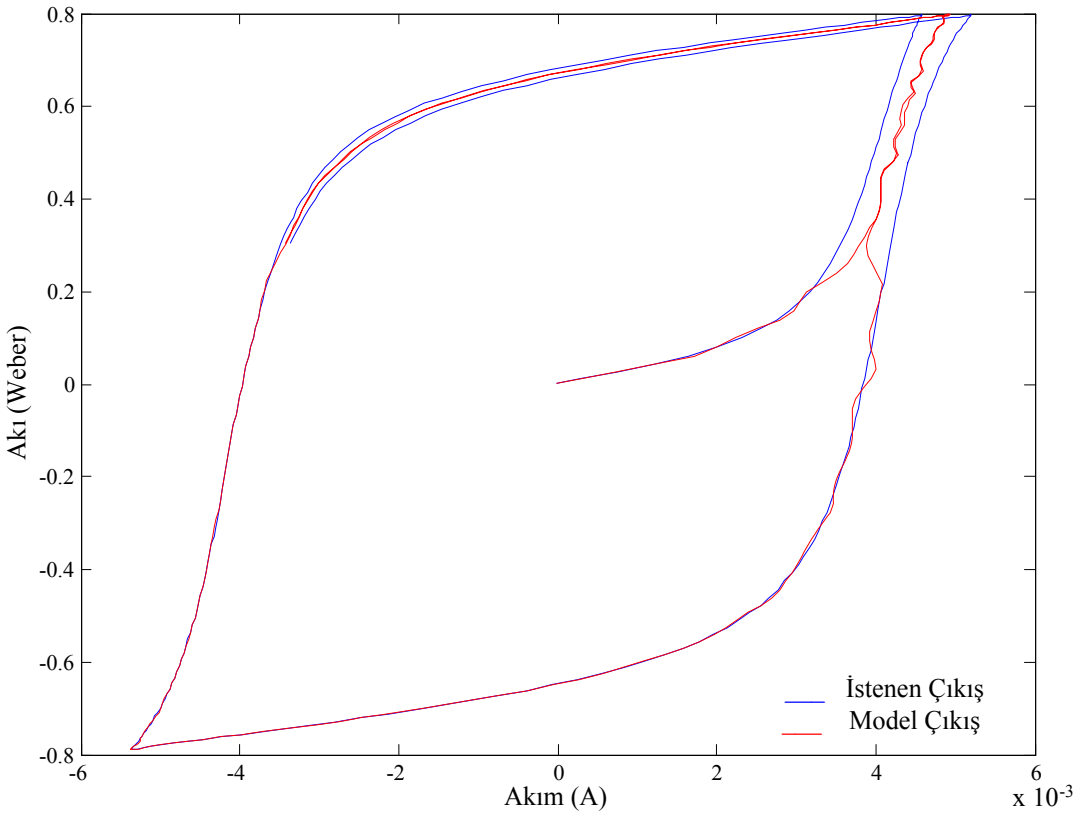
4.3.1. Modelleme Uygulaması

Bu çalışmada kullanılan modelleme yapısı Şekil 3.1'de görülmektedir. Bu yapının her bir aşamasının işleyişi adımlar halinde Şekil 3.2'de verilmiştir. Yapılan çalışmada, kullanılan histerisiz çevrimli İndüktansın φ-i karakteristiği Şekil 2.18'de verilmiştir. MATLAB/güç sistemleri modülü

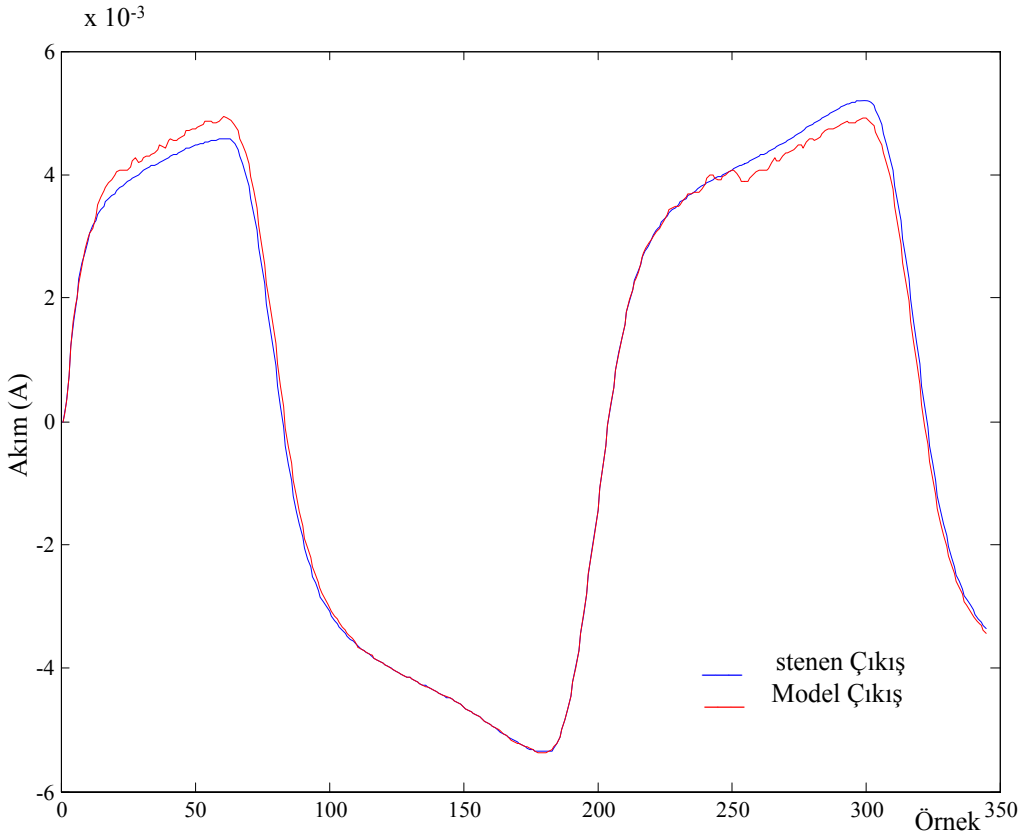
kullanılarak bu karakteristik elde edilmiştir. Giriş-çıkış verilerinden tek indisli olanlar YSA modelin eğitiminde, çift indisli olanlar da test edilmesinde kullanılmıştır. UBSA modelinin eğitim başarımı Şekil 4.6'da, histerisiz çevrimli İndüktansın φ-i karakteristiği ve UBSA modelinden elde edilen φ-i karakteristiği Şekil 4.7'de, istenilen ve UBSA modelinden elde edilen akım işaretleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Oluşturulan UBSA modelinin yapısı ve parametre değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir. Tablo 4.3'de verilen parametre değerleri yapılan birçok deneme sonucunda elde edilen en iyi değerlerdir. Modelin başarılı bir şekilde histerisiz çevrimli indüktansı temsil ettiği Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Histerisiz çevrimli indüktans UBSA modelinin modelleme başarımı.



Şekil 4.7. İstenilen ve elde edilen histerisiz eğrileri.



Şekil 4.8. İstenilen ve model çıkışından elde edilen akım işaretleri.

Tablo 4.3. Histerisiz çevrimli indüktans UBSA model yapısı ve parametreleri.

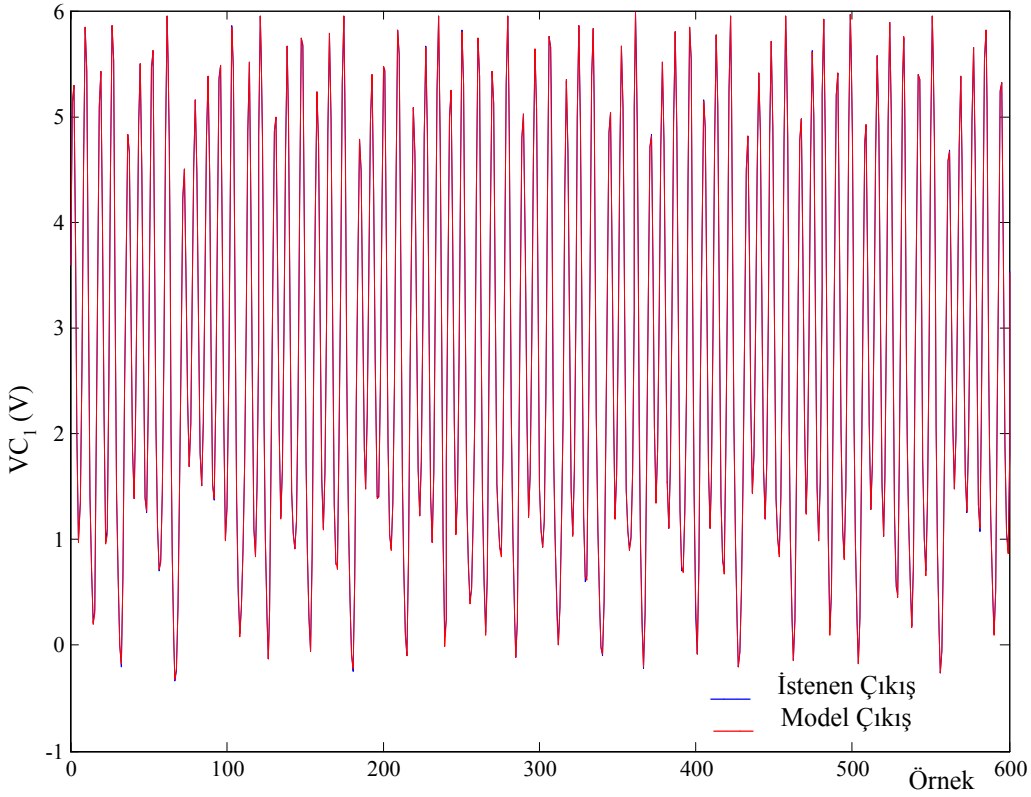
Model Yapısı ve Eğitim Parametreleri					
Üyelik Fonksiyon Sayısı	Üyelik Fonksiyon Tipi	Eğitim Tur Sayısı	Kural Sayısı	Giriş Sayısı	Çıkış Sayısı
5	Çan	100	25	2	1

4.4. Chua Devresinin UBSA ile Modellenmesi

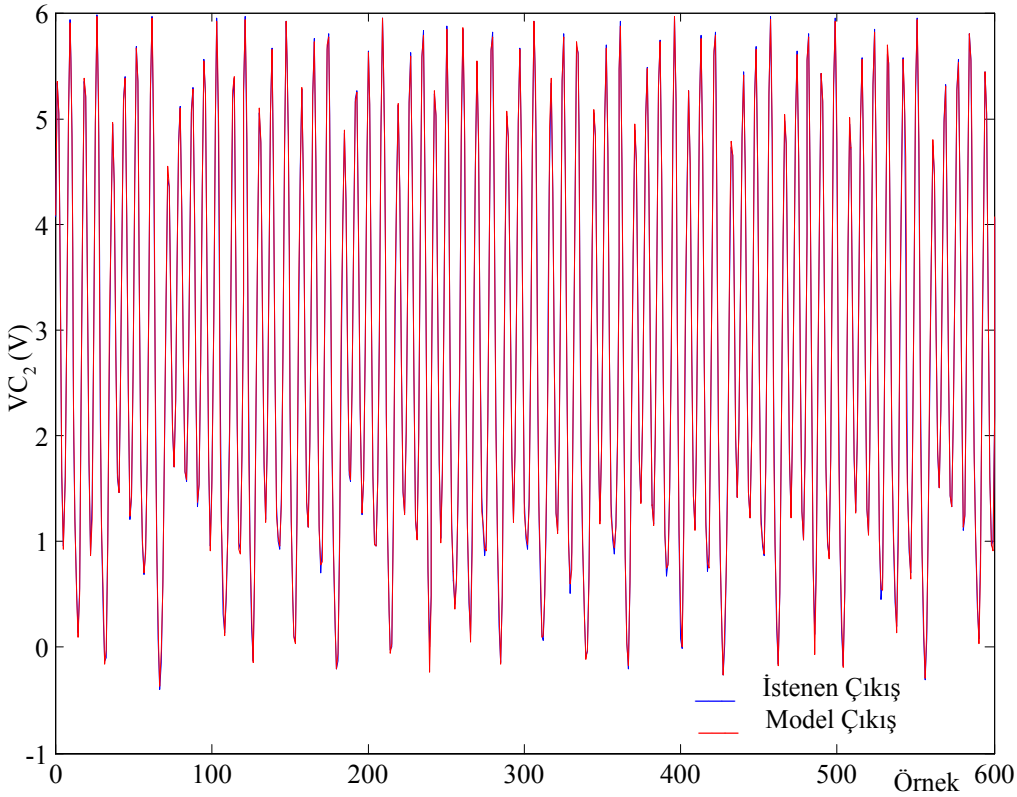
Burada, Chua devresi UBSA ile modellenmiştir. Gerçekleştirilen model yapısı, üç girişe ve tek çıkışa sahiptir. Her bir durum değişkeni için model ayrı ayrı eğitilmiştir. Girişler, Chua devresinin durum değişkenleri, çıkışlar ise bu durum değişkenlerinin bir sonraki durumu olarak belirlenmiştir. UBSA yapısı kullanılarak elde edilen Chua devresi modeli, test edilerek modelin başarımı grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca istendiğinde farklı giriş-çıkış ilişkileri yeniden eğitim yapılarak modele öğretilebilmektedir. Bu sayede uyarlamalı bir Chua modeli elde edilmektedir.

