

**YAPAY SİNİR AĞLARI DENETİMLİ SENKRON MOTOR İLE  
REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONU**

**Alper GÖRGÜN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2009  
ANKARA**

Alper GÖRGÜN tarafından hazırlanan YAPAY SİNİR AĞLARI DENETİMLİ SENKRON MOTOR İLE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR .....  
Tez Danışmanı, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile ELEKTRİK EĞİTİMİ Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İlhami ÇOLAK .....  
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR .....  
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Halil İbrahim BÜLBÜL .....  
Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 10 / 06 / 2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Alper GÖRGÜN

**YAPAY SİNİR AĞLARI DENETİMLİ SENKRON MOTOR İLE REAKTİF  
GÜÇ KOMPANZASYONU**  
(Yüksek Lisans Tezi)

**Alper GÖRGÜN**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**Haziran 2009**

**ÖZET**

Elektrik güç sistemlerinde şebekeden çekilen reaktif güç değerinin artması, kullanıcı açısından yüksek maliyetler, şebeke açısından ise gereksiz aşırı yüklenmeler olarak karşımıza çıkmaktadır. Kayıpları azaltarak enerji verimliliği sağlamanın yolu reaktif gücü kompanze etmektir. Bu çalışmada Yapay Sinir Ağları(YSA) denetimli senkron motor ile reaktif güç kompanzasyonu uygulaması gerçekleştirilmiştir. Eğitim ve öğrenme rutinlerinin gerçekleştirilebilmesi için görsel bir kullanıcı ara yüzü tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda, YSA yapısının gerçek zamanlı uygulamalara kolaylıkla adapte edilebildiği, eğitim amaçlı olarak kullanılabilen, farklı yapıların ve algoritmaların test edilebileceği esnek bir sistem elde edilmiştir.

**Bilim Kodu : 703.3.016**  
**Anahtar Kelimeler : Yapay sinir ağı modeli, senkron kompanzator, reaktif güç kompanzasyonu**  
**Sayfa Adedi : 104**  
**Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR**

**REACTIVE POWER COMPENSATION WITH ARTIFICIAL NEURAL  
NETWORKS CONTROLLED SYNCHRONOUS MOTOR**

**(M.Sc. Thesis)**

**Alper GÖRGÜN**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2009**

**ABSTRACT**

**Increment of the reactive power drawn from electrical power stations increases the cost of the energy produce and reduces the efficiency of energy systems. Therefore, the reactive energy should be compensated to decrease loses and to increase the efficiency. In this study, an artificial neural network model, which can be used to control of reactive power compensator (RPC) with a synchronous motor, has been developed and implemented. Thanks to the study presented, a flexible artificial neural network model has been obtained that can be easily adapted to the real time applications, can be used to educational purposes, and can also be used for testing different algorithms and structures.**

**Science Code : 703.3.016**  
**Key Words : Artificial neural network model, synchronous compensator, reactive power compensation.**  
**Page Number : 104**  
**Adviser : Assoc. Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, her aşamada beni yönlendiren danıőmanım Sayın Doç. Dr. Ramazan BAYINDIR'a teőekkürü bir borç bilirim. Tez hazırlama ve uygulama sürecinde desteğini üzerimden bir an olsun eksik etmeyen değerli Hocam Sayın Prof. Dr. İlhami ÇOLAK'a, çalıőmalarım boyunca bana yardımcı olan kıymetli arkadaşım Hüseyin KUNDAKOğLU'na, manevi desteklerini gördüğüm aileme ve beni sabırla destekleyen eőim Ayőe ESER GÖRGÜN'e tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xvi
1. GİRİŞ .....	1
2. SENKRON MAKİNALAR.....	7
2.1. Giriş .....	7
2.2. Senkron Makinaların Yapısı .....	7
2.2.1. Yuvarlak kutuplu senkron makinalar.....	9
2.2.2. Çıkık kutuplu senkron makinalar .....	9
2.2.3. Daimi mıknatıslı senkron motorlar .....	10
2.2.4. Relüktans motorlar.....	11
2.3. Senkron Motorların Çalışma Prensibi .....	11
2.4. Senkron Motorlarda Döner Alan Hızı .....	13
2.5. Senkron Motorlara Yolverme .....	14
2.6. Senkron Motorların V Eğrileri.....	14
2.7. Yük Değişiminin Senkron Motor Üzerindeki Etkisi.....	17
2.8. Uyartım Akımındaki Değişikliğin Senkron Motor Üzerindeki Etkileri.....	22

**Sayfa**

2.9. Reaktif Güç Kompanzasyonu .....	23
2.10.Senkron Motorun Reaktif Güç Kompanzatorü Olarak Kullanılması.....	25
3. YAPAY SİNİR AĞLARI.....	27
3.1. Biyolojik Sinir Sistemi .....	27
3.2. Statik ve Dinamik Yapay Sinir Modelleri .....	29
3.3. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	33
3.3.1. YSA'nın yapılarına göre sınıflandırılması.....	34
3.3.2. YSA'nın öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılmaları.....	35
3.4. Uygulamaya Göre Öğrenme Yaklaşımları .....	37
3.4.1. Off-line öğrenme .....	37
3.4.2. On-line öğrenme .....	38
3.5. Öğrenmede Kullanılan Diğer Yaklaşımlar .....	38
3.5.1. Desen tabanlı eğitim (Pattern based training) .....	38
3.5.2. Grup eğitim (Batch training) .....	39
3.5.3. Artırımlı öğrenme .....	39
3.5.4. Yapısal öğrenme (Constructive learning, growing networks) .....	39
3.5.5. Ardışıl öğrenme .....	40
3.6. Tek Katmanlı ve Çok Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları .....	40
3.6.1. Tek katmanlı YSA'lar .....	40
3.6.2. Çok katmanlı perceptron sinir ağları (ÇKP) .....	43
3.7. YSA Öğrenme Algoritmaları .....	44
3.7.1. Geriyayılım algoritması (BP) .....	44
3.7.2. Esnek yayılım algoritması (Resilient Propagation-RP) .....	47



**Sayfa**

3.7.3. Hızlı yayılım algoritması (Quick propagation-QP) .....	48
3.8. Performans Fonksiyonu Seçimi .....	50
3.9. Sayısal Hızlandırma Teknikleri.....	51
3.9.1. Momentum metodu.....	52
3.9.2. Topoloji uydurulması.....	52
3.9.3. Dinamik öğrenme .....	53
3.10.YSA Eğitimi İçin Verilerin Hazırlanması (Normalizasyon) .....	53
3.11.Yapay Sinir Ağlarının Karakteristik Özellikleri .....	54
3.12.Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları .....	57
3.13.YSA Uygulama Alanları.....	59
4. BENZETİM VE UYGULAMA ÇALIŞMALARI .....	62
4.1. Bilgisayar Yazılımı ve Ara Yüz.....	62
4.1.1. Ana sayfa.....	63
4.1.2. Sistem parametrelerini alma.....	64
4.1.3. YSA eğitim.....	65
4.1.4. YSA Ağırlık değerlerinin mikrodenetleyiciye gönderilmesi .....	70
4.2. Tasarlanan ve Gerçekleştirilen Donanımlar .....	71
4.2.1. Besleme modülü .....	72
4.2.2. Akım okuma modülü .....	73
4.2.3. Gerilim okuma modülü .....	75
4.2.4. Faz farkı, frekans ve güç katsayısı okuma modülü .....	76
4.2.5. Seri iletişim modülü.....	77
4.2.6. IGBT anahtarlama modülü.....	79

	<b>Sayfa</b>
4.2.7. Kontrol modülü .....	80
5. UYGULAMA ÇALIŞMALARI VE DENEYSEL SONUÇLAR .....	83
5.1. YSA Eğitim ve Performans Test İşlemleri .....	83
5.2. Ağırlık Değerlerinin Mikrodenetleyiciye Uygulanması.....	89
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	98
KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	103

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.1 Senkron motor etiket değerleri.....	95
Çizelge 5.2 Omik, endüktif ve kapasitif yük/kademe değerleri .....	95

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Silindirik ve çıkık kutuplu rotor yapısı.....	10
Şekil 2.2 Senkron motordaki kutuplar ve çalışma prensibi.....	12
Şekil 2.3 İki kutuplu bir senkron motorun çalışma prensibi .....	13
Şekil 2.4 Senkron motor V-eğrileri.....	15
Şekil 2.5 Senkron motorun uyarım akımına karşılık güç katsayısının değişimi. ....	17
Şekil 2.6 Silindirik kutuplu senkron motorun bir faz eşdeğer devresi.....	17
Şekil 2.7 Senkron motorun basitleştirilmiş bir faz eşdeğer devresi.....	18
Şekil 2.8 İdeal(a) ve boş çalışma(b) durumlarına göre gerilim fazör diyagramları ...	19
Şekil 2.9 Değişik yük durumlarına göre gerilim vektör diyagramları.....	19
Şekil 2.10 Senkron motorun kapasitif yük durumunda yük artışının motora etkisi ...	20
Şekil 2.11 Kapasitif yük durumunda uyarım akımındaki artışın etkisi .....	22
Şekil 2.12 Reaktif güç kompanzasyonu .....	24
Şekil 2.13 Enerji nakil hattına bağlı senkron motor ve yük.....	26
Şekil 2.14 Enerji nakil hattına bağlı alternatör ve yüke ait vektör diyagramları.....	26
Şekil 3.1 Sinir sisteminin blok diyagramı .....	27
Şekil 3.2 Biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri.....	28
Şekil 3.3 Temel statik yapay nöron .....	30
Şekil 3.4 YSA'da en çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonları.....	33
Şekil 3.5 İleri beslemeli YSA için blok diyagram.....	34
Şekil 3.6 Geri beslemeli YSA için blok diyagram .....	35
Şekil 3.7 Danışmanlı öğrenme yapısı .....	35

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.8 Danışmansız öğrenme yapısı .....	36
Şekil 3.9 Takviyeli öğrenme yapısı .....	37
Şekil 3.10 Tek katmanlı YSA.....	41
Şekil 3.11 Çok katmanlı perceptron .....	43
Şekil 3.12 Geri yayılım algoritmasının akış şeması .....	45
Şekil 4.1 Bilgisayar programı ana sayfa görüntüsü .....	63
Şekil 4.2 Sistem parametrelerini okuma ekranı görüntüsü .....	64
Şekil 4.3 Sistem parametrelerini okuma ekranı veri tabanı .....	65
Şekil 4.4 YSA eğitim ve performans test programı.....	66
Şekil 4.5 YSA öğrenme algoritması uyarı mesajı .....	67
Şekil 4.6 Hızlı geri yayılım ve esnek geri yayılım parametreleri.....	67
Şekil 4.7 Eğitim verilerinin datagrid nesnesinde gösterilmesi.....	68
Şekil 4.8 Giriş-çıkış parametreleri seçimi hata mesajı.....	69
Şekil 4.9 Eğitim işleminin tamamlandığını bildiren program mesajı.....	69
Şekil 4.10 Ağırlık değerlerini mikrodenetleyiciye gönderme programı.....	70
Şekil 4.11 Besleme modülü temel devre şeması .....	72
Şekil 4.12 Akım okuma modülü.....	73
Şekil 4.13 Akım okuma kartı ve akım probu sinyal şekilleri.....	74
Şekil 4.14 Gerilim okuma modülü.....	75
Şekil 4.15 Faz farkı, frekans ve güç katsayısı okuma modülü .....	76
Şekil 4.16 Seri iletişim modülü .....	78
Şekil 4.17 Kontrol modülü blok şeması.....	80
Şekil 4.18 Mikrodenetleyici çalışma algoritması .....	82