4.4.1. Modelleme Uygulaması

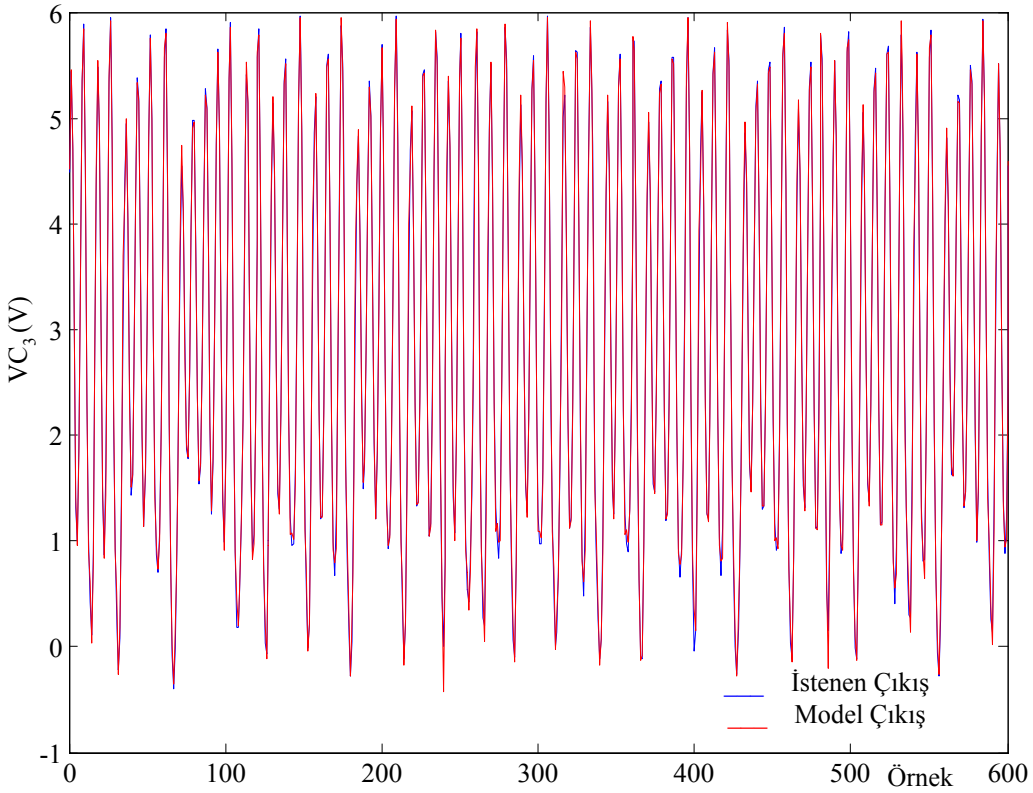
Bu çalışmada Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de verilen modelleme yapısı kullanılmıştır. Tablo 2.3'de verilen parametre değerleri kullanılarak MATLAB ortamında Chua devresi durum değişkenlerine ait işaretler elde edilmiştir. Bu işaretlere ait tek indisli verilerin bir bölümü UBSA modelinin eğitimi için kullanılırken çift indisli verilerin bir bölümüde UBSA modelinin test edilmesi için kullanılmıştır. Yani elde edilen verilerin 600 tanesi UBSA modelinin eğitimi için, diğer 600 tanesi ise eğitilen modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Yapılan çalışmada oluşturulan UBSA model parametreleri Tablo 4.4'de, test aşamasında kullanılan VC_1, VC_2 *ve* VC_3 durum değişkenlerine ait işaretler Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11'de sırası ile gösterilmiştir.



Şekil 4.9. *VC_1* durum değişkenine ait hesaplanan ve UBSA modelinden elde edilen çıkış işaretleri.



Şekil 4.10. *VC_2* durum değişkenine ait hesaplanan ve UBSA modelinden elde edilen çıkış işaretleri.



Şekil 4.11. I_L durum değişkenine ait hesaplanan ve UBSA modelinden elde edilen çıkış işaretleri.

Tablo 4.4. Chua Devresi UBSA model yapısı ve parametreleri.

Model Yapısı ve Eğitim Parametreleri					
Üyelik Fonksiyon Sayısı	Üyelik Fonksiyon Tipi	Eğitim Tur Sayısı	Kural Sayısı	Giriş Sayısı	Çıkış Sayısı
2	Çan	50	8	3	1

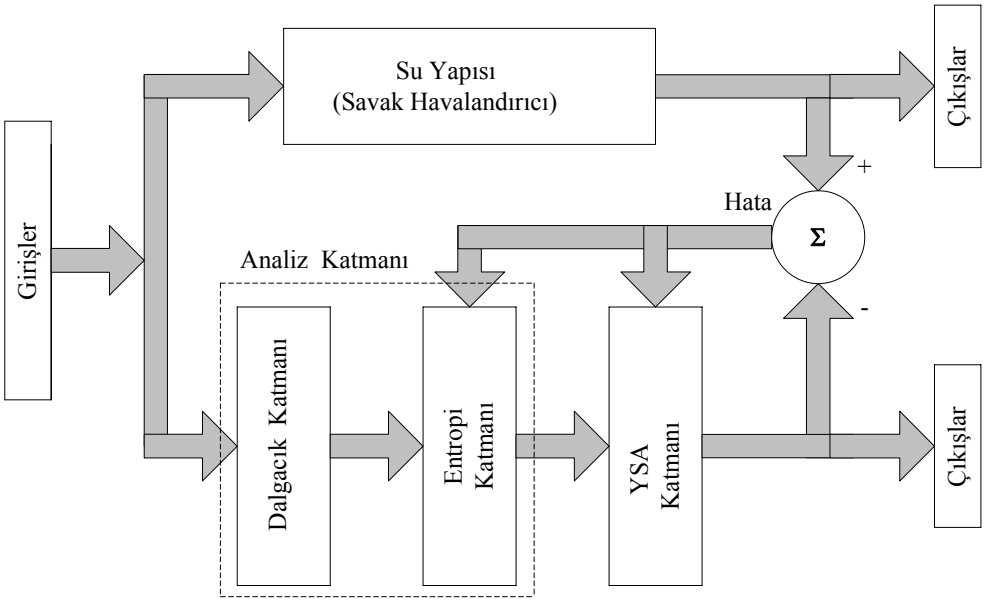
5. DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞI İLE MODELLEME

Bu bölümde DD ve YSA yapıları birlikte kullanılarak yapılan karmaşık sistem modelleme çalışmaları açıklanmıştır. Su yapıları, ASAT ve Chua devresi DD ve YSA yapıları birlikte kullanılarak modellenmiştir. Varikap diyot ve histerisiz çevrimli indüktans DD ve YSA yapıları kullanılarak modellenmiş fakat istenilen başarım sağlanamamıştır. Kullanılan modelleme yapıları, ilgili bölümlerde verilmiş ve model yapısı ve parametre değerleri tablolar halinde sunulmuştur. Tablolarda verilen değerler birçok deneme sonuçunda elde edilen en iyi değerlerdir.

5.1. Su Yapılarının DD ve YSA ile Modellenmesi

Bu bölümde, Bölüm 2'de anlatılan ve su mühendisliğinde geniş uygulama alanına sahip olan, havalandırma işlemi konusunda mevcut havalandırma sistemlerine alternatif olarak gösterilen savak havalandırıcıların oksijen transfer verimi, savak işletim parametreleri kullanılarak DD ve YSA tabanlı modellenmiştir [111]. Oluşturulan akıllı model yapısı, 4 girişe ve 1 çıkışa sahiptir. Elde edilen modelin başarımı grafiksel olarak sunulmuştur

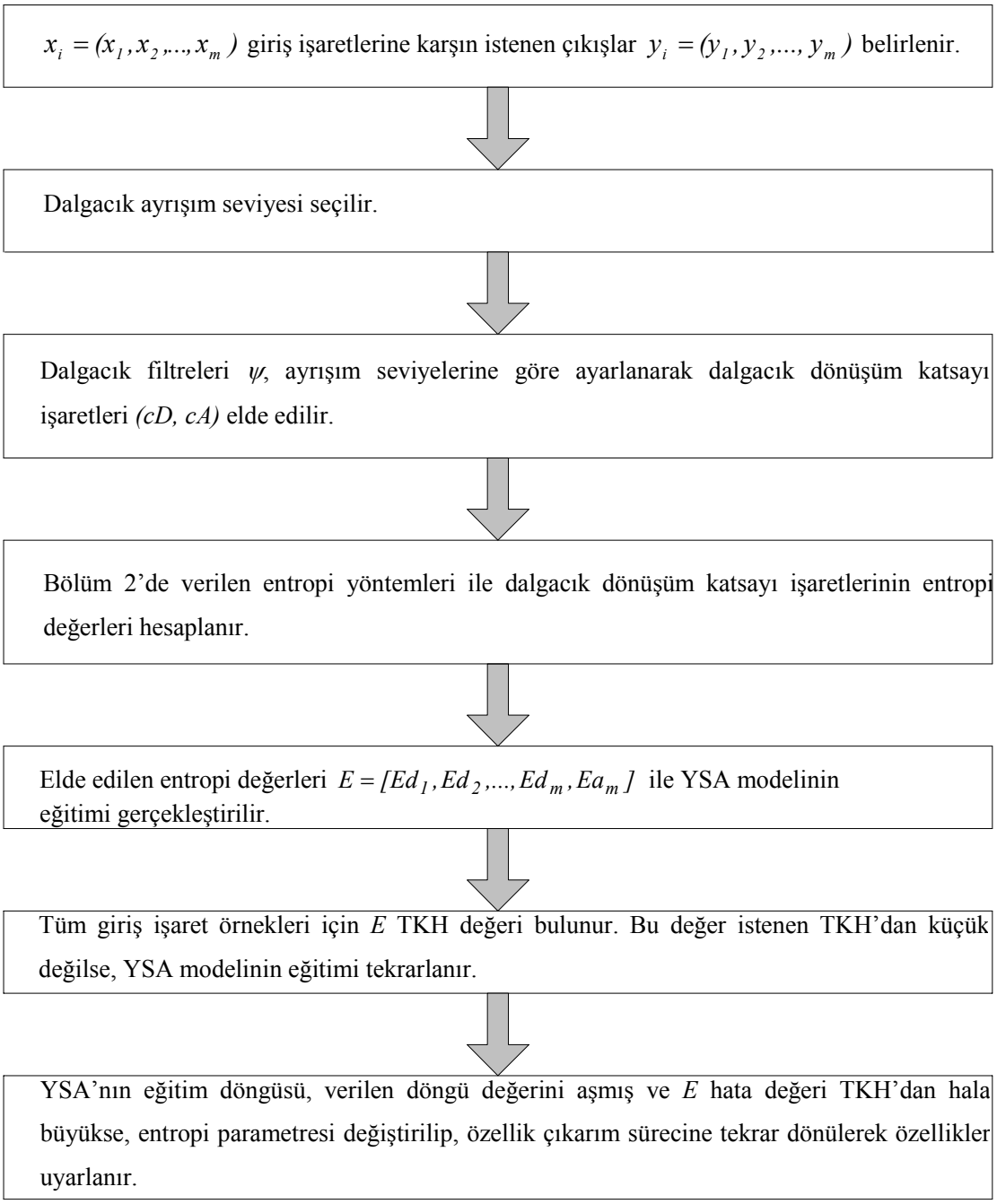
5.1.1. Modelleme Uygulaması



Şekil 5.1. Oluşturulan DD ve YSA modelleme yapısı.

Bölüm 2'de anlatılan savak havalandırıcılardaki oksijen transferi, savak işletim parametreleri ve Şekil 5.1'deki akıllı modelleme yapısı kullanılarak modellenmiştir. Analiz katmanında DD ve

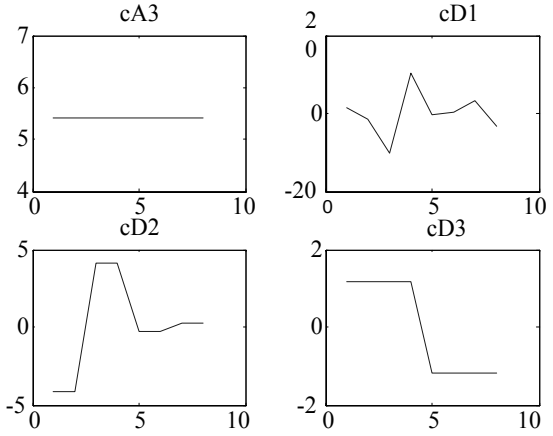
entropi hesaplama teknikleri kullanılmıştır. Şekil 5.1'de gösterilen modeleme yapısı iki bölümden oluşmaktadır, birincisi sistem analiz metotlarını kullanarak model özelliklerini çıkarmak, ikincisi ise yapay zeka metotları ile modellemedir. Modelleme yapısının her bir aşaması Şekil 5.2'de adımlar halinde açıklanmıştır.



Şekil 5.2. Modelleme aşamaları.

MATLAB Dalgacık modülü kullanılarak giriş işaretlerinden özellik çıkarma işlemi gerçekleştirilmiştir. Modellenecek sisteme ait deneysel olarak elde edilmiş toplam 24 adet veri dizisi

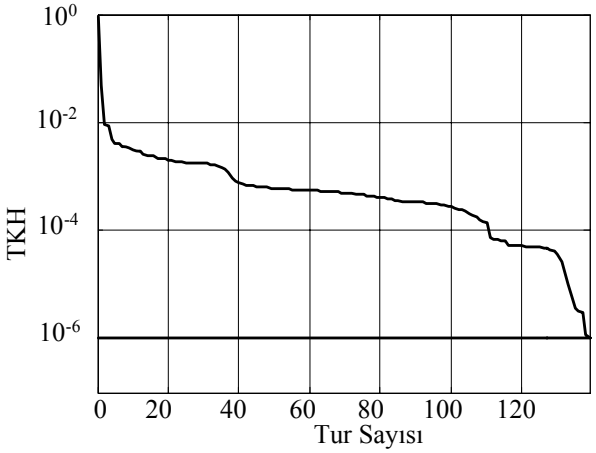
mevcuttur. Symlets–1 dönüşüm filtresi kullanılarak *m=3* seviyeli dönüşüm gerçekleştirilmiştir. *cA* ve *cD* olmak üzere iki farklı tip katsayı elde edilmiştir. Örnek katsayılar, Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Daha sonraki aşamada bu katsayıların Sure entropileri hesaplanmış ve YSA modelinin girişine uygulanmıştır. Eğitim aşamasında istenilen hata değerine ulaşıncaya kadar Sure entropinin ε parametresi 0.1'lik adımlar ile YSA ağırlıkları ise rasgele değiştirilerek akıllı modelin eğitimi gerçekleştirilmiştir. Kullanılan DD ve YSA yapısı ve parametre değerleri Tablo 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Giriş işaretlerinin örnek dalgacık katsayıları.