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.1 3 giriş 5 ara nöronlu YSA yapısı.....	83
Şekil 5.2 5000 iterasyonda hata değişim grafiği.....	84
Şekil 5.3 1000 iterasyonda hata değişim grafiği.....	84
Şekil 5.4 4 giriş 5 ara nöronlu YSA yapısı.....	85
Şekil 5.5 Esnek geri yayılım ara katman nöron sayısı 5 .....	85
Şekil 5.6 4 giriş 7 ara nöronlu YSA yapısı.....	86
Şekil 5.7 Esnek geri yayılım ara katman nöron sayısı 7 .....	86
Şekil 5.8 4 giriş 8 ara nöronlu YSA yapısı.....	87
Şekil 5.9 4 giriş 10 ara nöronlu YSA yapısı.....	87
Şekil 5.10 Artırımlı geri yayılım 8 ve 10 nöron karşılaştırma .....	88
Şekil 5.11 4 giriş 10 ara nöronlu YSA performans karşılaştırılması .....	88
Şekil 5.12 Senkron motor asenkron çalışma akım gerilim grafiği .....	89
Şekil 5.13 Senkron çalışmaya geçiş anı .....	90
Şekil 5.14 Senkron motor yüksüz çalışma durumu .....	90
Şekil 5.15 Sıfır geçiş denetleyicisinden elde edilen sinyaller .....	91
Şekil 5.16 3. kademe endüktif ve 3. kademe omik yüklü senkron motor.....	92
Şekil 5.17 Yüklü durumda akım-gerilim dalga şekilleri.....	92
Şekil 5.18 4. kademe endüktif ve 4. kademe omik yüklerle çalışma.....	93
Şekil 5.19 Sıfır geçiş denetleyicisinden elde edilen sinyaller .....	93
Şekil 5.20 Omik, endüktif ve kapasitif yüklü senkron motor .....	94
Şekil 5.21 Genişletilmiş dalga şekli.....	94

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1 Besleme modülü.....	73
Resim 4.2 Akım, gerilim ve faz farkı okuma modülleri .....	77
Resim 4.3 (a) IGBT besleme devresi (b) IGBT sürücü devresi (c) IGBT devresi.....	79
Resim 4.4 Kontrol modülü .....	81
Resim 5.1 Deney seti genel görünüm .....	95
Resim 5.2 Bilgisayar yazılımı ve donanımların genel görünümü .....	96
Resim 5.3 Senkron motor, yükler ve deney setleri.....	96
Resim 5.4 Senkron motor genel görünümü.....	97

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$P_V$	Verilen güç
$P_A$	Alınan güç
$M_d$	Döndürme momenti
$M_f$	Faz başına moment
$U_ş$	Şebeke gerilimi
$I_y$	Yük akımı
$\cos\phi$	Akım-Gerilim Arası Açısı
$E$	Motorda indüklenen zıt emk.
$E_m$	Mıknatıslanma gerilimi
$E_g$	Yük ve kayıpları karşılayan gerilim
$S_i$	Ağın net değeri

### Kısaltmalar

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>YSA</b>	Yapay sinir ağları
<b>YS</b>	Yapay sinir
<b>ÇKP</b>	Çok katmanlı perceptron
<b>RGK</b>	Reaktif güç kompanzatörü
<b>AGY</b>	Artırımlı geri yayılım
<b>GGY</b>	Grup geri yayılım
<b>EGY</b>	Esnek geri yayılım
<b>HGY</b>	Hızlı geri yayılım
<b>DA</b>	Doğru akım



## 1. GİRİŞ

Güç sistemlerinde aktif güç akışına paralel olarak sistem karakteristikleri nedeniyle reaktif güç akışı da meydana gelmektedir. Her ne kadar reaktif güç, aktif yani iş yapan güce çevrilemezse de reaktif güçten tamamen de vazgeçilemez. Elektrodinamik prensibine göre çalışan generatör, transformatör, bobin ve motor gibi bütün elektrik makinalarının normal çalışmaları için gerekli olan manyetik alan, reaktif akım tarafından meydana getirilir. Zahiri güç olarak da adlandırılan ve kullanılmamasına rağmen sistemin kurulum ve işletme safhalarında ilave masraflar çıkaran reaktif gücün gerek duyulan yerlerde belirli teknikler kullanılarak karşılanması “reaktif güç kompanzasyonu” (RGK) olarak adlandırılmaktadır [Bayram, 2000; Mekhamer ve ark., 2002].

10/11/2004 tarihli ve 25639 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliğinin 11. maddesinin birinci fıkrası ve bu fıkra üzerinde yapılan 09/01/2007 tarihli ve 26398 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan düzenlemeye göre 50 kVA’ya kadar kurulu gücü bulunan herhangi bir endüstriyel müşteri tarafından her bir uzlaşma -faturalama- periyodunda (çoğu zaman bir aylık) sistemden çekilen endüktif reaktif enerjinin, aktif enerjiye oranı %20’yi, sisteme verilen kapasitif reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı ise %15’i geçmemelidir. Verilen limit oranlar kullanıldığına endüktif tarafta güç katsayısının en az 0,98, kapasitif tarafta da en az 0,989 olması gerektiği görülmektedir. 50 kVA ve üzeri güç değerlerinde ise reaktif sınırı %30’a, kapasitif sınırı ise %20’ye yükselmektedir.

Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği, enerji sarfiyatı yüksek olan işletmeler için olası aşımelerde ciddi cezai sorumluluklar içerdiği için, reaktif güç kompanzasyonu kullanımı yüksek maliyetli donanımlar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Bu amaçla son yıllarda yapılan çalışmalar ile kayıplara sebep olan reaktif gücün ortadan kaldırılması için çeşitli teknikler uygulanmaktadır. Bu nedenle reaktif gücün ihtiyaç duyulan noktaya en yakın yerde üretilmesi sisteminin verimini arttırmak açısından büyük faydalar sağlamaktadır. Reaktif güç kompanzasyonu için

çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde yüklerin ihtiyacı olan reaktif güçler, statik olarak çeşitli anahtarlama elemanları vasıtasıyla kapasitör ve reaktörlerle, dinamik olarak senkron motorlarla karşılanmaktadır [Bal ve Çolak, 1995;Çolak ve ark., 2007].

Kondansatör grupları ile gerçekleştirilen kompanzasyon tekniğinde, çeşitli güçlerde kondansatör grupları, sistemin güç katsayısına göre kademeli olarak devreye alınarak kompanzasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Ancak yük rejimi değişken olan işletmelerde, kondansatör gruplarının devreye alınıp çıkartılmaları sırasında kullanılan kontaktörlerin ve reaktif güç kontrol rölelerinin tepki hızlarının yavaş olması sebebiyle kompanzasyon ünitesi görevini tam anlamıyla gerçekleştirememektedir. Bu zaman gecikmesi nedeni ile yüklerin eksik ya da aşırı kompanze edilmesi, aboneleri kullanmadıkları bir enerjinin bedelini ödemek zorunda bırakmaktadır [Miller, 1982; El-Sadek ve ark., 1988].

Tepki hızında meydana gelen bu yavaşlama, tristör kontrollü kondansatör grupları kullanımı ile önemli ölçüde aşılmıştır. Benzer olarak ayarlanabilir reaktif güç çekebilmek için şebekeye paralel bağlı tristör kontrollü reaktör uygulamaları da gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem endüstride ark ocakları gibi yükü dengesiz ve hızlı değişen uygulamalarda kullanılmaktadır. Tristör anahtarlama reaktörler yalnızca sıfır ve tam güçte çalışabilirlerken, tristör kontrollü kondansatörler herhangi bir güç aralığında çalışabilmektedirler. Ayrıca akım veya gerilim kaynaklı topolojilerde statik senkron kompanzasyonlar gerçekleştirilmektedir.

Senkron motor ile yapılan kompanzasyon yönteminde ise, uyartım akımı değiştirilerek şebekeden omik, endüktif veya kapasitif karakterde güç çekilmesi sağlanmaktadır. Senkron motor reaktif güç kompanzasyon sistemlerinde yüksüz olarak çalışırken şebekeden çekeceği aktif güç miktarı sadece motorun mekanik kayıplarını karşılayacak kadar küçüktür [Al-Hamrani ve ark., 2002]. Senkron motor miline bağlanacak sabit devir ihtiyacı olan herhangi bir yük ile hem mekanik enerji üretecek, hem de işletmenin ilave bir masrafa ihtiyacı olmadan kompanzasyonunu sağlayacaktır.

Genel olarak güç kompanzasyonun da yaklaşımlar incelendiğinde; mekanik, harmonik, zaman gecikmesi, güvenilirlik, doğruluk, basitlik, enerji tüketimi ve kayıplar ön plana çıkmaktadır. İyi bir kompanzasyon sisteminde istenilmeyen durumların giderilmesi, yüksek doğruluk, güvenilir sonuçlar, basit işlemler, kısa hesaplama süreleri ve matematiksel modele ihtiyaç duymaması her zaman beklenen özelliklerdir [Bayındır ve ark., 2007; Sağıroğlu ve ark., 2006]. Bu beklentiler ışığında ideal bir kompanzasyon sisteminden beklenen özelliklerin sağlanabilmesi için senkron motorun kontrolünde Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. YSA'lar bilinen en iyi yapay zekâ yöntemlerinden birisidir. Bu nedenle son zamanlarda reaktif güç kompanzasyonunda ve motor kontrol uygulamalarında YSA'ların sıkça tercih edildiği rapor edilmektedir [Bayındır ve ark., 2007; Sağıroğlu ve ark., 2006]. Literatürde senkron motor üzerine gerçekleştirilen çalışmaları yapı yönünden, daimi mıknatıslı senkron motor ve uyarım sargılı senkron motor çalışmaları olmak üzere iki temel sınıfa ayırmak mümkündür. Daimi mıknatıslı senkron motorlarda, uyarım doğal bir mıknatısla sağlandığı için çok büyük güçlerde tasarımı mümkün olmamaktadır. Daimi mıknatıslı senkron motorlarda mıknatıs tarafından sağlanan uyarım sabit olduğundan kompanzasyon uygulamalarında tercih edilmemektedir. Gang ve arkadaşları daimi mıknatıslı senkron motor kontrolünde çeşitli öğrenme algoritmalarının performansları üzerine çalışmışlardır [Gang ve ark., 2003]. Ünal ve arkadaşları, Guo ve arkadaşları daimi mıknatıslı senkron motorun YSA ile sensörsüz kontrolü üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir [Ünal ve Özdemir, 2007; Guo ve ark.,2003]. Uyarım sargılı senkron motorlar ise 1700 MW gibi çok büyük güçlerde tasarlanabilmektedir. Güç ve yapısal sınırlılıklarının olmaması sebebi ile uyarım sargılı senkron motorlar, senkron kompanzatör olarak kullanılmaktadırlar. Sağıroğlu ve arkadaşları, Bayındır ve arkadaşları farklı öğrenme algoritmaları ve performansları üzerinde çalışarak, YSA kontrollü senkron motor ile etkin kompanzasyon uygulamaları geliştirmişlerdir [Sağıroğlu ve ark., 2006; Bayındır ve ark., 2007; Bayındır ve ark.,2009].

YSA'lar nümerik bilgiler ile çalışabildiği için ölçüm hassasiyetinin mümkün olduğunca yüksek tutulması gerekmektedir. YSA kontrollü senkron motor ile gerçekleştirilen dinamik kompanzasyon uygulamalarında görülen en büyük eksiklik

uygulama ve eğitim aşamalarının genellikle sisteme adapte edilmemiş harici ölçme ve değerlendirme aygıtları ile yapılmasıdır. Örneğin akım, gerilim ve güç katsayısı değişkenlerinin laboratuvar tipi ölçü aletleri ile sistemden bağımsız ve kullanıcı hatalarına açık bir şekilde ölçümü ile oluşturulan YSA eğitim veri tabanının doğru ağırlık değerlerini üretmesi düşünülemez. Bu durum sistemin ağa doğru bir şekilde aktarımını da engelleyecektir. Literatürde gerçekleştirilen çalışmaların genelinde tek bir görev için özelleşmiş ve ekseriyetle simülasyon düzeyinde kalmış çalışmalar ön planda bulunmaktadır. Bu bağlamda elektrik makinalarının çok büyük bir çoğunluğuna kolaylıkla adapte edilebilir, yüksek hassasiyette, basit ve kullanışlı bir YSA eğitim ve uygulama modülü geliştirilmiştir.