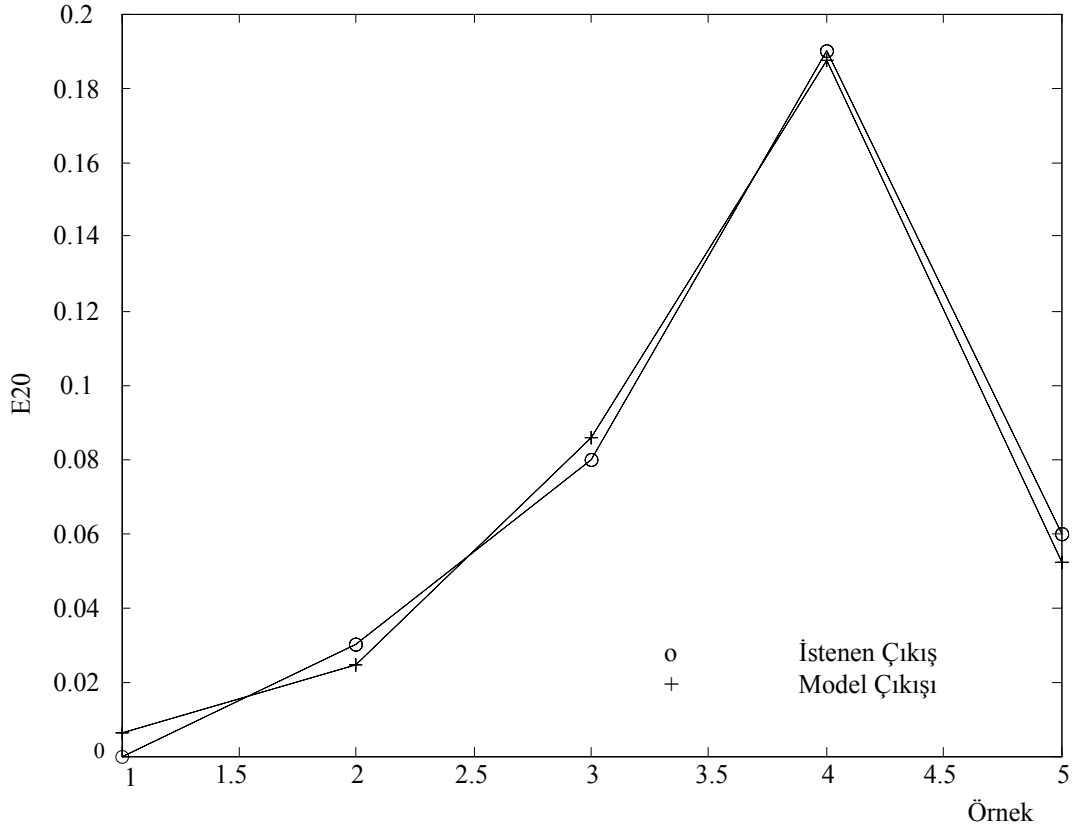
Tablo 5.1. DD ve YSA yapısı ve eğitim parametre değerleri.

Model Yapısı				**Eğitim Parametreleri**	
Katman Sayısı	Katmanlardaki Hücre Sayısı	Ağırlıkları ve Eşik Değerleri	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğrenme Kuralı	TKH
Giriş	4	Eğim düşme	Tanjant-sigmoid	Levenberg–	0.000001
Ara	15	metoduna	Tanjant-sigmoid	Marquardt	
Çıkış	1	göre ayarlanır.	Lineer	Geriye yayılım	



Şekil 5.4. DD ve YSA modelinin eğitim başarımı.

Oluşturulan akıllı modelin eğitim başarımı Şekil 5.4'de test başarımı ise Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5. DD ve YSA modelinin test başarımı.

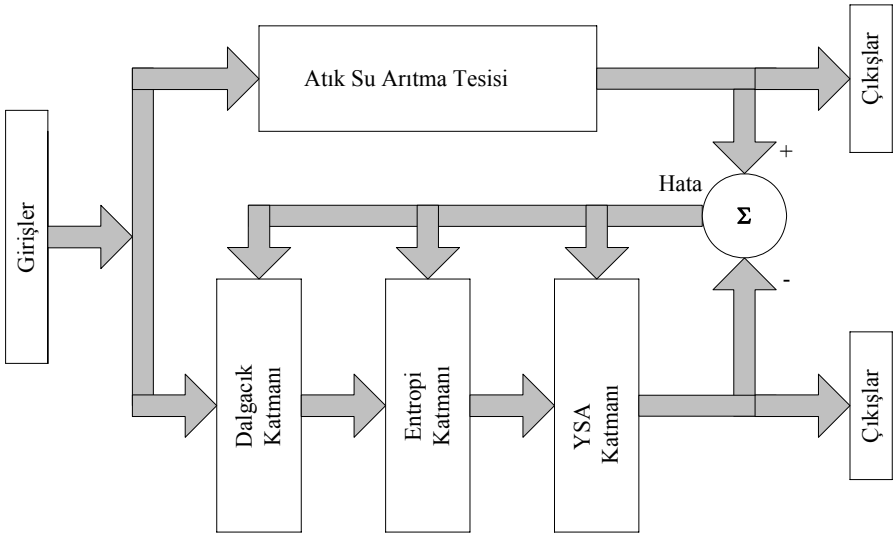
5.2. Atık Su Arıtma Tesisinin DD ve YSA ile Modellenmesi

Burada, gelecekte çok muhtaç olacağımız ve sınırlı kaynaklarda sahip olduğumuz su kaynaklarının korunması için önemli olan ASAT'ın akıllı modellemesi gerçekleştirilmiştir. Şimdiye kadar yapılan çalışmalarda akıllı metotlarla ASAT'ın belirlenmesi, kullanılan kimyasal maddelerin dozunun belirlenmesi, süreçlerin denetimi ve arıtılmış suyun organik ve anorganik sınır değerlerinin kontrol edilmesi yapılmıştır.

Bu çalışmada; DD, entropi ve YSA kullanılarak ASAT'ın çıkış parametresini modellemek amacı ile bir model oluşturulmuştur. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) bir atıksu arıtma tesisinin çıkışını belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Malatya belediyesi ASAT'tına ait günlük veriler alınmış ve bu verilerden eksik parametre değeri olan günler önemsenmemiştir. Çok katmanlı ileri beslemeli algılayıcı ağ yapısı kullanılarak akıllı model oluşturulmuş. Elde edilen model 50 günlük veriler kullanılarak eğitilmiş ve 12 günlük veriler kullanılarak test edilmiştir.

5.2.1. Modelleme Uygulaması

Malatya belediyesine ait ASAT, Şekil 5.6'daki akıllı modelleme yapısı kullanılarak modellenmiştir. Modelleme yapısının her bir aşaması adımlar halinde Şekil 5.7'de açıklanmıştır.



Şekil 5.6. Oluşturulan modelleme yapısı.

Her bir veri dizisine DD ve entropi uygulanarak yeni özelikler elde edilmiş ve bu özellikler kullanılarak model eğitilmiştir. DD ve YSA yapısı ve parametre değerleri Tablo 5.4'de verilmiştir. Modelin eğitim başarımı Şekil 5.8, KOİ için test başarımı Şekil 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.2. DD ve YSA yapısı ve eğitim parametre değerleri.

Model Yapısı				**Eğitim Parametreleri**	
Katman Sayısı	Katmanlardaki Hücre Sayısı	Ağırlıkları ve Eşik Değerleri	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğrenme Kuralı	TKH
Giriş	4	Eğim düşme	Tanjant-sigmoid	Levenberg–	0.0000001
Ara	25	metoduna	Tanjant-sigmoid	Marquardt	
Çıkış	1	göre ayarlanır.	Lineer	Geriye yayılım	

[$x_i = (x_1, x_2, ...x_m)$] giriş işaretlerine karşın istenen [$y_i = (y_1, y_2, ..., y_m)$] çıkışlar belirlenir.

Dalgacık ayrışım seviyesi seçilir ve giriş işaretleri aşağıda verilen denklem kullanılarak normalize edilir.

$$s(i) = \frac{s(i) - \min(s)}{\max(s) - \min(s)}$$

Dalgacık filtreleri ψ, ayrışım seviyelerine göre ayarlanarak dalgacık dönüşüm katsayı işaretleri *(cD, cA)* elde edilir.

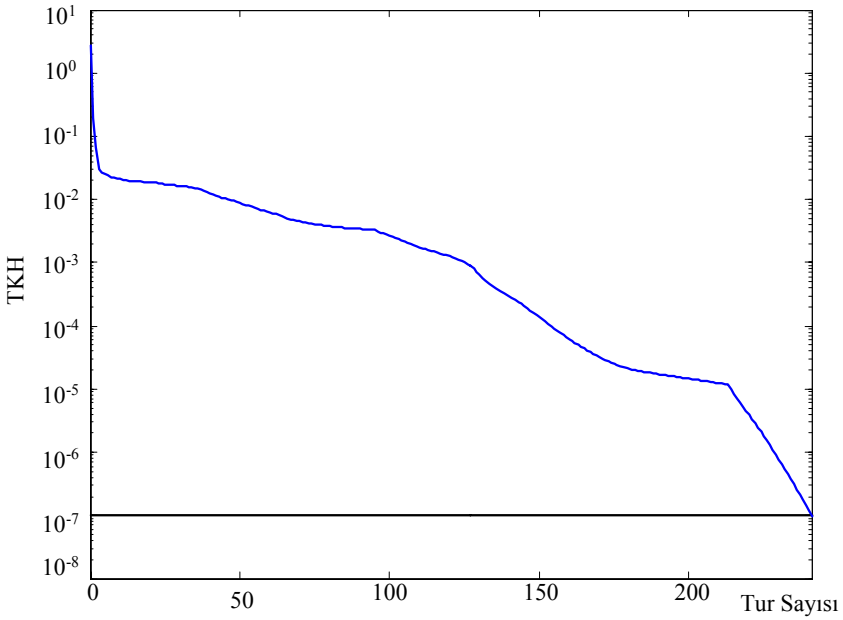
Bölüm 2'de verilen entropi yöntemleri ile DD katsayı işaretlerinin entropi değerleri hesaplanır.

Elde edilen entropi değerleri $E = [Ed_1, Ed_2, ..., Ed_m, Ea_m]$ ile YSA modelinin eğitimi gerçekleştirilir.

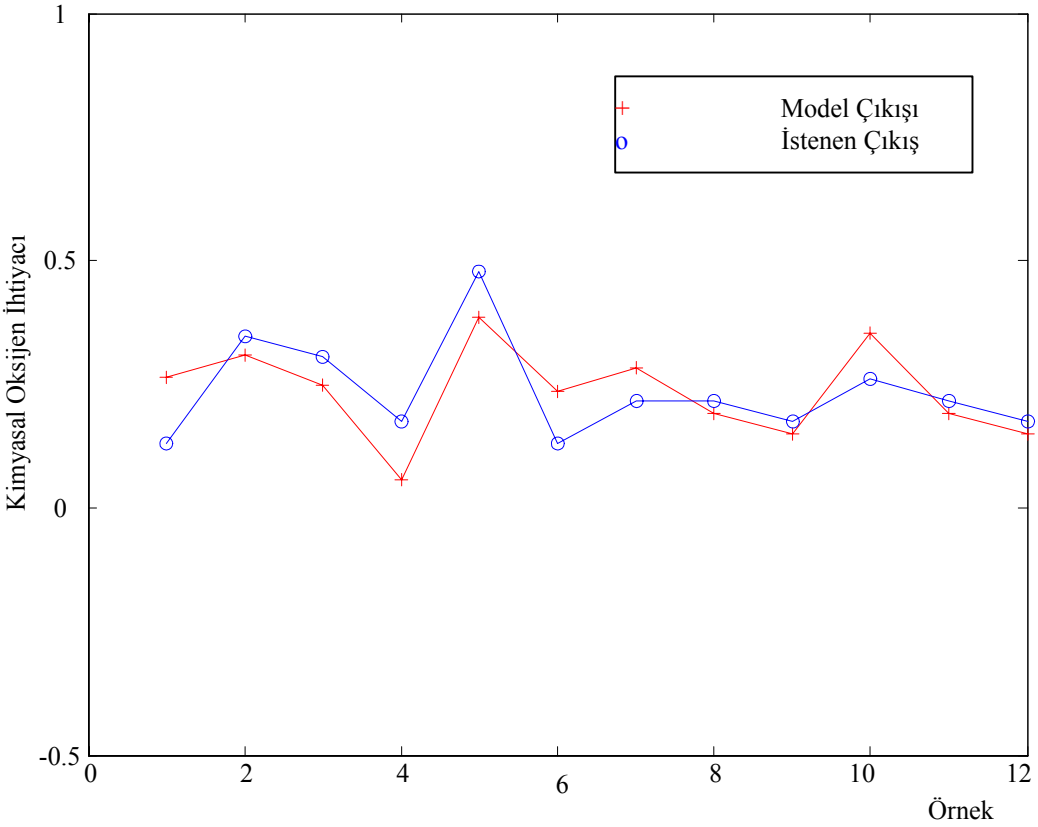
Tüm giriş işaret örnekleri için E toplam karesel hata değeri bulunur. Bu değer istenen toplam karesel hatadan küçük değilse, YSA modelinin eğitimi tekrarlanır.

YSA'nın eğitim döngüsü, verilen döngü değerini aşmış ve E hata değeri TKH'den hala büyükse, dalgaçık filtresi ve entropi parametresi değiştirilip, özellik çıkarım sürecine tekrar dönülerek özellikler uyarlanır.

Şekil 5.7. Modelleme aşamaları.



Şekil 5.8. DD ve YSA modelinin eğitim başarımı.



Şekil 5.9. DD ve YSA modelinin test başarımı.

5.3. Chua Devresinin DD ve YSA ile Modellenmesi

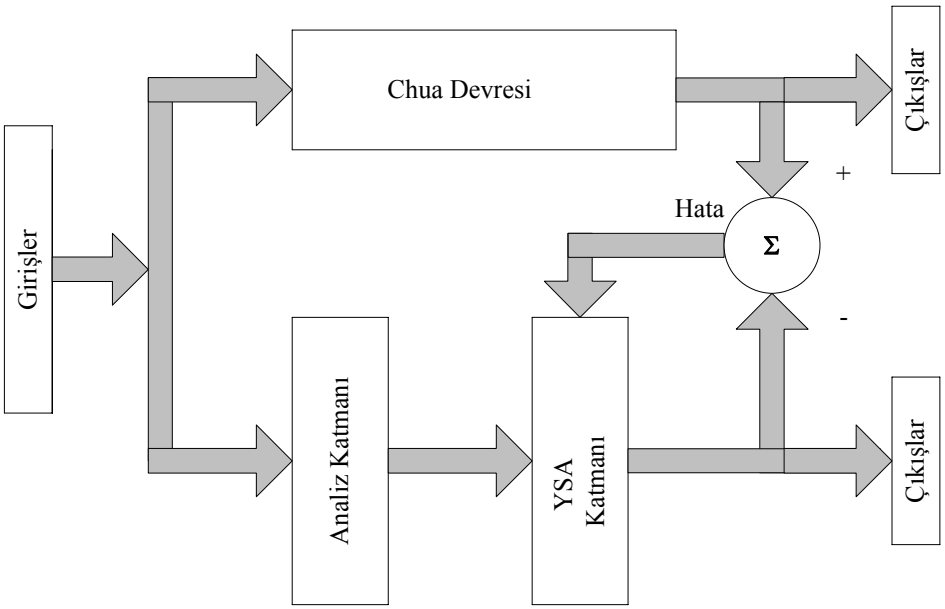
Burada, Bölüm 2'de anlatılan Chua devresi DD ve YSA yapısı kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan akıllı model yapısı, üç girişe ve bir çıkışa sahiptir. Girişler, Chua devresinin durum değişkeleri, çıkışlar ise bu durum değişkenlerinin bir sonraki durumudur. DD ve YSA kullanılarak elde edilen Chua devresi modeli test edilerek modelin başarımı grafiksel olarak sunulmuştur.

Kaotik sistemler başlangıç şartlarına duyarlıdır. Birçok doğrusal olamayan sistem başlangıç şartlarına bağlı olarak kaotik davranış gösterebilir. Bir devrenin kaotik davranış gösterebilmesi için en az bir tane doğrusal olmayan eleman, 3 tane enerji depolayan eleman ve bir tane de doğrusal direnç içermelidir [100]. Bu elemanların değerleri değiştirilerek farklı çekerler oluşturulabilinir.

Teorik olarak bir sistemdeki kaosun göstergesi Lyapunov katsayılarıdır. Lyapunov metodunun zorluğundan dolayı farklı birçok metot kaos çalışmalarında kullanılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalardan birçoğu örüntü tanıma tabanlıdır. Bir sistemin kaotik davranış gösterebilmesi için doğrusal olmama şartı gerekli bir şarttır. Fakat tek başına yeterli bir şart değildir. Kullanılan metotların hesaplama karmaşıklığı karşılaşılan temel sorundur.

5.3.1. Modelleme Uygulaması

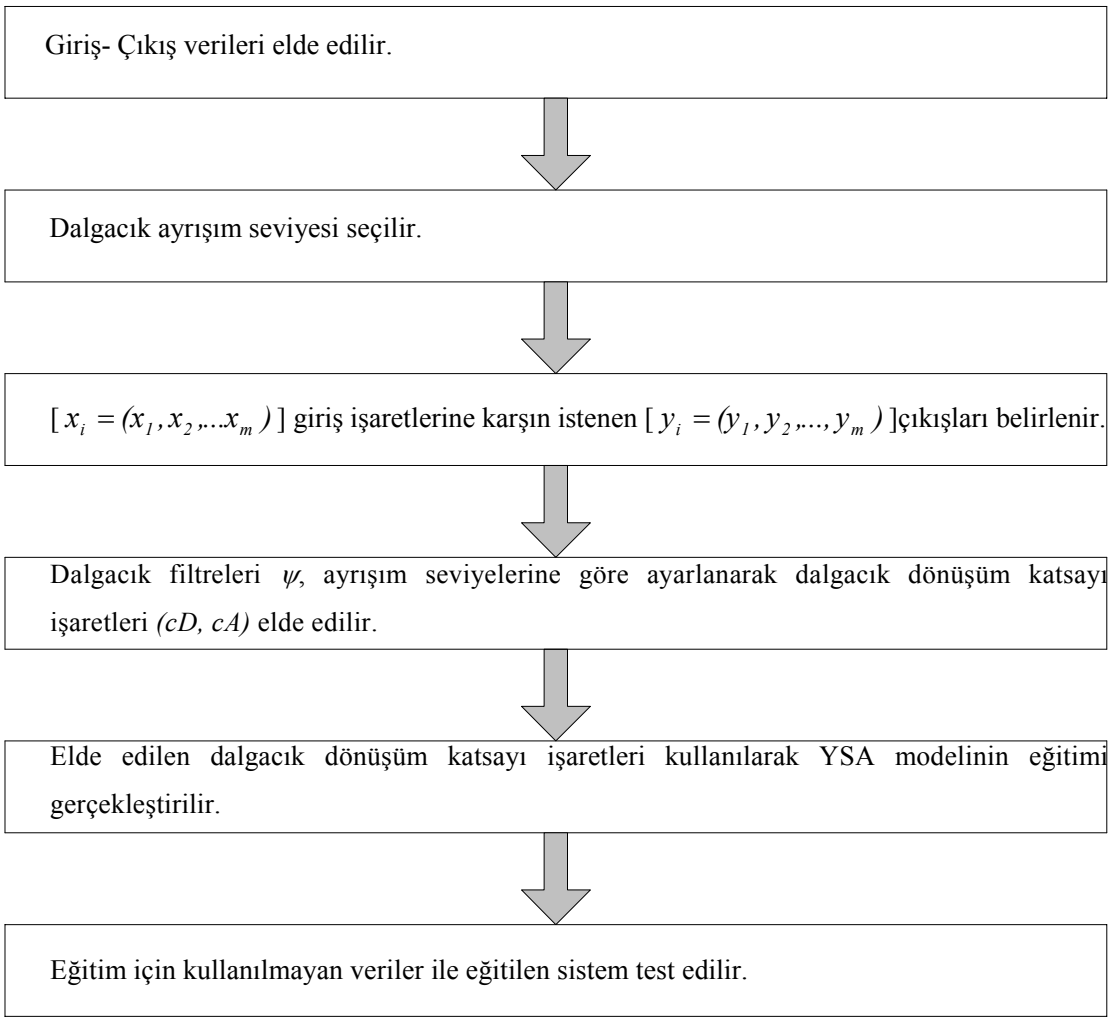
Chua devresi, Şekil 5.10'daki modelleme yapısı kullanılarak akıllı Chua modeli elde edilmiştir. Analiz katmanında DD kullanılmıştır. Bu modelleme yapısı [111-113]'de kullanılmıştır. Modelleme yapısının her bir aşaması adımlar halinde Şekil 5.11'de açıklanmıştır.



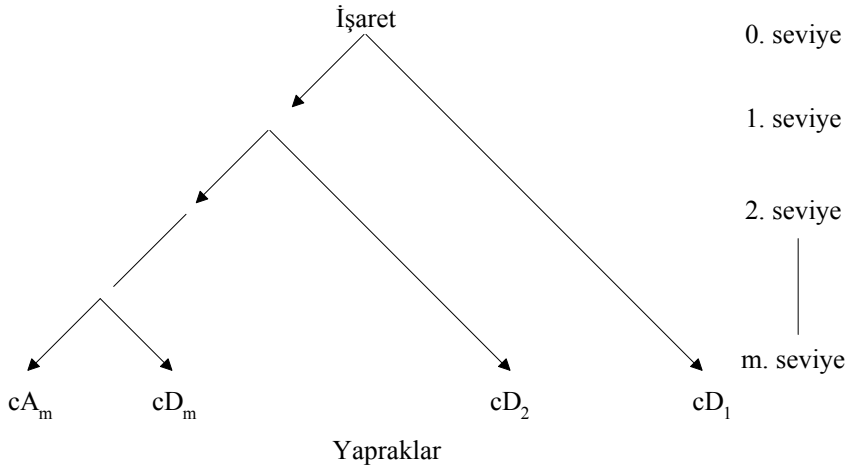
Şekil 5.10. Kullanılan akıllı modelleme yapısı.

Akıllı modellemede, modellenecek sisteme ait giriş işaretleri kullanılarak özellik çıkarma, yapılacak modelleme çalışmasında anahtar rol oynamaktadır. Çünkü giriş işaretleri kullanılarak ayırt edici özellikler elde edilmediği takdirde, kullanılan modelleme yapısı ne kadar iyi tasarlanırsa tasarlansın kötü sonuç üretecektir. DD kullanılarak giriş işaretinin boyutu indirgenebilir. Şekil 5.10'da verilen akıllı modelleme yapısı iki katmandan oluşmaktadır.

Dalgacık katmanı: Bu katman ile Chua devresine ait giriş işaretlerinin DD gerçekleştirilmiştir. Chua devresi işaretleri, 4 seviyeli dalgaçık dönüşüm kullanılarak ayrıştırılmıştır. Kullanılan dönüşüm filtresi Daubechies-4 dür. DD neticesinde her işarete ait dört tane detay, bir tanede ana dalgacık katsayısı elde edilmiştir. DD ağacı Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Modelleme aşamaları.

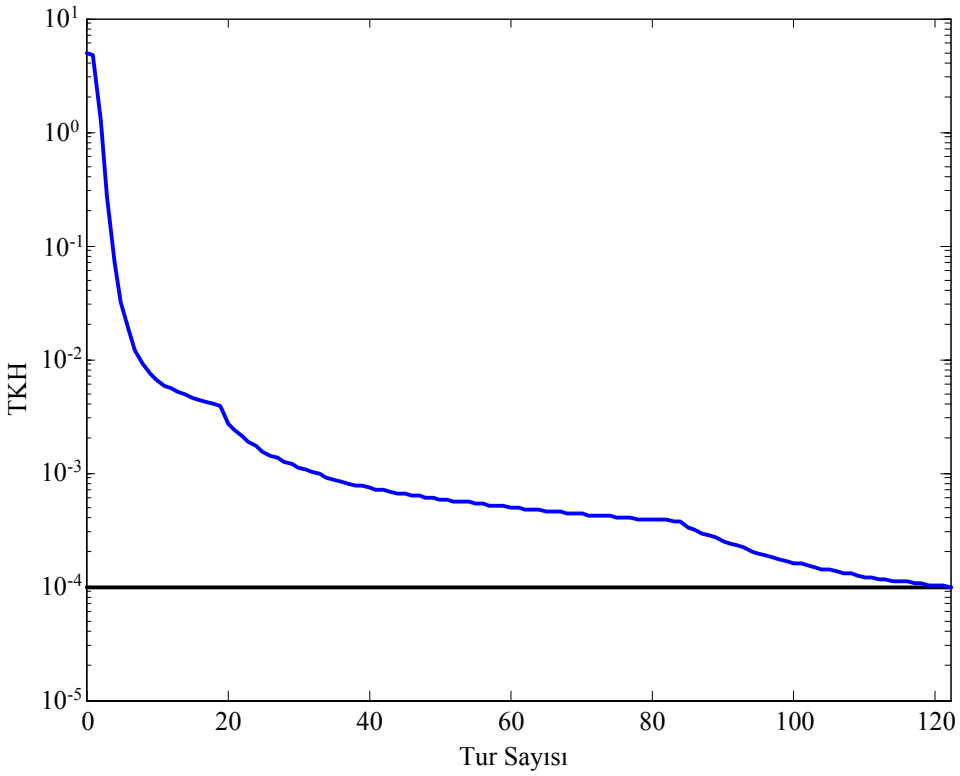


Şekil 5.12. DD ağaç yapısı.

Yapay Sinir Ağı Katmanı: Modelleme, dalgacık katmanının çıkışları kullanılarak bu katmanda yapılır. Tasarlanan çok katmanlı algılayıcı ağın parametre değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir. Verilen değerler yapılan denemeler sonucunda elde edilen en iyi değerlerdir. Katmanlarda yer alan hücre sayısı değiştirilerek daha iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen modelin eğitim başarımı Şekil 5.13'de gösterilmiştir.