Bu çalışmada reaktif güç kompanzasyonu uygulaması, bilgisayar ve mikrodenetleyici tabanlı yapay sinir ağları denetimli senkron motor ile gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağlarının eğitim ve performans test işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için Visual Studio.Net ortamında bir bilgisayar programı tasarlanmıştır. YSA eğitiminde, literatürde YSA denetimli senkron motor ile RGK işleminde etkin sonuçlar verdiği belirtilen Artırımlı Geri Yayılım (AGY), Grup Geri Yayılım (GGY), Esnek Geri Yayılım (EGY) ve Hızlı Geri Yayılım (HGY) algoritmaları kullanılmıştır. Başarı oranı yüksek ve hızlı bir eğitim süreci için momentum sayısı, öğrenme katsayısı değerlerinin seçimi önemlidir. Zira geri yayılım öğrenme işlemi bu iki bileşenden oldukça fazla etkilenmektedir. Bu katsayılar için uygun değerlerin seçilmesi deneysel olarak belirlense de bu değerler, uygulamalara ve problemlere bağlıdır. Öğrenme katsayısı için tipik değerler, 0.01 ile 0.9 arasında değişir. Literatürde karmaşık ve zor çalışmalar için daha küçük değerlerin seçilmesi önerilmektedir [Arifoğlu, 2001].

Gerçekleştirilen bu program ile kullanıcı sisteme bağlı bir bilgisayar üzerinden ağırlık eğitiminde kullanacağı verileri, yapay sinir ağının öğrenme yöntem, parametre ve kriterlerini, performans testini, elde edilen tüm verilerin bir veri tabanında depolanmasını ve nihayetinde hesaplanan optimum ağırlık değerlerinin mikrodenetleyiciye uygulanarak senkron motorun çalıştırılmasını sağlayabilmektedir. Bilgisayar programı ve mikrodenetleyici arasındaki iki yönlü haberleşme, hazırlanan seri iletişim modülü ile 9600 baud/rate hızında

sağlanmaktadır. Senkron motora ait akım gerilim, frekans, faz farkı, güç katsayısı vb. on-line çalışma parametrelerinin hızlı ve yüksek duyarlılıkta ölçümü için akım, gerilim ve faz farkı ölçüm kartları tasarlanmıştır. Sisteme ait akım değeri, bir akım trafosu yardımı ile ölçülerek etkin değeri, mikrodenetleyicinin analog dijital dönüşüm uçlarına uygulanacak doğru akım değerine %0.1 hata oranı ile dönüştürebilen AD536 entegresi ile aktarılmıştır. Akımda uygulanan yöntem benzer olarak bir gerilim trafosu ile alçaltılan hat gerilimi AD536 entegresi ile mikrodenetleyicinin analog dijital dönüşüm ucuna aktarılmıştır. Elde edilen akım ve gerilim bilgileri opamp'lı bir karşılaştırma devresinde karşılaştırılarak sinyallerin sıfır geçiş noktaları tespit edilmiştir. Akım sensörü ve gerilim trafosundaki alternatif sinyallerden herhangi birinin sıfır noktasından yükselen kenarda geçmesi durumunda üretilen lojik 1 sinyali ile mikrodenetleyiciye kesme sinyali uygulanmakta ve dahili sayıcısının çalıştırılması sağlanmaktadır. Diğer uçtan gelen kesme sinyali ile beraber iki kesme arasındaki zamanın hesaplanması prensibi ile frekans, faz farkı, faz açısı ve güç katsayısı hesaplanmaktadır. Tercih edilen eğitim yöntemi ve parametrelere göre hesaplanıp, mikrodenetleyiciye gönderilen ağırlık değerleri, alınan anlık ölçüm sonuçları ile birlikte yine mikrodenetleyici içerisinde ağa sunulmakta ve hesaplanan çıkış değerine göre IGBT anahtarlama oranı belirlenmektedir. Deneysel neticeler, PIC 18F452 mikrodenetleyici ile gerçekleştirilen YSA kontrollü senkron motor ile dinamik kompanzasyon uygulamasının; hassas, basit, kullanışlı, güvenli ve farklı kontrol uyarlamalarına kolaylıkla adapte edilebilir olduğunu göstermiştir.

Tez 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde gerçekleştirilen çalışmanın ana hatlarını ortaya koyan bir giriş yapılmıştır.

İkinci bölümde senkron motorların çalışma prensipleri ve kompanzasyon uygulamalarında kullanımları incelenmiştir. Senkron motorlara yol verme yöntemleri, yük değişiminin senkron motor karakteristiği üzerindeki etkisi, senkron motor yapısı ve bu yapının dinamik kompanzator olarak kullanımı ile uyartım akımındaki değişiminin senkron motorun değişik çalışma durumları üzerinde ki etkisi matematiksel ve vektörel olarak bu bölümde irdelenmiştir. Ayrıca senkron motor ile değişken yüklü şebekenin etkileşimi de bu bölümde incelenmiştir.

Üçüncü bölümde yapay sinir ağları ve yapıları irdelenmiştir. Yapay sinir modelleri, yapay sinir ağlarının sınıflandırılması, öğrenme yaklaşımları, öğrenme algoritmaları, performans fonksiyonları ve YSA eğitim işlemleri bu bölümde anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde geliştirilen yazılım ve donanımlar, bu donanımların tasarım aşamaları, uygulanan yöntem ve teknikler açıklanmıştır.

Beşinci bölümde tasarlanan YSA kontrolörün senkron motora uygulanması ve uyarım akımının kontrolü ile şebekenin kompanzasyonu'nun gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Altıncı bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, sonradan yapılacak çalışmalara sağlayabileceği katkılar göz önüne konmuştur.

## **2. SENKRON MAKİNALAR**

### **2.1. Giriş**

Bu bölümde, senkron motorların yapısı, çalışma prensibi, yolverme yöntemleri, yük ve uyartım akımı değişiminin etkileri ile senkron motorun reaktif güç kompanzasyonunda kullanımı anlatılmıştır. Ayrıca uyartım akımı değişimi ile senkron motorun omik, endüktif ve kapasitif olarak çalıştırılmasının nasıl sağlandığı ve senkron makinaların değişik yük durumlarına göre fazör diyagramlarının çıkarılması anlatılmıştır.

### **2.2. Senkron Makinaların Yapısı**

Senkron makineler, statorunda asenkron motor benzeri 3 faz sargıları ve rotorunda DA gerilim uygulanan uyartım sargıları bulunan elektrik makinesidir. Senkron makine mili, harici bir hareket kaynağı tarafından döndürülerek, rotor uyartım sargılarına bir DA gerilim uygulandığında generatör olarak çalışır. Eğer rotor sargıları bir DA kaynaktan beslenip, stator sargılarına 3 faz AA gerilim uygulanırsa senkron motor olarak çalışmaya başlar. Stator ve rotor sargılarına ayrı gerilimler uygulandığı için senkron makinalar çift uyartımlı makinalar sınıfına girerler. Senkron motorlarda birim zamanda stator manyetik alanının dönüş hızı ile rotor dönüş hızı birbirine eşittir. Ancak senkron motor olarak çalışma durumunda rotor ilk hareketinin özel yöntemlerle verilmesi gerekmektedir.

Senkron makine mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmek için kullanılıyorsa senkron alternatör, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılıyorsa senkron motor olarak adlandırılır.

Senkron makinalar endüvi yapılarına göre iki şekilde tasarlanmaktadır;

- Duran endüvili, dönen endüktörlü
- Duran endüktörlü, dönen endüvili

Duran endüvili senkron makinalarda endüktör kısmı hareketli olacağından uyartım sargıları için gerekli olacak birkaç yüz voltluk DA fırça ve bilezikler yardımı ile sargılara kolaylıkla aktarılabilir. Bu aktarma esnasında gerilim değerinin düşük olması, herhangi bir yalıtım problemi ortaya çıkarmamaktadır. Ancak duran endüktörlü senkron makinaların endüvi kısmı hareketli olduğu için yüksek gerilim değerlerinde, AA sargılarını taşıyan endüviden dış terminallere bağlantının sağlanması için kullanılacak fırça, bilezik ve yalıtım tertibatı ekonomik açıdan ciddi külfetler doğuracaktır. Bu nedenle senkron makinalar genellikle sabit endüvili döner endüktörlü olarak imal edilirler [Çolak, 2003].

Senkron makinalar 5 kW'a kadar sabit mıknatıslı yapılabilir. Bu güç değerinin üzerindeki senkron makinaların ise genellikle kutupları sargılıdır. Senkron makinaların güçleri ile verimleri doğru orantılıdır. Örneğin; 1 kW'lık bir senkron generatör %50'lik bir verime sahipken, aynı tipte fakat 10 MW gücündeki bir senkron makine %90 verime sahip olabilmektedir. Büyük güçlü olarak üretilen senkron makinaların bir diğer üstünlüğü ise, kg başına düşen güç miktarlarının yüksek olmasıdır. Örneğin; 1 kW'lık bir senkron makine 20 kg gelebilmektedir. Kilogram başına düşen güç miktarı  $1000/20=50$  W/kg'dır. 10 MW'lık bir senkron makine ise 20000 kg ağırlığa ulaşabilmektedir. Buna göre kilogram başına düşen güç  $10000000/20000=500$  W/kg'dır. Görüldüğü gibi senkron makinenin güç değeri 1 kW'dan 10 MW'a çıktığında kg başına düşen güç miktarı 50 W/kg'dan 500 W/kg'a çıkmıştır. Senkron makinaların güçleri arttıkça, m<sup>2</sup> başına düşen kayıp güç değerleri de artmaktadır.

50 MW'a kadar güçlere sahip senkron makinalar hava sirkülasyonu ile soğutulabilirken, 50-300 MW arasındaki güçlere sahip senkron makinalar hidrojen soğutmalı olarak tasarlanmaktadır. 300 MW'ın üzerindeki güçlere sahip senkron makinalar ise sulu soğutma sistemleri ile kullanılmaktadır. Senkron makinaların güçleri 1700 MW kadar olabilmektedir. Senkron makine genel karakteristiği açısından dikkat edilmesi gereken önemli bir diğer nokta ise, düşük hızlarda çalışan bir senkron makinenin, aynı güçte fakat yüksek hızda çalışan bir senkron makinaya göre daha iyi bir soğutma sistemine sahip olması gerektiğidir [Çolak, 2003].



Senkron makinalar, rotor yapısı ve uyartım şekline göre dört grupta incelenebilir.

1. Yuvarlak kutuplu senkron makinalar
2. Çıkık kutuplu senkron makinalar
3. Daimi mıknatıslı senkron motorlar
4. Relüktans motorları

### **2.2.1. Yuvarlak kutuplu senkron makinalar**

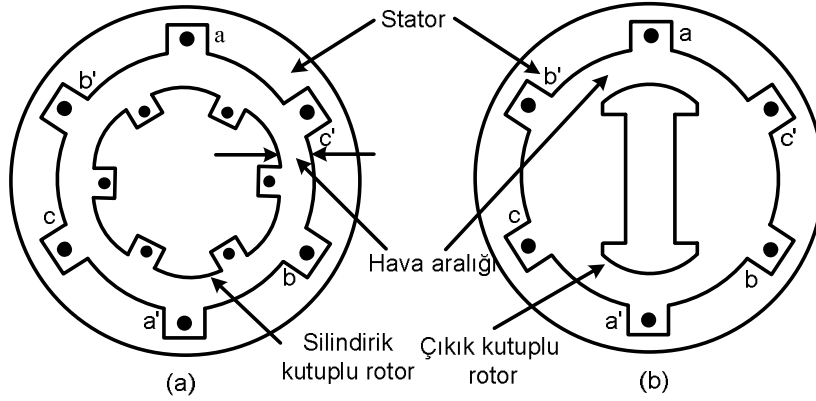
Bu makinalarda hem rotor çevresi ve hem de stator iç çevresi, sabit yarıçaplı silindirik yüzeylerden oluşurlar. Başka bir deyimle, yuvarlak kutuplu senkron makinaların statoru ile rotoru arasında radyal doğrultuda kalan hava aralığının boyu sabittir. Genellikle kutup sayısı küçük, senkron devir sayıları yüksek olarak yapıldığından buna uygun olarak da rotorlarının çapı küçük ve boyu uzun olarak imal edilirler. Genellikle 2 veya 4 kutupludurlar. Stator ve rotor arasındaki hava aralığı sabittir.