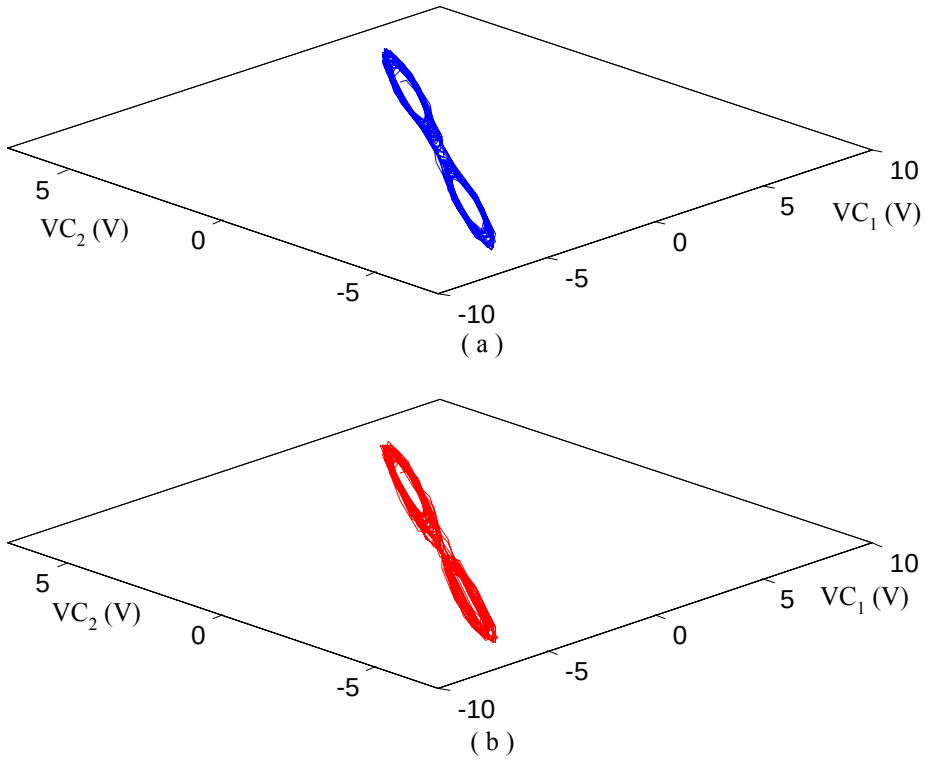
Tablo 5.3. DD ve YSA yapısı ve eğitim parametre değerleri.

Model Yapısı				**Eğitim Parametreleri**	
Katman Sayısı	Katmanlardaki Hücre Sayısı	Ağırlıkları Ve Eşik Değerleri	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğrenme Kuralı	TKH
Giriş	12	Eğim düşme	Tanjant-sigmoid	Levenberg–	0.0001
Ara	16	metoduna	Tanjant-sigmoid	Marquardt	
Çıkış	1	göre ayarlanır.	Lineer	Geriye yayılım	



Şekil. 5.13. DD ve YSA yapısının eğitim başarımı.

Chua devresi durum değişkenlerine ait işaretler matematiksel model kullanılarak MATLAB ortamından elde edilmiştir. Bu işaretler akıllı modelin eğitimi ve test edilmesi için kullanılmıştır. DD ve YSA modelinin test başarımı Şekil 5.14 ve Tablo 5.4' de gösterilmiştir.



Şekil. 5.14. a) Matematiksel model, b) DD ve YSA modeline ait çift kaydıraçlı çekerler.

Tablo 5.4. Akıllı (DD ve YSA) model yapısının eğitim başarımı.

Akıllı (DD ve YSA) model yapısı			
Ara Katmandaki Hücre Sayısı	*Tur Sayısı*	*Veri Sayısı*	*TKH*
5	*221*	*500*	*0,000099*
10	*122*	*500*	*0,000099*
20	*74*	*500*	*0,000099*
35	*45*	*500*	*0,000078*
50	*15*	*500*	*0,000092*

6. DALGACIK PAKET DÖNÜŞÜMÜ VE YAPAY SİNİR AĞI İLE MODELLEME

Bu bölümde DPD ve YSA yapıları birlikte kullanılarak yapılan karmaşık sistem modelleme çalışmaları açıklanmıştır. ASAT ve Chua devresi DPD ve YSA yapıları birlikte kullanılarak modellenmiştir. Varikap diyot, su yapıları ve histerisiz çevrimli indüktans DPD ve YSA yapıları kullanılarak modellenmiş fakat istenilen başarım sağlanamamıştır. Kullanılan modelleme yapıları, ilgili bölümlerde verilmiş ve model yapısı ve parametre değerleri tablolar halinde sunulmuştur. Tablolarda verilen değerler birçok deneme sonucunda elde edilen en iyi değerlerdir.

6.1. Atık Su Arıtma Tesisinin DPD ve YSA ile Modellenmesi

Bu çalışmada, DPD, entropi ve YSA kullanılarak ASAT'ın çıkış parametresi modellenmiştir [114]. AKMM bir atık su arıtma tesisinin çıkışını belirleyen en önemli parametredir. Bundan dolayı modellenecek parametre olarak AKMM seçilmiştir. Malatya belediyesi ASAT'ına ait günlük veriler alınmış ve bu verilerden eksik parametre değeri olan günler önemsenmemiştir. Çok katmanlı ileri beslemeli algılayıcı ağ yapısı kullanılarak akıllı model oluşturulmuştur. Elde edilen model 50 günlük veriler kullanılarak eğitilmiş ve 12 günlük veriler kullanılarak test edilmiştir.

6.1.1. Modelleme Uygulaması

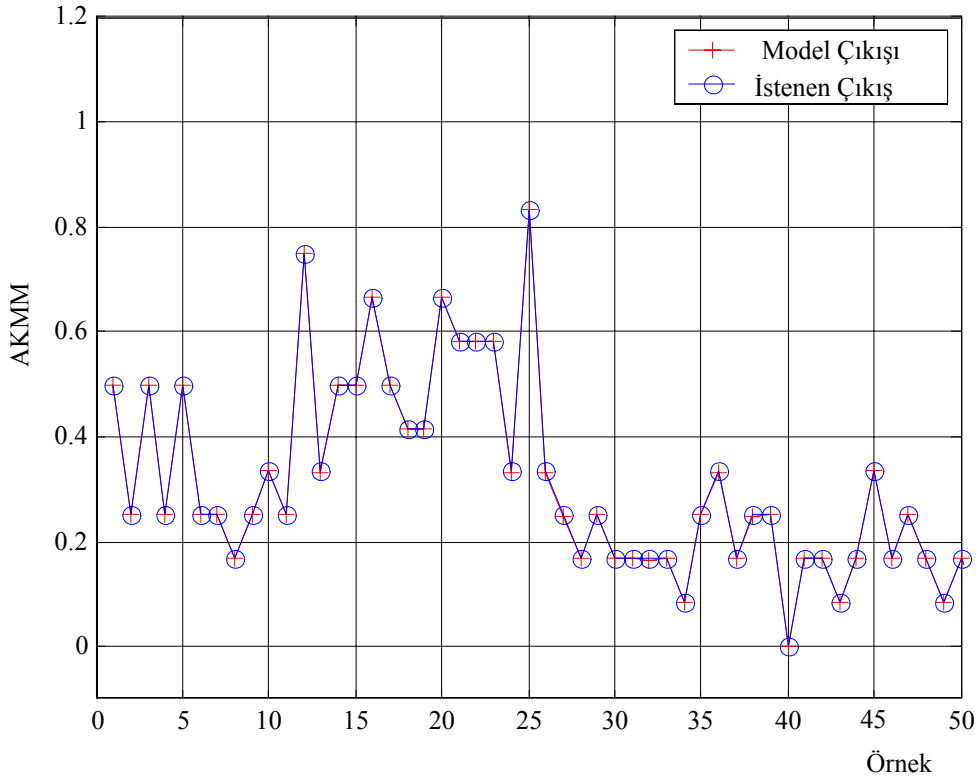
ASAT, Şekil 5.1'deki akıllı modelleme yapısı kullanılarak modellenmiştir. Analiz katmanında DD yerine DPD kullanılmıştır. Modelleme yapısının her bir aşaması adımlar halinde Şekil 5.2'de açıklanmıştır.

Her bir veri dizisine DPD ve entropi uygulanarak yeni özelikler elde edilmiş ve bu özellikler kullanılarak model eğitilmiştir. DPD ve YSA yapısı ve parametre değerleri Tablo 6.1'de verilmiştir. Modelin eğitim performansı Şekil 6.1, AKMM için test performansı Şekil 6.2'de verilmiştir.

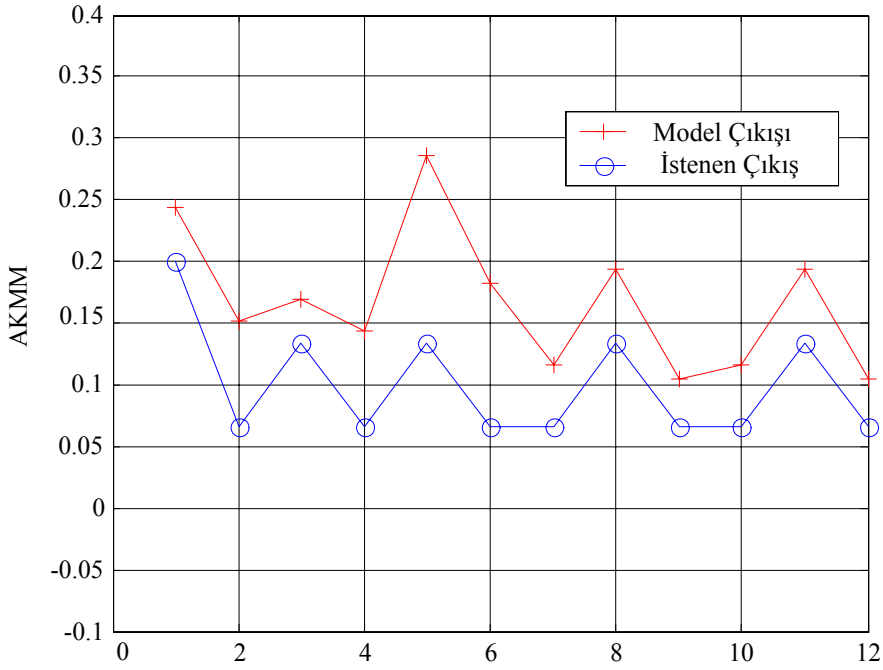
Tablo 6.1. DPD ve YSA yapısı ve eğitim parametre değerleri.

Model Yapısı				**Eğitim Parametreleri**	
Katman Sayısı	Katmanlardaki Hücre Sayısı	Ağırlıklar ve Eşik Değerleri	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğrenme Kuralı	TKH
Giriş	5	Eğim düşme metoduna göre ayarlanır.	Tanjant-sigmoid	Levenberg–Marquardt Geriye yayılım	0.00001
Ara	10		Tanjant-sigmoid		
Çıkış	1		Lineer		

Giriş verilerine 3 seviyeli DPD uygulanmış, Symlet-1 DD filtresi kullanılmıştır. Elde edilen DP katsayılarının Sure entropisi hesaplanarak oluşturulan akıllı modelin girişine uygulanmıştır.



Şekil 6.1. DPD ve YSA yapısının modelleme başarımı.



Şekil 6.2. AKMM için DPD ve YSA yapısının test başarımı.

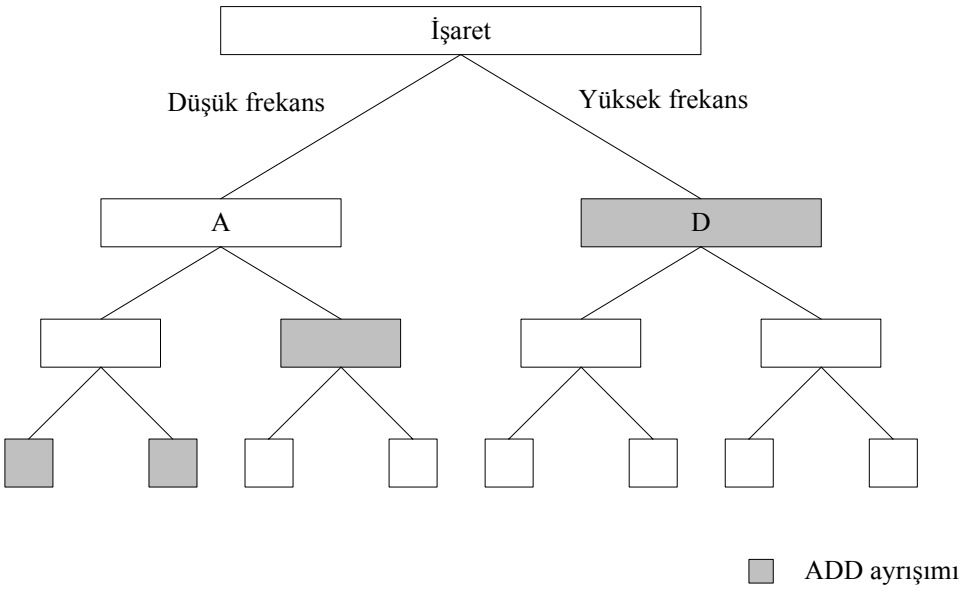
6.2. Chua Devresinin DPD ve YSA İle Modellenmesi

Bu çalışmada, Chua devresi DPD ve YSA kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan akıllı model, üç girişe ve üç çıkışa sahiptir. Girişler, Chua devresinin durum değişkeleri, çıkışlar ise bu durum değişkenlerinin bir sonraki durumu olarak belirlenmiştir. DPD ve YSA kullanılarak elde edilen Chua devresi modeli test edilerek, modelin başarımı grafiksel olarak sunulmuştur.

6.2.1 Modelleme Uygulaması

Şekil 5.1'deki modelleme yapısı kullanılarak bölüm 2'de anlatılan Chua devresinin akıllı modeli elde edilmiştir. Analiz katmanında DPD kullanılmıştır. Bu modelleme yapısı [114-117]'de kullanılmıştır. Oluşturulan akıllı modelleme yapısı iki katmandan oluşmaktadır. Modelleme yapısının her bir aşaması Şekil 5.2'de adımlar halinde açıklanmıştır.