Yuvarlak kutuplu senkron makinalarda, sabit kısım stator ve dönen kısım rotordan oluşur. Stator, endüvi görevinde olup simetrik üç fazlı sargıları taşır. Rotor ise uyartım görevinde olup doğru akımla beslenen uyartım sargısını taşır. Rotorun dış çevresi boyunca kısa devre edilmiş çubuklardan oluşan sönüm (amortisman) sargıları, makinanın asenkron olarak yol alabilmesini ve sürekli çalışmada senkronizmden kopmayı engelleyen asenkron momentler sağlar. Sürekli çalışmada ise akı değişimine maruz kalmadığından akım taşımazlar [Bayındır, 1996].

### **2.2.2. Çıkık kutuplu senkron makinalar**

Çıkık kutuplu senkron makinalar, radyal doğrultuda stator ile rotor arasında kalan hava aralığı her noktada sabit olmayan senkron makinalardır. Genellikle büyük kutup sayısında ve küçük senkron hızlar için imal edilirler. Buna uygun olarak da rotor çapı büyük ve boyu kısa olarak imal edilirler. Çıkık kutuplu senkron makinalarda da yuvarlak kutuplu senkron makinalar gibi, stator ve rotor aynı görevde bulunurlar.

Rotorun magnetik devresinin yapısı yuvarlak kutupludan farklı olarak, rotorun dönüş açısı ile değişen bir relüktans ve akı ortaya çıkarır. Böylece makinanın güç ve moment ifadelerine relüktansa bağlı ifadeler eklenir [Sarioğlu, 1994].



Şekil 2.1 Silindirik ve çıkık kutuplu rotor yapısı

### 2.2.3. Daimi mıknatıslı senkron motorlar

Makina yapımcıları tarafından bu motora "bir stator içinde iki motor" ismi verilmiştir. Stator yapısı yine döner alan makinalarının aynıdır. Levha paketinden oluşan statorda döner alan sargısı bulunur. Bu motorları diğerlerinden ayıran tüm özellikler rotorundan gelmektedir [Aldemir, 1977].

Bu makina çıkık kutuplu senkron makinanın sabit uyarımlı şekli olarak düşünülür ve sürekli durum incelemeleri bu kabul altında yapılır. Denklemlerde endüklenen gerilim değeri sabit alınır [Rashid, 1988]. Rotorda, motorun kendiliğinden yol alabilmesini sağlayacak yol verme kafesi bulunur. Rotorda ayrıca daimi mıknatıslar ve kaçak akı olukları yer almıştır. Daimi mıknatıslar uyarım görevini yaparak, makinanın senkron hızda çalışmasını sağlarlar. Kaçak akı olukları ise stator alanlarına yayılma yolu olarak görev yaparlar ve böylece mıknatıslan bu alanların mıknatıslanmayı giderici etkisinden korurlar. Kaçak akı oluklarının makinanın davranışı üzerindeki etkisi büyüktür. Mil, ya magnetik olmayan malzemedir ya da rotor ile mil arasında magnetik geçirgenliği kötü olan bir tabaka yerleştirilir.

#### 2.2.4. Relüktans motorlar

Bu motorlar, son yıllarda üzerinde çok araştırma yapılan bir senkron motor türüdür. Yapı olarak ve sürekli durum incelemesi için normal bir çıkık kutuplu senkron makinanın uyartım sargılarının çıkarılmış halidir. Endüvi sargıları, senkron hızda dönen hava aralığı akısını üretir. Bu alan, rotorda, minimum relüktans değerini sağlama eğilimiyle yükselen bir magnetik alan ve relüktans momenti endükler [Rashid, 1988].

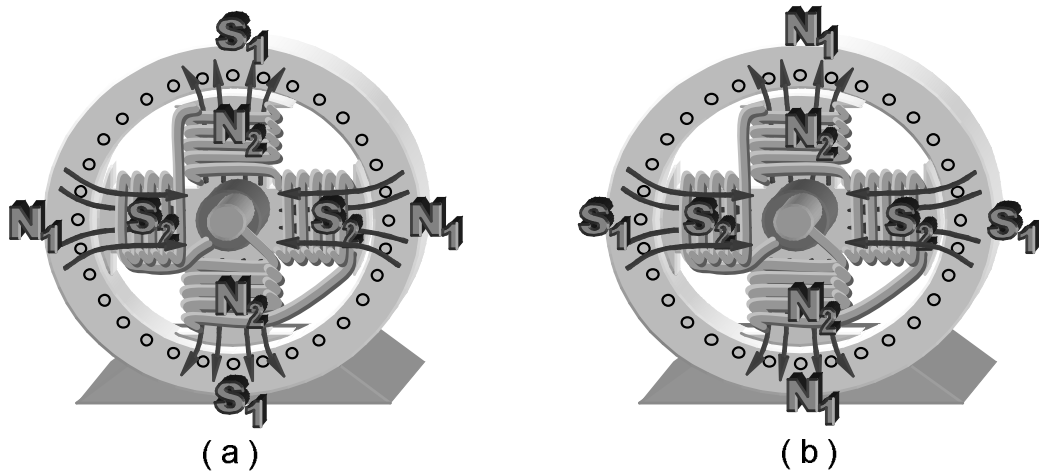
Rotor kısmı sadece kısa devre çubukları ve demir kısımdan oluştuğundan maliyet ve işletme yönüyle üstünlük kazanmaktadır. Güç faktörü ve verim yönüyle kötü olup, gürültülü çalışan motorlardır [Bayındır, 1996].

### 2.3. Senkron Motorların Çalışma Prensibi

Senkron makina generatör olarak çalıştırılabildiği gibi, eğer kutuplar bir DA kaynaktan beslenip, endüvi sargılarına da alternatif bir gerilim uygulanırsa bu kez senkron motor olarak çalışır. Senkron motorları asenkron motorlardan ayıran en temel özelliği rotor manyetik alanı ile stator manyetik alanının birbirine kilitlenerek aynı hızda dönmeleridir. Yani stator devir sayısı ile rotor devir sayısı birbirine eşittir. Senkron motorların asenkron motorlar gibi kendi kendilerine kalkınamamalarının temel nedeni şu şekilde açıklanabilir:

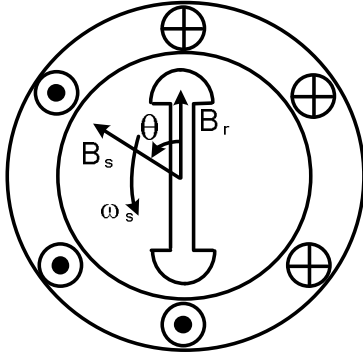
Senkron motorun stator sargılarına alternatif akım uygulanınca statorda frekansa bağlı olarak bir hareketli döner alan oluşur ve döner kutuplanma meydana gelir. Rotorda bulunan kutup sargıları da enerjilenince, rotor da kutuplandırıldığı için, rotora saat ibresi yönünde dönme torku  $T$  uygulanır. Ancak rotorun ataletinden dolayı, rotor hızı ani olarak statorun döner alanının hızına ulaşamaz. Stator döner alanı yarı saykılı tamamladığında, stator kutuplarının polaritesi değişeceğinden, rotora uygulanan  $T$  torkun yönü saat ibresinin ters yönünde iken, stator döner alanı halen saat ibresi yönünde dönmeye devam eder. Bir saykılık süre içerisinde rotora uygulanan ortalama tork miktarı sıfır olur. Bundan dolayı, rotor ilk yarı saykılıda saat

ibresi yönünde, ikinci yarı saykılıda ise saat ibresinin ters yönünde dönmeye çalışır. Rotor hareket edemediğinden, sadece titreşim yapar. Şekil 2.2 (a)'da bu durum çizilmiştir [Sesveren, 2008].



Şekil 2.2 Senkron motordaki kutuplar ve çalışma prensibi

Senkron motoru çalıştırmak için rotoru senkron devir yada yakın değerinde döndürmek gerekir . Bu devir sayısı ile dönmekte olan motorun sabit kutupları döner alan kutupları ile kolayca kilitlenebilir. Kilitlenme sırasında zıt kutuplar birbirini çekerek döner alan tarafından döner alan yönünde ve döner alan hızı ile döndürülür. Bu olaya rotorun döner alan tarafından sürüklenmesi de denir. Şekil 2.2(b)'de bu durum çizilmiştir. Rotorun başlangıç anında dönmesini sağlaması için yardımcı yol verme sistemleri geliştirilmiştir. Motor yol aldıktan sonra sincap kafesi oluşturan rotor çubuklarında bir emk endüklenmez çünkü rotorda senkron hızda dönmekte rotor çubukları döner alan tarafından kesilmemektedir. Rotorun devir sayısında değişiklik olmadıkça rotor sargılarından akım geçmez. İki kutuplu bir senkron motorun çalışmasının vektörel olarak gösterimi Şekil 2.3'de görülmektedir [Sesveren, 2008; Çolak, 2003]. Kutuplara bir DA uyartım gerilimi uygulandığında, sabit bir  $B_r$  rotor akı yoğunluğu oluşturulur. Diğer taraftan, statora uygulanacak olan üç fazlı gerilim de sabit büyüklükte fakat zamana bağlı olarak dönen bir manyetik akı yoğunluğu  $B_s$  oluşturur. Motordaki bu iki manyetik akı yoğunluğu aynen iki zıt mıknatıs kutupları gibi ya birbirlerinin çekerler, ya da iterler.



Şekil 2.3 İki kutuplu bir senkron motorun çalışma prensibi

Kutup akısı  $B_r$ , stator akısı  $B_s$  ile aynı hizaya gelmeye çalışır. Ancak stator akısı  $B_s$  devamlı döndüğü için, kutup akısı  $B_r$  de  $B_s$ 'yi yakalamaya çalışacağından rotor da dönmeye çalışır. Rotora herhangi bir yolla senkron hıza yakın değerlerde bir dönme hızı verilirse, bundan sonra rotor stator döner alan hızı ile kilitlenerek senkron hızda dönmeye devam eder. Rotor akı yoğunluğu  $B_r$ , stator akı yoğunluğu  $B_s$  ile aynı doğrultuya gelmezler. Aynı doğrultuya geldikleri zaman motorda üretilen tork sıfır olacağından, motor dönmez ve durur. İki kutuplu bir senkron motorun vektörel olarak çalışma prensibi Şekil 2.3'de verilmiştir. Burada stator akı yoğunluğu ile kutup akı yoğunluğu arasındaki  $\theta$  açısı ne kadar büyükse motor o kadar yüklenmiş ve üretilen tork da o kadar artmıştır.

Senkron motorların kutupları için gerekli olan DA genellikle bilezik ve fırça tertibatı ile harici bir kaynaktan sağlanır. Ancak bilezik ve fırça tertibatı hareketli kısımlar olduklarından, enerji nakli esnasında bazı sıkıntılar ortaya çıkacaktır. Bunları elektrik arkları, fırçalardaki güç kayıpları, sürtünmeden dolayı oluşan mekanik problemler, yalıtım problemleri, fiziki alandaki büyüme gibi sıralamak mümkündür. Fırça ve bilezik tertibatını kaldırarak yapılan düzenekler mevcuttur [Çolak, 2003].

#### 2.4. Senkron Motorlarda Döner Alan Hızı

Senkron makinalarda döner alan hızı makinanın dönüş hızı ile senkronize olarak aynı değeri alır. Yani senkron makinalarda kayma değeri sıfırdır. Dolayısıyla stator döner alan hızı ile stator frekansı arasında Eş.2.1'de verildiği gibi bir ilişki mevcuttur.

$$f_e = \frac{n_m P}{120} \quad (2.1)$$

Burada;

$f_e$  = Frekansı (Hz)

$n_m$  = Mekanik hız (d/d)

$p$  = Toplam kutup sayısını

göstermektedir.

Senkron motorlar sabit hızda çalıştılarından, döner alan hızı ve dolayısıyla frekansları da sabittir. Makinanın kutup sayısını sonradan değiştirmek mümkün olmadığından, frekansla mekanik hız arasında direkt bir ilişki mevcuttur [Çolak, 2003].

## 2.5. Senkron Motorlara Yol verme

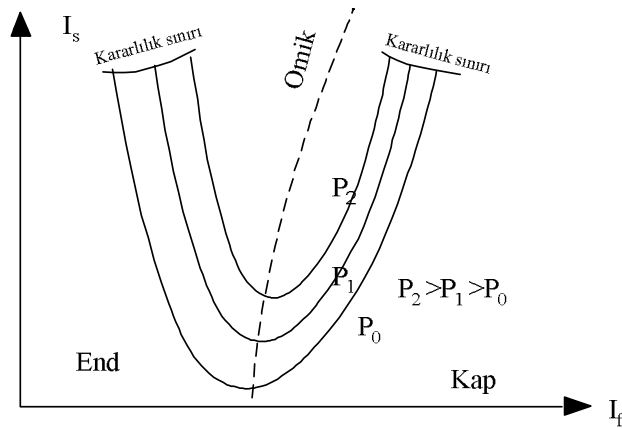
Senkron motorlar kendi kendilerine kalkınamadıkları için özel yol verme sistemlerine ihtiyaç duyarlar. Bu yol verme yöntemlerinden bazıları;

- Yardımcı döndürme makineleri (Asenkron motor) ile yol verme
- Aynı mil üzerinde bulunan uyartım dinamosu ile yol verme
- Senkron motoru bilezikli asenkron motor olarak çalıştırıp yol verme
- Senkron motoru sincap kafesli asenkron motor olarak çalıştırıp yol verme
- Frekansla yol verme
- Senkron motorlara deşarj direnci ile yol verme

## 2.6. Senkron Motorların V Eğrileri

Senkron makinanın, sabit kaynak gerilimi ve frekansında, değişken uyartımdaki karakteristiği Şekil 2.4'deki V-eğrileri ile açıklanır. Eğriler senkron makinanın fazör

diyagramından elde edilir. Yüksüz durumda, uyarım akımı  $I_f$  ayarlanarak makina birim güç faktöründe ( $\cos\varphi=1.0$ ) çalıştırılabilir. Bu durumda stator akımı  $I_s$  minimumdur. Senkron makinanın giriş güç katsayısı, uyarım akımının azaltılıp artırılmasıyla, geri veya ileri yapılabilir. Uyarım akımına karşılık gelen  $I_s$  akımının değişimi V-eğrisi şeklinde olur. Tam ve yarım yüklerde senkron motor V-eğrileri Şekil 2.4'de verilmiştir [Çolak, 2003].



Şekil 2.4 Senkron motor V-eğrileri

Motor durumu için, uyarım akımı azaltıldıkça motor endüktif özellik gösterir. Yani motor akımı  $I_s$  uygulanan gerilimden geridedir. Uyarı akımı sıfıra doğru yaklaştıkça motorun endüktifliği ve endüvi akımı artar, endüvi akımı ile gerilimi arasındaki açı  $90^\circ$ 'ye yaklaşırken güç katsayısı  $\cos\varphi=0.0$ 'a doğru yaklaşır. Motor endüktif çalışırken yük sıfır ise, motorun çektiği akım da az olup sadece mekanik kayıpları karşılayacak kadardır. Yük arttıkça eğride omik çalışma noktasına doğru kayar. Uyarım akımı artırılırsa, motorun çektiği  $I_s$  akımı azalarak endüktiflik azalır, omik çalışmaya doğru yaklaşılır. Uyarı akımının değişmesine karşılık, endüvi akımında ( $I_s$ ) herhangi bir değişme yoksa, bu noktada endüvi akımı minimumdur ve motor omik çalışmaya geçmiştir. Yani motorun çektiği endüvi akımı ile motora uygulanan gerilim aynı fazda olup, aralarındaki  $\varphi$  açısı sıfırdır ve  $\cos\varphi=1.0$  dir. Uyarım akımındaki artışa devam edilirse, endüvi akımı tekrar artmaya başlar ve bu noktadan sonra motor kapasitif çalışmaya geçer. Kapasitif çalışma durumu uyarım akımına bağlı olarak artış gösterir. Dolayısıyla endüvi akımı endüvi gerilimine göre önde

olmak üzere, akım ve gerilim arasındaki açıda  $-90^\circ$ 'ye doğru çıkarken  $\cos\phi=0.0$ 'a yaklaşır.

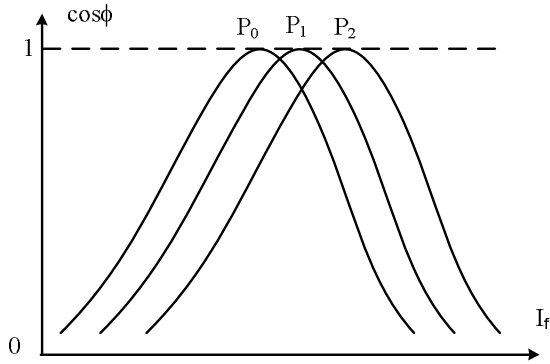
Senkron makinanın motor çalışması durumunda elde edilen V-eğrisi çeşitli yük durumlarına göre farklılık göstermektedir. Motor boşta çalışırken elde edilen V-eğrileri en dışta olup, motor yüklendikçe V-eğrisi omik çalışma eğrisine doğru yaklaşmaktadır. Omik çalışma durumunda, boşta gerekli olan uyarım akım değeri yük miktarı arttıkça artmaktadır. Bunun nedeni ise endüvi reaksiyonunun çeşitli yükler için farklı olması ve doymanın artmasıdır.

Boştaki endüvi reaksiyonu ile yüklü durumdaki endüvi reaksiyonu farklı olduğundan, uç geriliminin sabit kalabilmesi için omik yüklü durumda daha fazla uyarım akımına ihtiyaç vardır. Yük altında çalışan bir senkron motorun uyarım akımı anma değerinden fazla ise motor kapasitif, anma değerinden az ise motor endüktif çalışmaktadır. Uyarım akımının çok küçük ve çok büyük olduğu noktalarda senkron motor kararsız çalışma durumuna geçer. Dolayısıyla senkron motorların uyarım akımları çok geniş sınırlar içerisinde değiştirilemezler. Şekil 2.4'de kararlı çalışma sınırları belirtilmiştir.

Senkron makinanın alternatör olarak çalışması durumunda ise, motor olarak çalışması durumundaki söylenenlerin tam tersini söylemek yeterli olacaktır. Yani fazla uyarım akımı alternatörün endüktif, az uyarım akımı da alternatörün kapasitif çalışmasına neden olur. Senkron makinanın motor veya alternatör çalışma durumuna göre güç katsayısı ve uyarım akımı arasındaki bağıntı Şekil 2.5'de verilmiştir.

Bu şekilde  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasındaki açılar ister negatif, ister pozitif olsun, kosinüsleri birbirlerine eşit ve pozitif değerlidir. Senkron makina yüklendikçe eğri soldan sağa doğru kaymaktadır. Güç katsayısının 1 olduğu noktalar makinanın omik çalışma noktalarıdır. Motor çalışma durumu için omik çalışma noktasının sol tarafı endüktif çalışmayı, sağ tarafı kapasitif çalışmayı verir. Alternatör çalışma durumu için ise, sol taraf kapasitif, sağ taraf endüktif çalışmayı verir [Çolak, 2003].



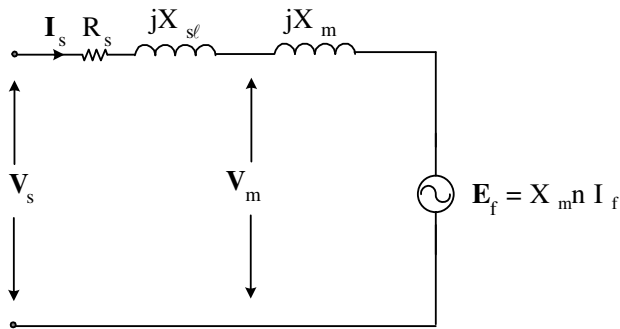


Şekil 2.5 Senkron motorun uyarım akımına karşılık güç katsayısının değişimi.

Güç katsayısının ( $\cos \phi$ ) sifıra yaklaştığı noktalarda endüvi akımı ile gerilimi arasındaki açı  $90^\circ$ 'ye yaklaşmıştır. Açının  $-90^\circ$  veya  $+90^\circ$ 'ye yaklaşması ise yükün endüktif veya kapasitif olma durumuna bağlıdır [Çolak, 2003].

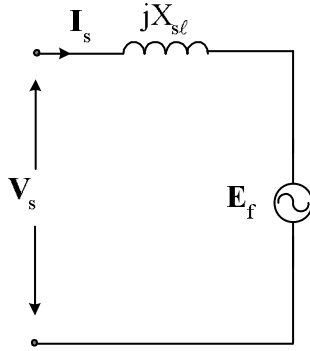
## 2.7. Yük Değişiminin Senkron Motor Üzerindeki Etkisi

Senkron motorlar sabit hızlı bir dönme karakteristiğine sahiptirler. Değişken yük rejimlerine karşı hızlarında herhangi bir artma ya da azalma olmamaktadır. Yük değişiminin senkron motor üzerindeki etkilerini görmek için fazör diyagramlarından faydalanılacaktır. Fazör diyagramlarının çiziminde Şekil 2.6'da verilen eşdeğer devre ve parametreler esas alınacaktır.



Şekil 2.6 Silindirik kutuplu senkron motorun bir faz eşdeğer devresi

Şekil 2.6'daki eşdeğer devre üzerinde  $R_s$  direnci ihmal edilmiş ve stator kaçak reaktansı  $X_{sl}$  ile mıknatıslama reaktansı  $X_m$  toplanarak eşitlikleri olan senkron reaktans  $X_s$  haline getirilmiştir. Basitleştirilmiş eşdeğer devre Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7 Senkron motorun basitleştirilmiş bir faz eşdeğer devresi

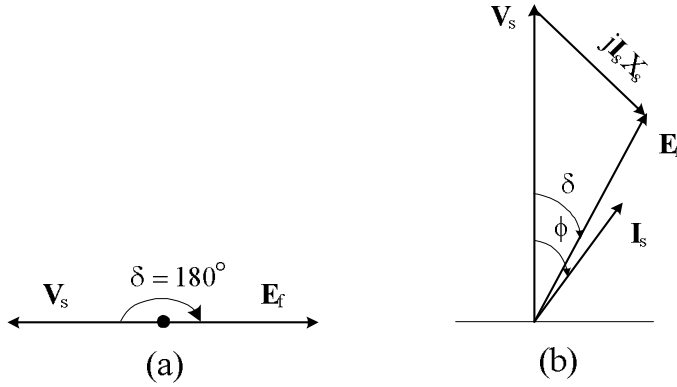
Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de verilen bir faz eşdeğer devrelerde;

- $V_s$  = Senkron motorun bir faz kaynak gerilimi
- $X_{sl}$  = Senkron motorun bir faz kaçak reaktansı
- $X_m$  = Senkron motorun bir faz mıknatıslama reaktansı
- $X_s$  = Senkron motorun bir faz senkron reaktansı
- $R_s$  = Senkron motorun stator direnci
- $I_s$  = Senkron motorun kaynaktan çektiği bir faz akımı
- $V_m$  = Senkron motorun hava aralığında endüklenen gerilimi
- $n$  = Sabit
- $I_f$  = Uyarım akımı
- $E_f$  = Senkron motorda endüklenen bir faz gerilimi

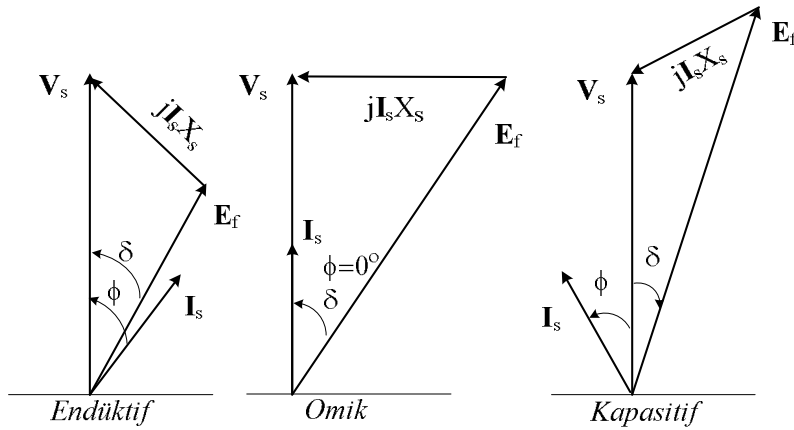
olarak ifade edilmiştir.