Dalgacık Paket Katmanı: Chua devresine ait giriş işaretlerinin DPD'leri bu katmanda gerçekleştirilir. Chua devresi işaretleri 2 seviyeli dalgacık paket dönüşümü kullanılarak ayrıştırılmıştır. Kullanılan dönüşüm filtresi Symlet-1' dir. Dalgacık paket dönüşüm ağacı Şekil 6.3'de gösterilmiştir.

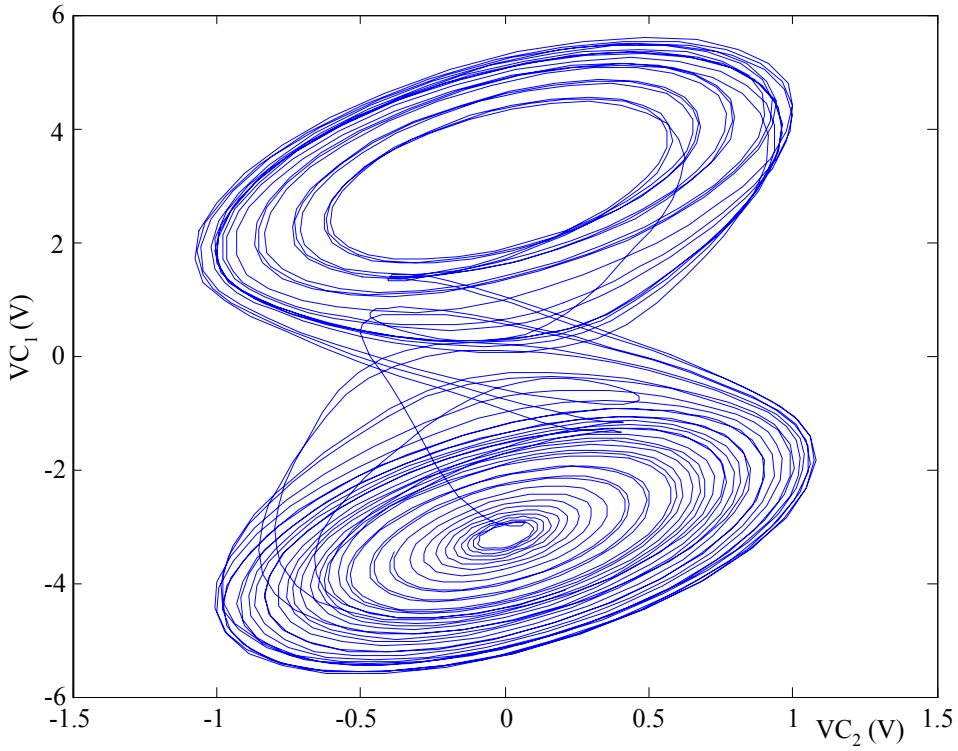


Şekil 6.3. DPD ağaç yapısı.

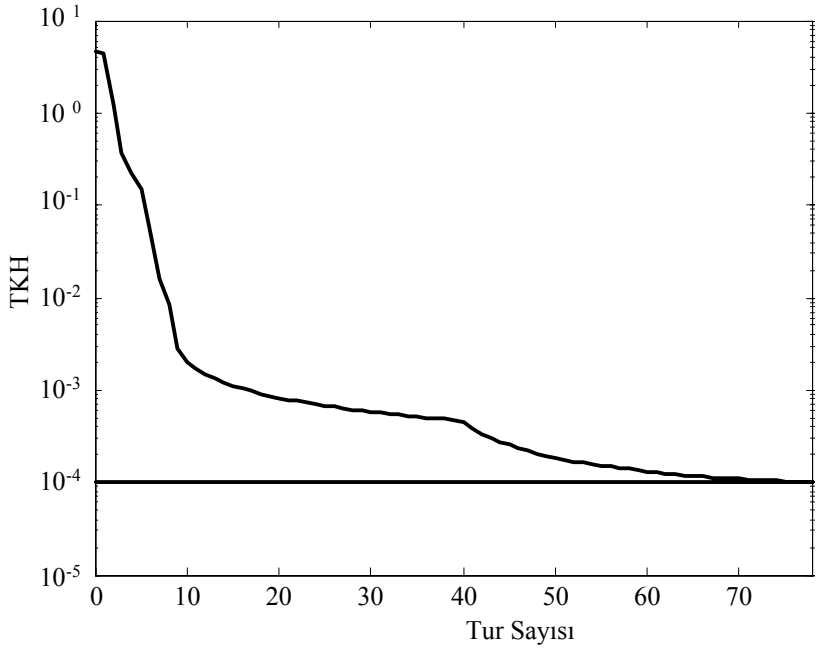
Yapay Sinir Ağı Katmanı: Dalgacık paket katmanının çıkışları kullanılarak modelleme bu katmanda yapılır. Tasarlanan çok katmanlı algılayıcı ağın parametre değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir. Verilen değerler yapılan benzetimler sonucunda elde edilen en iyi değerlerdir. Matematiksel model kullanılarak elde edilen çift çeker Şekil 6.4'de, elde edilen modelin eğitim performansı Şekil 6.5'de gösterilmiştir. Durum değişkenlerine ait işaretler ve model çıkışından elde edilen işaretler Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de sırası ile gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Chua devresi DPD ve YSA yapısı ve eğitim parametre değerleri.

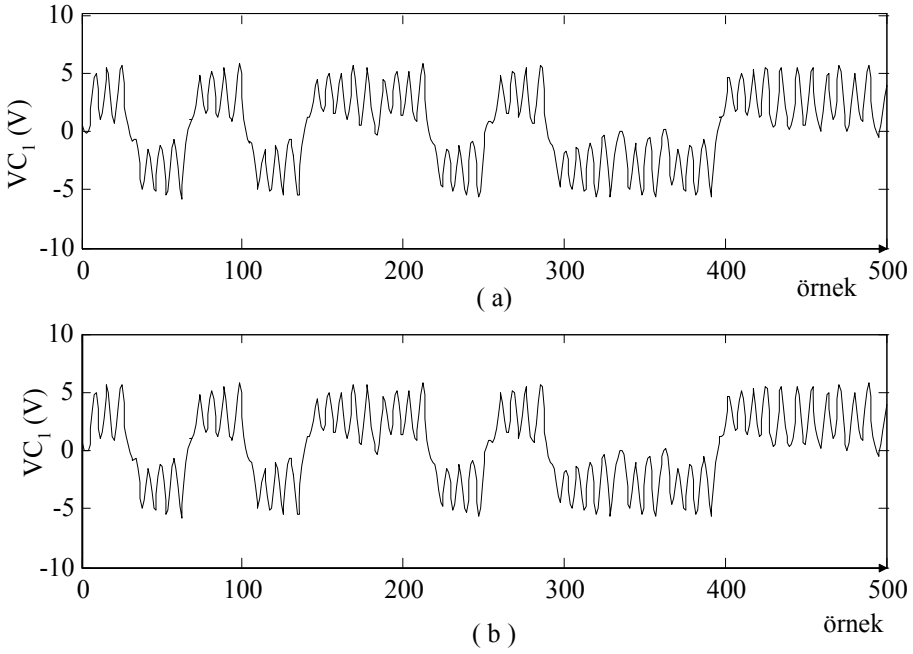
Model Yapısı				Eğitim Parametreleri	
Katman Sayısı	Katmanlardaki Hücre Sayısı	Ağırlıklar ve Eşik Değerleri	Aktivasyon Fonksiyonu	Öğrenme Kuralı	TKH
Giriş	12	Eğim düşme metoduna göre ayarlanır.	Tanjant-sigmoid	Levenberg–Marquardt Geriye yayılım	0.00001
Ara	16		Tanjant-sigmoid		
Çıkış	3		Lineer		



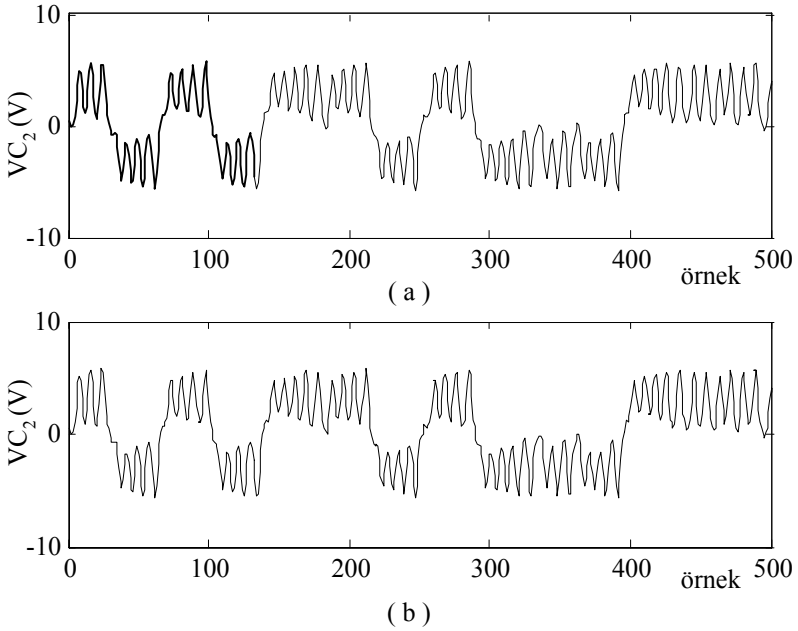
Şekil 6.4. Çift kaydıraçlı çeker.



Şekil 6.5. DPD veYSA modelinin eğitim başarımı.

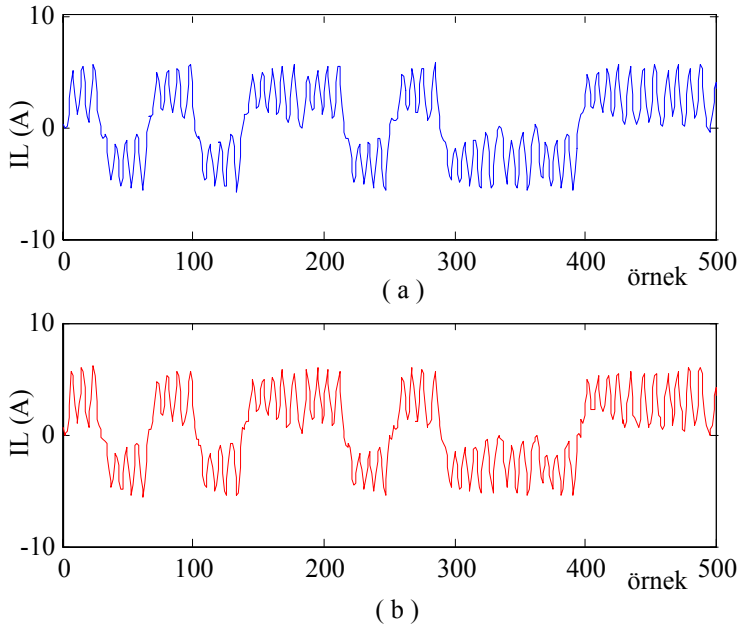


Şekil 6.6. a) Matematiksel model, b) akıllı modelin VC_1 için çıkış işaretleri.



Şekil 6.7. a) Matematiksel model, b) akıllı modelin VC_2 için çıkış işaretleri.

.



Şekil 6.8. a) Matematiksel model, b) akıllı modelin I_L için çıkış işaretleri.

7. SONUÇLAR

Bu tezde; klasik metotlar ile modellenmesi zor olan karmaşık sistemlerin akıllı metotlar ile modellenmesi amaçlanmıştır. Daha önce farklı akıllı modelleme yapıları ile modellenen karmaşık sistemlerin ya başarımı artırılmış ya da önerilen yeni akıllı modelleme yapıları ile yeni modeller oluşturulmuştur. Karmaşık sistem olarak kabul edilen histerisiz çevrimli indüktans ve varikap diyot YSA ve UBSA tabanlı modellenmiştir. Chua devresi ise YSA, UBSA ve önerilen yeni modelleme yapıları DD ve YSA, DPD ve YSA yapıları kullanılarak modellenmiştir. Deneysel olarak yapılan çalışmalar sonucu matematiksel olarak modellenen savak havalandırıcılar YSA, UBSA ve önerilen DD ve YSA yapıları kullanılarak ilk defa akıllı metotlar ile modellenmiştir. Kullanıma bağlı olarak farklı yapılarda tasarlanan ASAT'lar bilimsel yazında birçok akıllı metot tabanlı yaklaşımlar kullanılarak modellenmiştir. Malatya ASAT'ı; DD ve YSA, DPD ve YSA tabanlı olarak ilk defa bu tezde modellenmiştir.

Akıllı modelleme çalışmalarında ölçümler ya da hesaplamalar sonucu elde edilen giriş-çıkış verileri herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan kullanıldığından sistemin akıllı modelinin oluşturulmasında fazla örnek sayısına ihtiyaç duyulması, fazla örnek kullanıldığında hesaplama süresinin ve hafıza gereksinimin artması, eğitilen sistemin sistem davranışını ezberlemesi gibi sorunlar ile karşılaşılmaktadır. Yapılan çalışmalarda daha ayrıntılı ve tutarlı model özellikleri elde etmek için, DD/ DPD kullanılmıştır. Giriş veri dizisine birden çok perspektiften bakılarak elde edilen her bir veri/işaret bileşeninin entropi değerleri hesaplanmıştır. Böylece veri/işaret model özellik uzayı, veri/işaretin farklı bakış açılarından çıkarılan her bir bileşeninin sahip olduğu entropi değerlerinin oluşturduğu küme ile tanımlanmıştır. Bu oluşturulan kümenin boyutu, Bölüm 5 ve 6'da gösterildiği gibi doğrudan elde edilen model özellik uzayının boyutundan daha küçük ve modelin başarımı daha yüksek olacaktır. Bu ise, model özellik çıkarma algoritmasının sağlam temellere dayalı olduğunu göstermektedir. Ayrıca model özellik uzayının boyut olarak küçük olması, kullanılan modelleme yapısının karmaşıklığını azaltmaktadır. Bu nedenle elde edilen akıllı model, gerçek zaman uygulamaları için daha uygun hale gelmektedir. Ayrıca modelleme yapısı daha basit olacağından, hafıza gereksinimi daha az olacak, daha basit ve ucuz donanımlar kullanılarak istenilen sistemler gerçekleştirilebilecektir. Savak havalandırıcılar ve ASAT çalışmalarında, durağan olmayan sinyallere çok sık uygulanan DD ve DPD, veri dizilerine uygulanmış ve akıllı modelleme konusunda da sinyal işleme konusunda olduğu gibi fayda sağlamıştır.