İdeal bir senkron motorun senkron reaktansında düşen gerilim sıfır olup, stator sargılarında endüklenen gerilim  $E_f$  motorun terminaline uygulanan  $V_s$  gerilimine eşittir. Bu durum Şekil 2.8(a)'da vektörel olarak gösterilmiştir. Ancak uygulamada senkron motor boşa bile çalışırken kaynaktan bir güç çekerek mekanik kayıplarını

karşılar. Motorların mekanik kayıplarını karşılamak için kaynaktan çektikleri güç aktif güçtür. Senkron motorun boştaki fazör diyagramı uyarım akımına bağlı olarak omik, endüktif veya kapasitif olabilir. Endüktif çalışmaya ait fazör diyagramı Şekil 2.8(b)'de verilmiştir.



Şekil 2.8 İdeal(a) ve boş çalışma(b) durumlarına göre gerilim fazör diyagramları

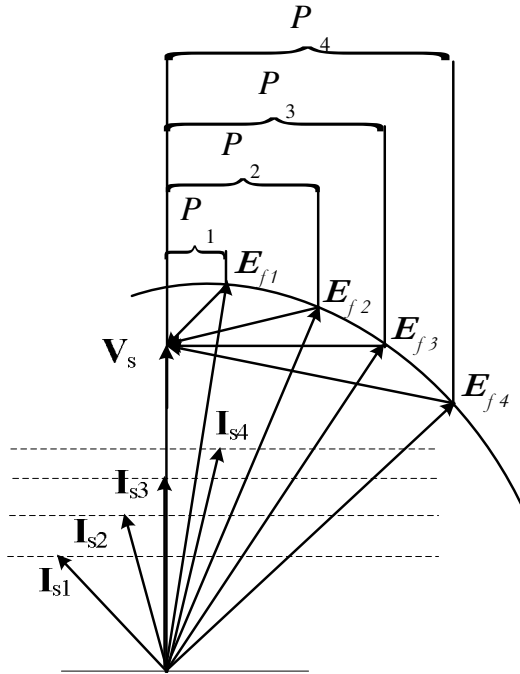


Şekil 2.9 Değişik yük durumlarına göre gerilim vektör diyagramları

Şekil 2.8'den görüldüğü gibi, senkron motor yüklendikçe, uygulanan  $V_s$  gerilimi sabit olduğu sürece, kaynaktan çekilen stator akımı  $I_s$  yüke bağlı olarak artacaktır. Stator akımı arttıkça,  $V_s$  sabit olduğundan  $X_s$  üzerindeki gerilim düşümü de artacaktır.  $E_f$  uyarım devresi gerilimi de uyarım akımına bağlı olup sabit olduğundan, yüke bağlı olarak  $E_f$ 'nin değeri değişmeyip bütün yük değerleri için aynıdır. Ancak,  $V_s$  ile  $E_s$  arasındaki fark (bileşke) gerilimi  $E_r$ 'nin değeri ise, senkron motorun yüklü olması durumunda, daima sıfırdan büyüktür.

Senkron motor yükün durumuna göre omik, endüktif veya kapasitif özellik göstermektedir. Şekil 2.9’da, senkron motorun değişik yük durumuna göre gerilim vektör diyagramları verilmiştir. Burada senkron motorun endüvi iç direncindeki gerilim düşümü, vektör diyagramlarının daha basit hale getirilmesi için ihmal edilmiştir. Senkron motorun her üç yük durumuna göre kaynaktan çektiği stator akımı  $I_s$ , Eş.2.1’ de verilen formüller ile hesaplanır. Senkron motorun değişken yüke karşı gösterdiği tepki Şekil 2.10’da kapasitif yüklü bir durum için gösterilmiştir.

$$\left. \begin{aligned}
 I_s &= \frac{\sqrt{(V_s - E_f \cos \delta)^2 + (E_f \sin \delta)^2}}{X_s} \Rightarrow \text{Endüktif Yüklü} \\
 I_s &= \frac{\sqrt{(E_f)^2 - (V_s)^2}}{X_s} \Rightarrow \text{Omik Yüklü} \\
 I_s &= \frac{\sqrt{(E_f \cos \delta - V_s)^2 + (E_f \sin \delta)^2}}{X_s} \Rightarrow \text{Kapasitif Yüklü}
 \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$



Şekil 2.10 Senkron motorun kapasitif yük durumunda yük artışının motora etkisi

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi, vektör diyagramında değişen sadece  $I_s$  akımı, bu akımın  $X_s$  üzerindeki  $jI_s X_s$  gerilim düşümü,  $I_s$  ile  $V_s$  arasındaki açı  $\phi$  ve  $V_s$  ile  $E_f$  arasındaki açı  $\delta$  değişmektedir. Vektör diyagramındaki artan  $\delta$  açısı ile  $jI_s X_s$  değeri artmakta ve neticede senkron motorun kaynaktan çektiği aktif güç  $P_{in}$  artmaktadır. Senkron motorun akımı  $I_{s1}$  ve  $I_{s2}$  değerlerinde iken, motor kapasitif özellikte, akım  $I_{s3}$  değerine geldiğinde ise motor omik özellikte çalışmaktadır. Eğer senkron motor yüklenmeye devam edilirse, motorun çalışması omik durumdan endüktif duruma geçerek motor akımı  $I_s$  motor gerilimi  $V_s$ 'nin gerisinde kalır. Neticede,  $E_f$ 'nin vektörü bir dairenin yarıçapını oluşturan çizgiler şeklinde değişmektedir.

Senkron motorun yükü arttıkça, motorun şebekeden çektiği  $I_s$  akımı ve dolayısıyla  $jI_s X_s$  değeri de soldan sağa doğru büyüyerek ilerlemektedirler. Senkron motorun kaynaktan çektiği güce ait eşitlik şu şekildedir.

$$P_{in} = \frac{3V_s E_f}{X_s} \sin\delta \quad (2.2)$$

Bu ifadeden görüldüğü gibi;  $V_s$ ,  $E_f$  ve  $X_s$  değerleri sabit iken sadece  $\delta$  açısı büyüdükçe, senkron motorun kaynaktan çektiği aktif güç de artar.

Senkron motorun milindeki mekanik gücün artması, senkron motorun kaynaktan daha fazla güç çekmesini ve dolayısıyla  $V_s$  ile  $E_f$  arasındaki açının büyümesini gerektirmektedir. Eş.2.2'ye göre  $\delta$  açısının değeri  $90^\circ$  olduğunda senkron motor kaynaktan maksimum güç çekmektedir.

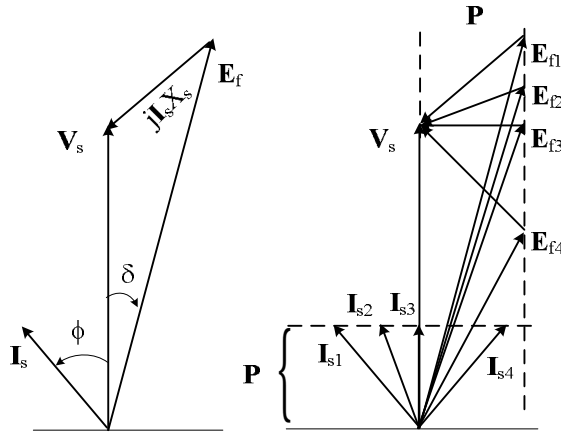
Senkron motorun milindeki yük artırılarak,  $\delta$  açısının değeri  $90^\circ$ 'nin üzerine çıkarılırsa, motorun kaynaktan çekeceği güç azalır. Böylece senkron motor senkronizimden kurtularak ya asenkron motor olarak çalışmasını sürdürür, ya da bir müddet sonra durur. Eğer stator sargılarının iç direnci  $R_s$  ihmal edilmez ise, motorun artan yük karşısında senkronizimden kurtulması  $90^\circ$ 'den önce olur.

## 2.8. Uyartım Akımındaki Değişikliğin Senkron Motor Üzerindeki Etkileri

Yük altında çalışmakta olan bir senkron motorun giriş parametreleri; terminal gerilimi  $V_s$ , gerilimin frekansı  $f_s$ , yük  $P_{load}$  ve uyartım akımı  $I_f$ 'dir. Eğer motor sabit gerilimli bir kaynaktan besleniyorsa ve frekans da sabit ise, yükte ya da uyartım akımında bir değişiklik yaparak, motorun karakteristiği incelenebilir.

Senkron makinalarda uyartım akımı direkt olarak statorunda endüklenen gerilim  $E_f$ 'yi etkilemektedir. Şekil 2.7'de eşdeğer devre göz önünde bulundurulursa, sabit  $V_s$  değerinde  $E_f$ 'nin değişmesi  $jI_s X_s$  değerini etkileyecektir. Senkron motorun kapasitif yüklü olduğu fazör diyagramına göre uyartım akımı değiştirilirse Şekil 2.11'de verilen fazör diyagramı elde edilir.

Uyartım akımının değişmesi sadece senkron motorun kaynaktan çektiği stator akımı  $I_s$ 'nin reaktif bileşenini ( $I_s \sin \phi$ ) değiştirmekte,  $I_s$  akımının aktif bileşeni ( $I_s \cos \phi$ ) ise sabit kalmaktadır. Bunun anlamı, uyartım akımı değişikçe, senkron motorun kaynaktan çektiği gücün reaktif bileşeni değişir, aktif bileşeni ise sabit kalır.