Kullanılan DD/DPD model özellik çıkarım yapılarında, veri dizilerinin entropi değerleri hesaplanmıştır. Bölüm 4, 5 ve 6 yapılan savak havalandırıcılar ve ASAT çalışmalarında entropi hesaplama yaklaşımı kullanılarak modelleme yapıldığından oluşturulan akıllı modellerin, eğitim

başarımları kullanılan model özellik çıkarım algoritmalarına bağlı olarak istenilen hata değerinde gerçekleşmiştir. Buradan, model özellik uzayında birbirini kapsayan alt kümelerin oluşmadığı anlaşılır. Bu ise, bir model özellik çıkarım algoritmasından beklenen en iyi sonuç olup, geliştirilen model özellik çıkarım yapılarının, veri grupları arasındaki ayrımı ne kadar keskin bir şekilde sağladığını göstermektedir. Entropi kavramının geliştirilen yöntemlerde kullanılması, model özellik çıkarımı için çok kullanışlı bir araç olmuştur. Böylece bu yeni tanılama bilgisi elde etme yöntemi, geleneksel yöntemlere göre farklı bir yaklaşımdır.

Önerilen modelleme yapıları farklı karmaşık sistemler üzerinde denenmiştir. YSA tabanlı modelleme çalışmalarında, varikap diyot, histerisiz çevrimli indüktans, savak havalandırıcılar ve Chua devresi başarılı olarak modellenmiştir. Fakat ASAT modelinin eğitimi istenilen başarımda gerçekleşmesine rağmen, istenilen test başarımını gösterememiştir. Bunun nedeni ise giriş parametre sayısının fazla olması ve bu parametrelerin tamamen çevresel şartlara bağlı olmasıdır. UBSA tabanlı modelleme çalışmalarında, YSA tabanlı yapılan çalışmalara benzer sonuçlar elde edilmiş ve ASAT ile ilgili aynı sorunlar ortaya çıkmıştır. Giriş parametre sayısı fazla olduğundan hesaplama ve modelleme süresi artmıştır. Savak havalandırıcılar ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar ilk defa UBSA tabanlı modellenmiştir. DD ve YSA tabanlı modelleme çalışmalarında, Chua devresi ve savak başarılı bir şekilde modellenmiştir. Savak havalandırıcıların ve ASAT'ın model özellik uzayı boyutu DD kullanılarak indirgenmiş böylece parametre karakteristiği modellenmiştir. Fakat varikap diyot ve histerisiz çevrimli indüktans, giriş sinyalleri durağan olduğundan DD ve YSA yapısı başarılı sonuçlar üretmemiştir. DPD ve YSA tabanlı modelleme çalışmalarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Önerilen model özellik çıkarım sürecinin güçlü olması nedeni ile sistem giriş veya çıkış parametrelerinin ötelenmiş değerlerini kullanmaya gerek kalmamıştır. Daha az parametre kullanılarak ve daha az hesaplama yapılarak belirlenen sistemlerin akıllı modeli elde edilmiştir.

Savak havalandırıcılar ve ASAT çalışmalarında sunulan modelleme yapısında sistem özelliklerinin doğrusallaştırılması ile yapay zeka tekniği bütünleşik hale getirilmiştir. Böylece sistem doğrusallaştırma süreci, yapay zeka tekniğinin başarımına bağlı olarak kendi içinde tekrar uyarlamalı bir hale getirilmiştir. Bu sayede en uygun parametre değerleri eğitim aşamasında seçilmekte ve TKH istenilen değerde gerçekleşmektedir. Bu tezde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 7.1'de verilmiştir.

Gerçekleştirilen akıllı modelleme yapıları, farklı bilim dallarındaki örnek karmaşık sistemlere uygulanmıştır. Aynı metotlar kullanılarak daha farklı bilim dallarındaki elemanlar veya sistemlerin akıllı modellerinin elde edilmesi, elde edilen akıllı modellere farklı parametreler eklenerek farklı çalışma şartlarını kapsayacak biçimde modellerin uyarlanması, gerçek zamanlı çalışmalarda kullanılabilecek güvenilir modellerin elde edilmesi, DD/DPD ve

UBSA tabanlı modelleme yapısı oluşturularak aynı örneklere ya da farklı karmaşık sistemlere uygulanması gelecek araştırmalara konu olabilir.

Tablo 7.1. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar.

Yapay Zeka Tekniği	***Karmaşık Sistem***				
	Varikap diyot	***Histerisiz çevrimli indüktans***	***Chua devresi***	***Savak havalandırıcılar***	***ASAT***
YSA Test Doğruluğu Süre Adım Sayısı	 99.9 10.03 43	 99.9 34.01 395	 95.9 155.8430 1300	 99.9 1.5 12	 Modelleme Başarısız
DD ve YSA Test Doğruluğu Süre Adım Sayısı	Modelleme Başarısız	Modelleme Başarısız	97.7 92.5940 122	97.7 15.4 139	82.4 27.5 228
DPD ve YSA Test Doğruluğu Süre Adım Sayısı	Modelleme Başarısız	Modelleme Başarısız	98.9 38.3440 78	İleride Yapılan Çalışmalarda Modellenecek	85.13 16.39 488
UBSA Test Doğruluğu Süre Adım Sayısı	 98.86 1.04 100	 99.87 1.73 100	 99.98 4.54 50	 95.57 79.7 50	Modelleme Başarısız

KAYNAKLAR

1. Internet: Complex system - Wikipedia, the free encyclopedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Complex_systems#Definition. 2006.
2. Internet: Sim-Ser- production simulation service, E. K. Juuso, Modeling and Simulation with Intelligent Methods, https://www.sim-serv.com/ pdf /whitepapers. 2006.
3. Türkoğlu, İ., 2002, Durağan Olmayan İşaretler İçin Zaman-Frekans Entropilerine Dayalı Akıllı Örüntü Tanıma, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 112s.
4. Haykin, S., 1994, Neural networks, A Comprehensive Foundation. Macmillan College Publishing Company Inc., New York.
5. Hanbay, D., 2005, Akıllı Donanım ve Uygulamaları, Doktora Semineri, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 60s.
6. Bishop, C. M., 1996, Neural networks for pattern recognition. Clarendon Press, Oxford, 482p.
7. Liu, P.C., 1999, A fifteen minutes introduction of wavelet transform and applications, Proceedings, ASCE 1999 International Water Resources Engineering Conference, 7p.
8. Keeton, P. I. J. and Schlindwein, F. S., 1997, Application of wavelets in Doppler ultrasound, Sensor Review, MCB University Press, 17, 1, 38-45.
9. Aydın, N., Padayachee, S. and Markus, H. S., 1999, The use of the wavelet transform to describe embolic signals, Ultrasound Medicine & Biologoy, 25, 953-958.
10. Pittner, S. ve Kamarthi, S. V., 1999, Feature extraction from wavelet coefficients for pattern recognition tasks, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 21, 1, 83-88.
11. Hsu, H. P., Çeviri Ed. Silindir, V., 2001, Sinyaller ve Sistemler, Nobel yayınları, 466s.
12. Kuo, B., Çeviri Ed. Bir, A., 1993, Otomatik Kontrol Sistemleri, Literatür Yayıncılık, 933s.
13. Acar, C., 1995, Elektrik Devrelerinin Analizi, İ.T.Ü Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul.
14. Tokat, Y., 1996, Devre Analizi Dersleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
15. Sjoberg, J., Zhang, Q., Ljung, L., and et al., 1995, Nonlinear Black-Box Modeling in System Identification a Unified Overview, Automatica, 31, 12, 1691-1724.
16. Gökbulut, M., 1998, Fırçasız Doğru Akım Motorlarının Yapay Sinir Ağları İle Uyarlamalı Denetimi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
17. Brown, M., Harris, C., 1994, Neuro-Fuzzy Adaptive Modelling and Control. Prentice Hall Inc., London
18. Aström, K. J. and Wittenmark, B., 1995, Adaptive Control, Addison Wesley Publishing Company Inc., New York.
19. Khalil, H. K., 1992, Nonlinear Systems, Macmillan Publishing Company, New York.
20. Hunt, K. J., Sbarbaro, D., Zbikowski, R., and at al., 1992, Neural Networks for Control Systems – A Survey, Automatica, 28, 6, 1083-1112.

21. Narendra, K. S. and Parthasarathy, K., 1990, Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks, IEEE Trans. on Neural Networks, 1, 1, 4-27.
22. Fausett, L., 1994, Fundamentals of Neural Networks, Prentice-Hall, 461p.
23. Nguyen, D., Widrow, B., 1990, Neural Networks for Self-Learning Control Systems. IEEE Control Systems Magazine, 18-23.
24. Shannon, C. E., 1948, A mathematical theory of communication, Bell System Technology Journal, 27, 379-423.
25. Tonga, S., Bezerianosa, A., Paula, J., Zhub, Y. and Thakora, N., 2002, Nonextensive entropy measure of EEG following brain in jury from cardiac arrest, Elsevier Physica A, 305, 619- 628
26. Principe, J. C., Euliano, N. R. and Lefebvre, W. C., 2000, Neural and Adaptive Systems. John Wiley & Sons, New York, 656p.
27. Overwijk, M. H. F. and Reefman, D., 2000, Maximum-entropy deconvolution applied to electron energy-loss spectroscopy, Pergamon Micron, 31, 325-331.
28. Li, X., 2000, Edge directed statistical inference with applications to image processing, Doktora Tezi, Princeton Üniversitesi, 131p.
29. Karras, D. A., Karkanis, S. A. and Mertzios, B. G., 1998, Information systems based on neural network and wavelet methods with application to decision making, modeling and prediction tasks, Kybernetes, MCB Üniversitesi, 27, 3, 224-236.
30. Zhang, X.S. and Roy, R.J., 2001, Derived fuzzy knowledge model for estimating the depth of anesthesia, IEEE Trans. on Biomedical Engineering, 48, 3, 312-323.
31. Hoang, M., Aaron, R. ve Shiffman, C. A., 1997, Maximum entropy method for Magnetoencephalography, IEEE Trans. on Biomedical Engineering, 44, 1, 98-102.
32. Coifman, R. R. And Wickerhauser, M. V., 1992, Entropy-based algorithms for best basis selection, IEEE Trans. on Information Theory, 38, 2, 713-718.
33. Akay, M., 1994, Investigating the effects of vasodilator drugs on the turbulent sound caused by femoral artery stenosis using short-term fourier and wavelet transform methods, IEEE Trans. on Biomedical Engineering, 41, 921-928.
34. Strang, G. and Nguyen, T., 1996, Wavelets and Filter Banks, Wellesley-Cambridge Press, Cambridge, MA, 390s.
35. Kil, D. H. and Shin, F. B., 1996, Pattern Recognition and Prediction with Applications to Signal Characterization. AIP Press, USA, 417s.
36. Öztemel, E., 2003, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık. Istanbul, 232.
37. Kulkarni, A. D., 2001, Computer Vision and Fuzzy – Neural Systems. Prentice Hall PTR, USA, 509p.
38. Türkoğlu, İ., 1996, Yapay sinir ağları ile nesne tanıma, Yüksek Lisans tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

39. Avcı, E., 2005, Akıllı Radar İle Hedef Tanıma Sistemi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 145s.
40. Sugeno, M. and Kang, G. T., 1988, Structure identification of fuzzy model, Fuzzy Sets and Systems, 28, 15-33.
41. Takagi, T. and Sugeno, M., 1985, Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control, IEEE Trans. on Man. and Cybernetics, 15, 116-132.
42. Jang, J. S. R., Sun, C. T., 1995, Neuro-Fuzzy Modeling and Control, proceedings of the IEEE, 83, 3.
43. Elmas, Ç., 2003, Bulanık Mantık Denetleyiciler, Seçkin Yayınları, Ankara, 230s.
44. Jang, S.R., 1993, ANFIS: Adaptive network-based fuzzy inference systems, IEEE, Trans. on Man. and Cybernetics, 23, 665-685.
45. Gülten, A., Demir, Y. ve Poyraz M., 2002, Modelling and Simulation of Circuits Containing Inductance with Hyteresis Loop Using the Bond Graph Model, 2nd FAE International Symposium, Gemikonağı, LEFKE, TRNC, 437-440.
46. Herdem, S., Demir, Y. ve Köksal, M., 1996. Histerezis Çevrimli İndüktans İçeren Devrelerin Analizi, IX. Mühendislik Sempozyumu, Isparta, 101-106.
47. Cincotti, S., Marchhesi, M., Serri, A., 1998, A Neural Network Model of Parametric Non-linear Hysteretic Inductors, IEEE Trans. on Magn., 34, 5, 3040-3043.
48. Chua, L. O., Stromsmoe, K. A., 1970, Lumped circuit inductors exhibiting hysteresis loop, IEEE Trans. Circuit Theory, 17, 4, 564-574.
49. Türk, M., 2004. Çok Modlu Kaotik Davranışların Benzetimi, Doktara Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 83s
50. Kennedy, M. P., 1993, Three Steps to Chaos-Part II: Chua's Circuits Primer, IEEE Trans. on Circuits and Systems, 40, 10, 657-673.
51. Chadderton, N., 2004, Zetex Variable Capacitance Diodes, App. Notes 9.
52. Baylar, A., 2002, Savak Havalandırıcılarda Tip Seçiminin Oksijen Transferine Etkisinin Incelenmesi, Doktara Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 95s.
53. Internet: Atık su Arıtma Süreçleri, http://www.etcaritma.com/atksartma/sürec.htm, 2006.
54. Gontarski, C. A., Rodrigues, P. R., Mori, M., Prenem, L. F., 2000, Simulation of an industrial wastewater treatment plant using artificial neural networks, Comp. & Chemical Engineering, 24, 2-7, 1719-1723.
55. Chen, J. C., Chang, N. B., Shieh W. K., 2003, Assessing wastewater reclamation potential by neural network model, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 16, 2, 149-157.
56. Wan-liang, W., Min, R., 2002, Soft-sensing method for wastewater treatment based on BP neural network, Intelligent Control and Automation, Proc. of the 4th World Congress 3, 10-14, 2330 – 2332.