Şekil 2.11 Kapasitif yük durumunda uyartım akımındaki artışın etkisi

Diğer taraftan, statorunda endüklenen gerilim  $E_f(\sin \delta)$  değeri de sabit kalmaktadır. Eş.2.2'de verilen güç ifadesinde  $E_f(\sin \delta)$  değerinin sabit olması, senkron motorun

kaynaktan çektiği aktif gücün sabit kaldığını göstermektedir. Şekil 2.11'deki fazör diyagramında  $E_f(\cos\delta)$  ifadesinin değişmesi ise, senkron motorun şebekeden çektiği reaktif gücün değiştiğini göstermektedir. Senkron motorun kaynaktan çektiği reaktif güç ifadesi ise Eş.2.3'de verilmiştir:

$$Q_{in} = \frac{3V_s E_f}{jX_s} \cos\delta \quad (2.3)$$

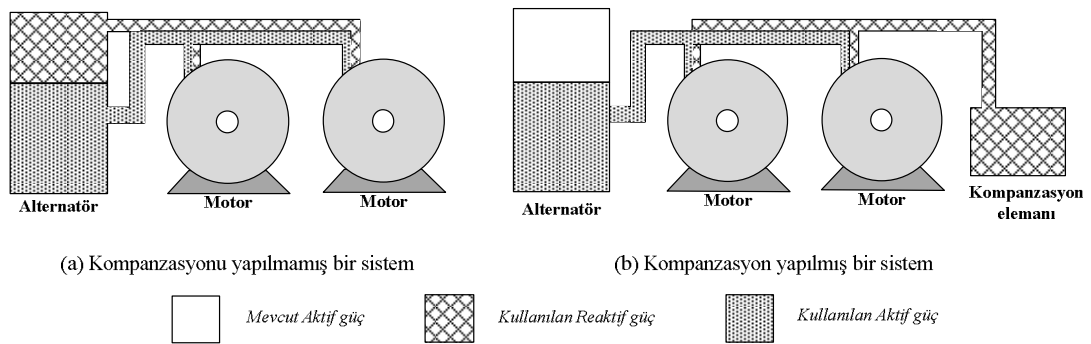
Senkron motor omik çalışma durumunda iken, uyarım akımı artırılarak aşırı uyarımda çalışma durumuna geçilirse, motor kapasitif özellik gösterir. Uyarım akımı azaltılarak düşük uyarımda çalışma durumuna geçilirse, motor endüktif özellik gösterir. Senkron motor ister endüktif, ister omik veya isterse kapasitif çalışma durumunda olursa olsun, kaynaktan çektiği  $I_s$  akımının reaktif bileşeni, diğer bir ifadeyle kaynaktan çekilen reaktif gücün değeri uyarım akımıyla ayar edilebilir. Senkron motorların bu özelliği, motorun dinamik güç kompanzatörü olarak kullanılmasını sağlar. Yani, herhangi bir sistemin güç katsayısı senkron motor yardımıyla kademesiz olarak kontrol edilebilir.

## 2.9. Reaktif Güç Kompanzasyonu

Güç sistemlerinde aktif güç akışının yanında yükün ve sistemin ihtiyacını karşılayabilmek için reaktif güç akışı da olmaktadır. Aktif güç kuşkusuz alternatörlerden yüklere iletilecektir, oysa reaktif güç için böyle bir zorunluluk yoktur. Reaktif gücün ihtiyaç duyulan noktaya en yakın yerde üretilmesinde elektrik sisteminin en iyi koşullarda çalıştırılması açısından büyük yararlar vardır. Elektrik sisteminin ve yüklerin reaktif güce gerek duyulan yerlerde belirli teknikler kullanılarak karşılanması “reaktif güç kompanzasyonu” olarak adlandırılmaktadır. Bu işlemin doğal sonucu olarak sistemin belirli noktalarında gözüken güç katsayısı ( $\cos\phi$ ) düzeltilecek, diğer bir deyişle tesisin güç katsayısı 0,98 ile 1 arasında bir değere yaklaştırılacaktır. Şekil 2.12(a)'da kompanzasyonu yapılmamış bir sistem ve Şekil 2.12(b)'de ise kompanzasyonu yapılmış bir sistem verilmiştir. Şekil 2.12(a)'da

sistem çalışırken alternatörden aktif gücün yanında iş yapmayan reaktif gücünde çekildiği görülmektedir. Aktif güç, sistemin çalışması için gerekli bir güç iken, bunun aksine mıknatıslama için gerekli olan reaktif gücün alternatörden çekilmesine gerek yoktur. İş yapmadığı halde bu güç alternatörden çekildiği için, bu gücün de tüketim bedeli ödenmek zorundadır. Şekil 2.12 (b)'de ise kondansatör veya senkron motor gibi bir kompanzasyon elemanı ile kompanzasyon yapıldığında, bu reaktif gücün şebekeden çekilmediği görülmektedir. Ayrıca Şekil 2.12(a) ile karşılaştırıldığında, alternatörün fazladan mevcut bir aktif güce sahip olduğu görülecektir.

50 kVA'ya kadar kurulu gücü bulunan herhangi bir endüstriyel müşteri tarafından her bir uzlaşma periyodunda sistemden çekilen endüktif reaktif enerjinin, aktif enerjiye oranı %20'yi, sisteme verilen kapasitif reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı ise %15'i geçmemelidir. Verilen limit oranlar kullanıldığına endüktif tarafta PF nin en az 0,98, kapasitif tarafta da en az 0,989 olması gerektiği görülmektedir. 50 KVA ve üzeri güç değerlerinde ise reaktif sınırı %30'a, kapasitif sınırı ise %20'ye yükselmektedir.



Şekil 2.12 Reaktif güç kompanzasyonu

Enerji sarfiyatı yüksek olan şirketler için bu durumlar çok önemli olduğundan, reaktif güç kompanzasyonu mutlaka yapılmakta veya yüksek maliyetli donanımlar kullanılarak yüksek enerji bedellerinden kurtulmaya çalışılmaktadır.



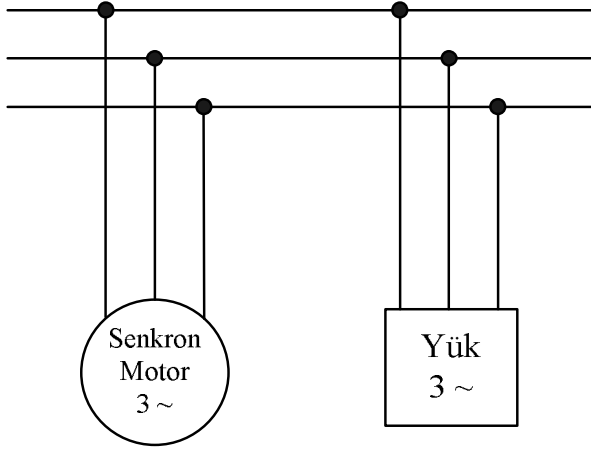
## 2.10. Senkron Motorun Reaktif Güç Kompanzatörü Olarak Kullanılması

Şebekelerde yükler genellikle endüktiftir. Çünkü şebekeye bağlı indüksiyon motorları, indüksiyon fırınları, transformatörler, balastlı lambalar vb. hep endüktif yüklerdir. Endüktif yükler alternatörlerin gerçek güç kapasitelerini küçülttüğünden iletim hatlarında büyük gerilim düşümlerine, dolayısıyla da verimin azalmasına neden olur. Ayrıca endüstride kullanılan endüktif yüklerin çekmiş oldukları reaktif enerjiler, enerji nakil hattını fazladan yüklediklerinden, hattan çekilen aktif enerji miktarını artırmak için enerji nakil hattındaki iletkenin kesitini artırmak gerekir. Yüklerin ihtiyacı olan reaktif enerjiler, ya statik olarak kondansatörlerle, ya da dinamik olarak senkron motorlarla kompanze edilirler.

Senkron motorların uyartım akımlarının değiştirilmesi ile motorun kapasitif veya endüktif olarak çalıştırılması sağlanabilmektedir. Ayrıca senkron motorun şebekeden çektiği reaktif gücün miktarı da uyartım akımı ile ayarlanabilmektedir. Bu olumlu özelliklerinden dolayı, senkron motorlar dinamik güç kompanzatörü olarak kullanılmaktadırlar. Senkron motor güç kompanzatörü olarak kullanılırken üzerinde herhangi bir yük yok ise, kaynaktan çekeceği aktif güç sadece mekanik kayıpları karşılayacak kadardır.

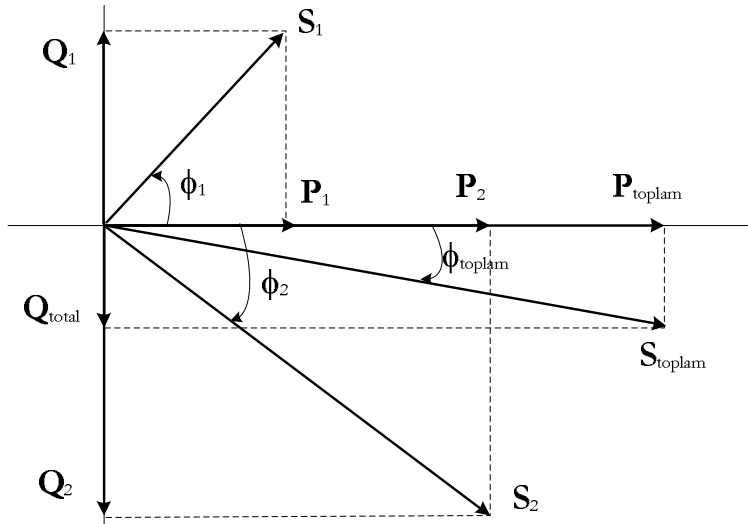
Dinamik güç kompanzatörü olarak kullanılan bir senkron motorun sisteme bağlantısı Şekil 2.13'de verilmiştir. Sisteme bağlı olan 3 fazlı endüktif karakterdeki yükün şebekeden çekeceği geri reaktif güç, senkron motorun şebekeden çekeceği ileri reaktif güç ile dengelenerek, sistemin güç katsayısı istenilen değere getirilmektedir.

Şekil 2.14'de enerji nakil hattına bağlanmış olan senkron motor ve yükün vektör diyagramı gösterilmiştir. Senkron motorun reaktif gücü  $Q_1$ , yükün reaktif gücü  $Q_2$ 'den  $180^\circ$  açı farklı olduğundan, yükün reaktif gücü  $Q_2$  azalarak  $Q_{toplam}$  reaktif gücü elde edilmiştir. Bu  $Q_{toplam}$  reaktif gücüne sistemin toplam gücü denir. Yükün sistemde oluşturduğu güç katsayısı açısı  $\phi_2$  iken, bu açı da azalarak  $\phi_{toplam}$  olmuştur.



Şekil 2.13 Enerji nakil hattına bağlı senkron motor ve yük

Sistemin aktif gücü  $P_{toplam}$  ise, senkron motorun aktif gücü  $P_1$  ile yükün aktif gücü  $P_2$ 'nin toplamına eşittir. Eğer senkron motorun gücü yeterli miktarda büyük ise, uyarım akımı artırılarak sistemin reaktif gücünü sıfır yapmak mümkündür [Çolak, 2003].



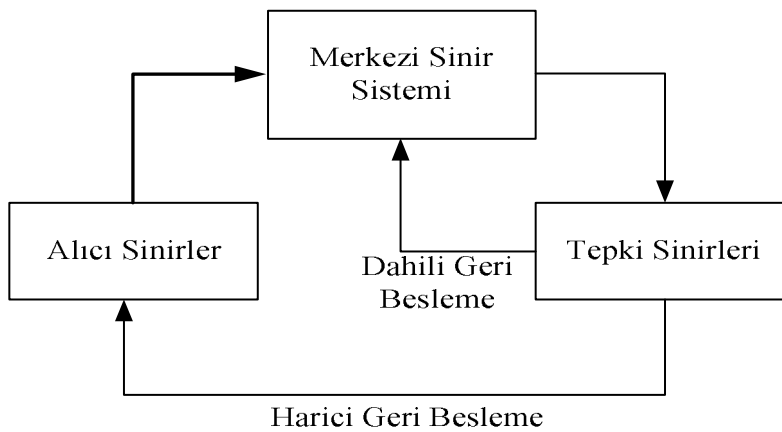
Şekil 2.14 Enerji nakil hattına bağlı alternatör ve yüke ait vektör diyagramları

### 3. YAPAY SİNİR AĞLARI

Yapay sinir ağları (YSA), öğrenme yeteneği, kolayca farklı problemlere uyarlanabilirliği, genelleme yapabilmesi, paralel yapılarından dolayı hızlı çalışabilme yeteneği ve kullanıcının giriş ile çıkış arasındaki ilişkiyi tarif etme mecburiyetinin olmayışı gibi üstünlüklerinden dolayı, pek çok uygulamada kullanılmaktadır [Sağiroğlu ve ark., 2003]. YSA, bir sisteme ilişkin çeşitli parametrelere bağlı olarak tanımlanan girişler ve çıkışlar arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir. Bu ilişkinin doğrusal bir formda olması zorunlu değildir. Ayrıca YSA'lar, çıkış değerleri bilinmeyen tanımlanmış sistem girişlerine de uygun çıkışlar üretebilmekte, böylelikle çok karmaşık problemlere bile iyi çözüm olabilmektedirler.