57. Vojinovic, Z., Kecman, V., 2003, Data assimilation using recurrent radial basis function neural network model", Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications, CIMSA '03, 61-66.
58. Huang, Y. C., Wang, X. Z., 1999, Application of fuzzy causal networks to wastewater treatment plants, Chemical Engineering Science, 54, 14, 2731-2738.
59. Lluís, A. Belanche, L. A., Valdés, J. J., Comas, J., Roda, I. R., Poch, M., 1999, Towards a model of input–output behaviour of wastewater treatment plants using soft computing techniques, Environmental Modelling and Software, 14, 5, 409-419.
60. Lardon, L., Punal, A., Steyer, J. P., 2004, On-line diagnosis and uncertainty management using evidence theory—experimental illustration to anaerobic digestion processes, Journal of Process Control, 14, 7, 747-763.
61. Tay, J. H., Zhang, X., 2000, A fast predicting neural fuzzy model for high-rate anaerobic wastewater treatment systems, Water Research, 34, 11, 2849-2860.
62. Genovesi, A., Harmand, J., Steyer, J. P., 1999, A fuzzy logic based diagnosis system for the on-line supervision of an anaerobic digestor pilot-plant, Biochemical Eng. Journal, 3, 3, 171-183.
63. Mendez-Acosta, H. O., Campos-Delgado, D. U., Femat, R., 2003, Intelligent control of an anaerobic digester: fuzzy-based gain scheduling for a geometrical approach, Intelligent Control, IEEE International Symposium, 298-303.
64. King, R.E., Stathaki, A., Koumboulis, F., Kouvakas, N., 2003, An intelligent automaton for the control of an active sludge process", Industrial Technology, IEEE International Conference on 2, 924-929.
65. Feng, Y., Long, T., Guo J., Zhao, H., Zhang, X., 2003, Robust fuzzy PID control for ASP wastewater treatment system, Control and Automation, ICCA. The Fourth International Conference, 68 – 68.
66. Serra, P., Sànchez, M., Lafuente, J., Cortés, U., Poch, M., 1997, ISCWAP: A knowledge-based system for supervising activated sludge processes, Computers & Chemical Engineering, 21, 2, 211-221.
67. Sanchez, E. N., Beteau, Jean-F., Vera, G., Cadet, C., 2003, Hierarchical fuzzy control of an activated sludge wastewater treatment plant, American Control Conf., 2003. 2, 1836-1841.
68. Voos, H., 2000, intelligent agents for supervision and control: a perspective, Intelligent Control, Proceedings of the 2000 IEEE International Symposium, 339-344.
69. Chen, W. C., Chang, N. B., Chen, J. C., 2003, Rough set-based hybrid fuzzy-neural controller design for industrial wastewater treatment, Water Research, 37, 1, 95-107.
70. Cadet, C., Béteau, J. F., Hernandez, S. C., 2004, Multicriteria control strategy for cost/quality compromise in Wastewater Treatment Plants, Control Engineering Practice, 12, 3, 335-347.

71. Choi , D. J., Park, H., 2001, A hybrid artificial neural network as a software sensor for optimal control of a wastewater treatment process, Water Research, 35, 16, 3959-3967.
72. Flores, J., Arcay, B., Arias, J., 2000, An intelligent system for distributed control of an anaerobic wastewater treatment process, Eng. App. of Artificial Intelligence, 13, 4, 485-494.
73. Manesis, S. A., Sapidis, D. J., King, R. E., 1998, Intelligent control of wastewater treatment plants, Artificial Intelligence in Engineering, 12, 3, 275-281.
74. Spall, J. C., Cristion, J. A., 1997, A neural network controller for systems with unmodeled dynamics with applications to wastewater treatment, Systems, Man and Cybernetics, Part B, 27, 3, 369-375.
75. Müler, A., Marsili-Libelli, S., Aivasidis, A., Lloyd, T., Kroner, S., Wandrey, C., 1997, Fuzzy control of disturbances in a wastewater treatment process, Water Research, 31, 12, 3157-3167.
76. Polit, M., Genovesi, A., Claudet, B., 2001, Fuzzy logic observers for a biological wastewater treatment process, Applied Numerical Mathematics, 39, 2, 173-180.
77. Onat, M., Dogruel, M., 2004, Fuzzy plus integral control of the effluent turbidity in direct filtration, IEEE Trans. on Control Systems Technology, 12, 1, 65-74.
78. Yordanova, S. T., 2004, Fuzzy two-level control for anaerobic wastewater treatment, Intelligent Systems,. Proc. 2004 2nd International IEEE Conference 1, 22-24, 348-352.
79. Sanchez, E. N., Beteau, J. F., Carlos-Hernandez, S., 2001, Hierarchical fuzzy control for a wastewater anaerobic treatment plant, Systems, IEEE International Conference on Man and Cybernetics 5, 3285-3290.
80. Sanchez, E. N., Beteau, J. F., Carlos-Hernandez, S., 2001, Fuzzy supervisory control for a wastewater anaerobic treatment plant, Intelligent Control,. (ISIC '01). 343-347.
81. Sanchez, E. N., Celikovsky, S., Gonzalez, J. M., Ramirez, E., 2001, Wastewater treatment plant control by combining fuzzy logic and nonlinear estimation, (ISIC '01), 236-239.
82. Zeng, G. M., Qin, X. S., He, L., Huang, G. H., Liu, H. L., Lin, H. P., 2003, A neural network predictive control system for paper mill wastewater treatment, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 16, 2, 121-129.
83. Grieu S., Traoré, A., Polit, M., Colprim, J., 2005, Prediction of parameters characterizing the state of a pollution removal biologic process, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 18, 5, 559-573.
84. Belanche, L., Valdés, J. J., Comas, J., Roda, I. R., Poch, M., 2000, Prediction of the bulking phenomenon in wastewater treatment plants, Artificial Intelligence in Engineering, 14, 4, 307-317.
85. Chouai, A., Cabassud, M., Lann, M. V., Gourdon, C., Casamatta, G., 2000, Use of neural networks for liquid–liquid extraction column modelling: an experimental study", Chemical Engineering and Processing, 39, 2, 171-180.

86. Hong, Y. S., Bhamidimarri, R., 2003, Evolutionary self-organising modelling of a municipal wastewater treatment plant, Water Research, 37, 6, 1199-1212.
87. Wen, C. H., Vassiliadis, C. A., 1998, Applying hybrid artificial intelligence techniques in wastewater treatment, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 11, 6, 685-705.
88. Oliveira-Esquerre, K. P., Seborg, D. E., Mori, M., Bruns, R. E., 2004, Application of steady-state and dynamic modeling for the prediction of the BOD of an aerated lagoon at a pulp and paper mill: Part II. Nonlinear approaches, Chemical Engineering Journal, 105, 1-2, 61-69.
89. Oliveira-Esquerre K. P., Seborg D. E., Mori M., Bruns R. E., 2004, Application of steady-state and dynamic modeling for the prediction of the BOD of an aerated lagoon at a pulp and paper mill: Part I. Linear approaches, Chemical Eng. Journal, 104, 1-3, 73-81.
90. Hamed, M. M., Khalafallah, M. G., Hassanien, E. A., 2004, Prediction of wastewater treatment plant performance using artificial neural Networks, Env. Modelling and Soft., 19, 10, 919-928.
91. Ran, W., Qiao J., Ye X., 2004, Soft-measuring approach to on-line predict BOD based on PCA time-delay neural network, WCICA 2004. 4, 3483-3487.
92. Grieu, S. Traore, A., Polit, M., 2001, Fault detection in a wastewater treatment plant, Emerging Technologies and Factory Automation, 2001, 399-402.
93. Fuente, M. J., Vega, P., 1995, A neural networks based approach for fault detection and diagnosis: application to a real process, Control Applications, 1995., 188-193.
94. Fuente M. J., Vega P., 1999, Neural networks applied to fault detection of a biotechnological process, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 12, 5, 569-584.
95. Cincotti, S., Marchhesi, M., Serri, A., 1998, A Neural Network Model of Parametric Non-linear Hysteretic Inductors, IEEE Trans. on Magn., 34,. 5, 3040-3043.
96. Jiles, D.C. and Atherton, D.L., 1986, Theory of ferromagnetic hysteresis, J. Mag., 61, 48-60.
97. Cincotti, S., Daneri, I., 1997, Neural Network Identification of a Non- Linear Circuit Model of Hysteresis, Elec. Lerts., 33, 1154-1156.
98. Jonathan, H. B., Deane, J. B. H., 1994, Modeling the Dynamics of Nonlinear Inductor Circuits, IEEE Trans. on Magnetics, 30, 5, 2795-2801.
99. Lu, W., Keyhani, A., Fardoun, A., 2003, Neural Network Based Modeling and Parameter Identification of Switched Reluctance Motors, IEEE Trans. on Energy Conv. 18, 2, 284-290.
100. Gülten A., Türk, M., 2003, Examination of chaotic behaviours using bond graph model, Journal of the Franklin Institute, 340, 6-7, 415-422.
101. Kennedy, M. P., 1993. Three Steps to Chaos-Part I: Evolution, IEEE Trans. on Circuits and Systems, 40, 10, 640-656.
102. Elwakil, A. S., and Kennedy, M. P., 2000, Improved Implementation of Chua's Chaotic Oscillator Using Current Feedback Op Amp, IEEE Trans. Circuits Syst., 47, 1, 76-79.

103. Chua L. O., Tamás, R., 2002, Cellular neural networks and visual computing, Cambridge University Press.
104. Cannas B, Cincotti S., Marchesi M., Pilo F., 2001. Learning of Chua's circuit attractors by locally recurrent neural networks, Chaos, Solitons, and Fractals, 12, 11, 2109-2115.
105. Özkurt N., Savacı F. A., 2006, The implementation of nonlinear dynamical systems with wavelet network AEU - International Journal of Electronics and Communications, 60, 5, 338-344.
106. Tao, Y., Yang L. B. and Chun-Mei Yang, 1998. Application of neural networks to unmasking chaotic secure communication, Physica D: Nonlinear Phenomena, 124, 1-3, 248-257.
107. Kılıç, R., 2006. Experimental study on impulsive synchronization between two modified Chua's circuits. Nonlinear Analysis: Real World Applications, 7,5, 1298-1303.
108. Hwang, C. C., Hsieh, J. Y., Lin, R. S., 1997. A linear continuous feedback control of Chua's circuit , Chaos, Solitons & Fractals, 8, 9, 1507-1515.
109. Hanbay, D., Türkoğlu, İ., ve Demir, Y., 2006, Complex Systems Modeling by Using ANFIS, TAINN 2006, 83-90.
110. Hanbay, D., Türkoğlu, İ., ve Demir, Y., 2006, Varikap Diyotun Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi İle Modellenmesi, ASYU-Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, 19-21.
111. Hanbay, D., Türkoğlu, İ., ve Demir, Y., 2006 , A Wavelet Neural Network for Intelligent Modeling, TAINN 2006, 175-182.
112. Türkoğlu, I., Arslan, A. ve Ilkay, E. 2003, A wavelet neural network for the detection of the heart valve diseases. Expert systems: The Inter. Journal of Knowledge Engineering and Neural Networks, 20, 1-7.
113. Türkoğlu, I., Arslan, A., & Ilkay, E. 2002, An expert system for diagnose of the heart valve diseases, Expert systems with applications, 23, 3, 229-236.
114. Hanbay, D., Türkoğlu, İ., ve Demir, Y., 2008, Prediction of Wastewater Treatment Plant Performance Based on Wavelet Packet Decomposition and Neural Networks, Expert systems with applications, 34, 4.
115. Türkoğlu, I., Arslan, A. ve İlkay, E., 2003, An Intelligent System for Diagnosis of Heart Valve Diseases with Wavelet Packet Neural Networks, Computer in Biology and Medicine, 33(4), 319-331.
116. Sengur, A., Türkoğlu, I., İnce, M.C., 2007, Wavelet Packet Neural Networks For Texture Classification, Expert systems with applications, 32, 2.
117. Avcı E., Türkoğlu I., Poyraz M., 2005, Intelligent Target Recognition Based on Wavelet Packet Neural Network , Elsevier Expert Systems with Applications , . 29, 1, 175-182.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı **:** Davut HANBAY

Doğum Tarihi **:**19 Kasım 1976

Öğrenim Durumu **:**

Derece	**Bölüm/ Üniversite**	**Yıl**
Lisans	**:**Elektronik- Bilgisayar Eğitimi Bölümü Fırat Üniversitesi	1995-1999
Yüksek lisans	**:**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Fırat Üniversitesi	1999-2003
Doktora	**:**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Fırat Üniversitesi	2003-

Yüksek Lisans Tezi ve Danışmanı:

İkinci Derece Sigma-Delta Modülatörün Pratik Olarak Gerçekleştirilmesi,

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Uçar

Görevler:

Görev Ünvanı	**Görev Yeri**	**Yıl**
Öğretmen	Nahit Menteşe End. Mes. Lisesi	1999-2000
Araştırma Görevlisi	Elektronik- Bilgisayar Eğitimi Bölümü Fırat Üniversitesi	2000-