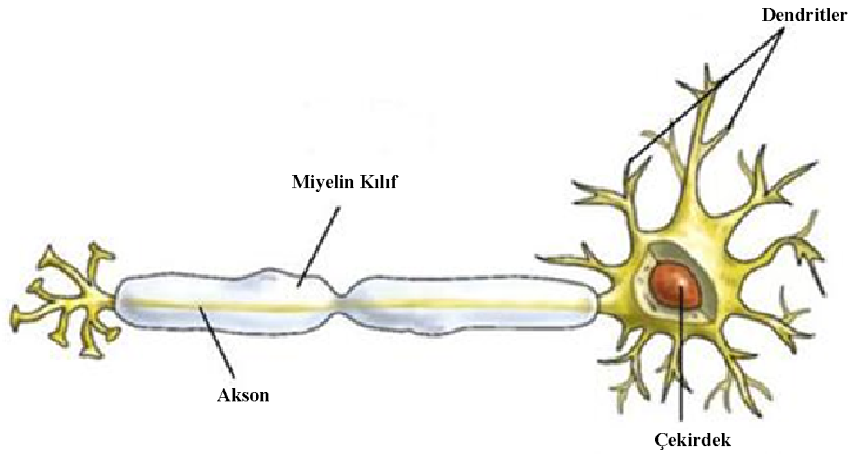
#### 3.1. Biyolojik Sinir Sistemi

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin (merkezi sinir ağı) bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler (receptor) organizma içerisinde ya da dış ortamlardan algıladıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri (effector) ise, beynin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 3.1'de bir sinir sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir [Sağiroğlu ve ark., 2003].



Şekil 3.1 Sinir sisteminin blok diyagramı

Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir. Bu yönüyle biyolojik sinir sistemi, kapalı çevrim denetim sisteminin karakteristiklerini taşır. Merkezi sinir sisteminin temel işlem elemanı, sinir hücresidir (nöron) ve insan beyninde yaklaşık 10 milyar sinir hücresi olduğu tahmin edilmektedir. Sinir hücresi; hücre gövdesi, dendritler ve axonlar olmak üzere 3 bileşenden meydana gelir. Dendritler, diğer hücrelerden aldığı bilgileri hücre gövdesine bir ağaç yapısı şeklinde ince yollarla iletir. Axonlar ise elektriksel darbeler şeklindeki bilgiyi hücreden dışarı taşıyan daha uzun bir yoldur. Axonların bitimi, ince yollara ayrılabilir ve bu yollar, diğer hücreler için dendritleri oluşturur. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi axon-dendrit bağlantı elemanı synapse olarak tanımlanır.



Şekil 3.2 Biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri

Synapse gelen ve dendritler tarafından alınan bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir ancak, synapsedeki kimyasal ileticilerden etkilenir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki üretir. Hücrenin tepkisini artırıcı yöndeki girişler uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak söylenir ve bu etkiyi synapse belirler. İnsan beyninin 10 milyar sinir hücresinden ve 60 trilyon synapse bağlantısından oluştuğu düşünülürse son derece karmaşık ve etkin bir yapı olduğu anlaşılır. Diğer taraftan bir sinir hücresinin tepki hızı, günümüz bilgisayarlarına göre oldukça yavaş olmakla birlikte

duyusal bilgileri son derecede hızlı değerlendirebilmektedir. Bu nedenle insan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarlama ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir [Sağiroğlu ve ark., 2003].

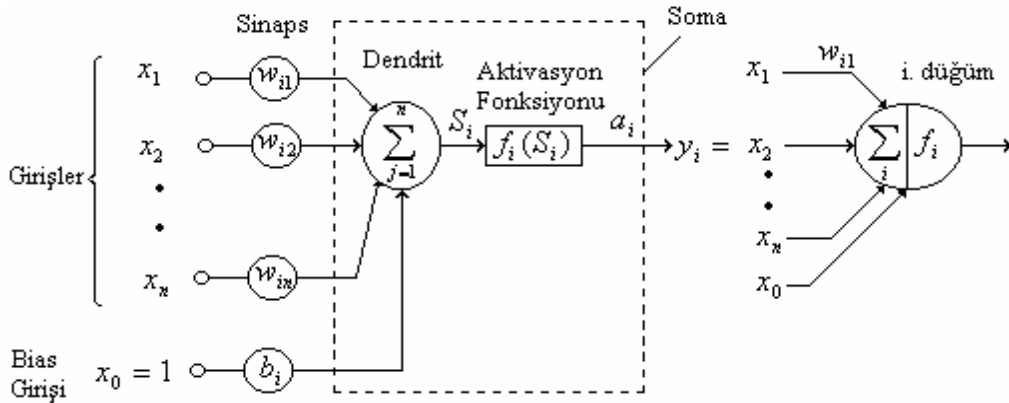
### 3.2. Statik ve Dinamik Yapay Sinir Modelleri

YSA, insan beynin kaba bir modeline dayanmaktadır. Hesaplama ünitesi olarak birçok yapay sinir içermektedir. Bunlar birbirlerine kuvvetli büyük bir paralel yapıda uyarlamalı ağırlıklarla bağlanmaktadır. Yapay sinirler, aslında belirlenmiş veri kümelerini öğrenebilen tek ve bağımsız yapılardır. Bir başka deyişle bunlar uyarlamalı fonksiyon hesaplayıcılarıdır. İnsan beyninin kaba bir biyolojik sinir ağı taklididirler. Donanım veya yazılım olarak uygulanabilirler. Bir insan beyni aşırı geniş sayıda farklı işlemler yerine getirmektedir. Bu özellikleri taklit etmeye uğraşan birçok sayıda YSA bulunmaktadır. YSA'nın temel elemanı olan tek hesaplama sinirinin insan beynine olan benzerliği esasında; çok-girişli, genellikle doğrusal olmayan işlem elamanına ve birbirleriyle bağıntıyı sağlayan ağırlıklara sahip olmasından kaynaklanmaktadır. YSA, biyolojik sinir aktivitelerini taklit etmeye çalışmaktadır. Böyle olmasına karşın bir insan beynin sinirinin biyolojik sinir işlemlerinin doğru bir biçimde temsil edilmesi aşırı derecede güçtür. Fakat iyi bir şekilde temsil eden basit yapay sinir modeli elde etmek mümkündür. Bu, donanım, yazılım veya hibrit teknikler kullanılarak uygulanabilir. Statik Yapay Sinir modeli olarak adlandırılan modelin dört ana bölümü mevcuttur.

1. Giriş veya girişler
2. Ağırlıklar
3. Dinamik olmayan fonksiyon (aktivasyon fonksiyonu), birçok uygulamada nonlineer olmakta fakat lineer fonksiyonları da kullanabilen YSA modelleri bulunmaktadır.
4. Çıkış veya çıkışlar

Bu sinir modeli literatürde perceptron sinir modeli olarak geçmektedir. Fakat tam anlamıyla konuşulan ve göze alınan orijinal tanımlaması Rosenblatt tarafından yapılmıştır [Rosenblatt, 1958]. Eğer aktivasyon fonksiyonu keskin sınırlayıcı gibi özel bir aktivasyon fonksiyon formunda ise sinir modeli perceptron olarak anılır.

Statik yapay sinir ağı modeli dinamik eleman içermemektedir. Bununla birlikte, dinamik yapay sinir ağı modeli olarak adlandırılan modelde, açıklanan dört ana bölüme ek olarak aktivasyon fonksiyon bloğunu takiben bir dinamik blok bulunmaktadır. Bu dinamik blok basit bir gecikme elemanı ile temsil edilmektedir.



Şekil 3.3 Temel statik yapay nöron

Basit statik YSA modelinde soma toplama işlemi ve aktivasyon fonksiyonunu temsil etmektedir. Şekil 3.3'te birçok sinir içeren YSA'nın  $i$ . siniri olan tek bir statik yapay sinirin (YS) basit modeli gözükmektedir. Şekil 3.3'te ayrıca tartışılan biyolojik terminolojiye karşı gelen terimlerde gösterilmektedir. En basit sinir modelinde bir sinir olmasına rağmen genelde  $n$  tane giriş bulunmaktadır [Sağiroğlu ve ark., 2003].

Şekilde  $x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_n(t)$  olarak gösterilmektedir. Bunlar boyutlu giriş vektörünün elemanları olarak düşünülebilir.

$$x(t) = [x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_n(t)]^T \quad (3.1)$$

Sinir çıkışı sayısal bir niceliktir. Sinirler ağırlık toplamalarının yapıldığı, toplama operatörü içermektedir. Toplama operatörünün çıkışı ağ değeri olarak (net değeri) alınır. Eş.3.2'deki şekilde ifade edilir. Ağın net değeri, giriş nöronlarının ağırlık değerlerinin bir fonksiyonudur.

$$S_i(t) = \sum_{j=1}^n w_{ij}(t) + b_i \quad (3.2)$$

Burada  $w_{ij}$  ,  $i$ . sinir  $j$ . giriş arasındaki bağlantı ağırlıklarını,  $b_i$  de sapma veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılan sabit değeri göstermektedir. Ağırlıklarla girişler çarpılarak girişler bağlantı ağırlıklarından iletilirler. Ağırlık toplamasında toplanırlar ve net değeri ( $S_i$ ) bunlara sapmanın eklenmesi ile elde edilir. Son olarak sinirin çıkışı sinir aktivasyon fonksiyonu kullanılarak elde edilir. Ağırlıklar, sayısal veri taşıyan tek yönlü haberleşme kanallarıdır. Birçok YSA'nın eğitim veya öğrenme aşamalarında kullanılmak üzere ağırlık değerleri sağlanır. Eğitim veya öğrenme aşamalarında sunulan giriş eğitim verileri temelinde sistem çıkışının doğru çıkışa hemen-hemen uyması için ağırlıklar değiştirilir. Ağırlıkların değişimi yalnızca eğitim ve öğrenme aşamalarında mümkündür. Genelde hepsi farklı sabit değerler alırlar. Çoğunlukla ağırlıkların başlangıç değerleri rasgele seçilir ve pozitif veya negatif değer alabilirler. Girişler; bir nöron girişinin dışsal ve içsel olmak üzere iki kaynağı vardır. İçsel girişler diğer nöronlardan gelen girişlerdir. Şekil 3.3'te görüldüğü üzere giriş olarak sapma girişi de ele alınmalıdır. Böylelikle toplam  $n + 1$  giriş bulunmaktadır. Eşik değeri  $x_0 = 1$  ve  $b_i$  ağırlığına karşı düşen ağırlığın kullanılması ile oluşturulmaktadır. Sapmanın Eş.3.2 toplamına eklenmesi nöron aktivasyon fonksiyonunun kaymasına neden olur. Aktivasyon fonksiyonu, Şekil 3.3'te görüldüğü üzere, nöron dinamik olmayan bir aktivasyon fonksiyonu içermektedir. Bu fonksiyonun doğrusal olmaması durumunda biyolojik hücrenin doğrusal olmayan somatik transfer fonksiyonunun yerine geçmektedir. Doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonunun kullanılmasının sonucu bile nöron modeline doğrusal olmama özelliği kazandırmaktır. Bundan dolayı ağda, çıkışlar ve girişler arasında daha kuvvetli bir nonlineer ilişki sağlama özelliği elde edilir. Doğrusal olmayan bir fonksiyon kullanılmaması durumunda, yapay nöron doğrusal bir sistemi

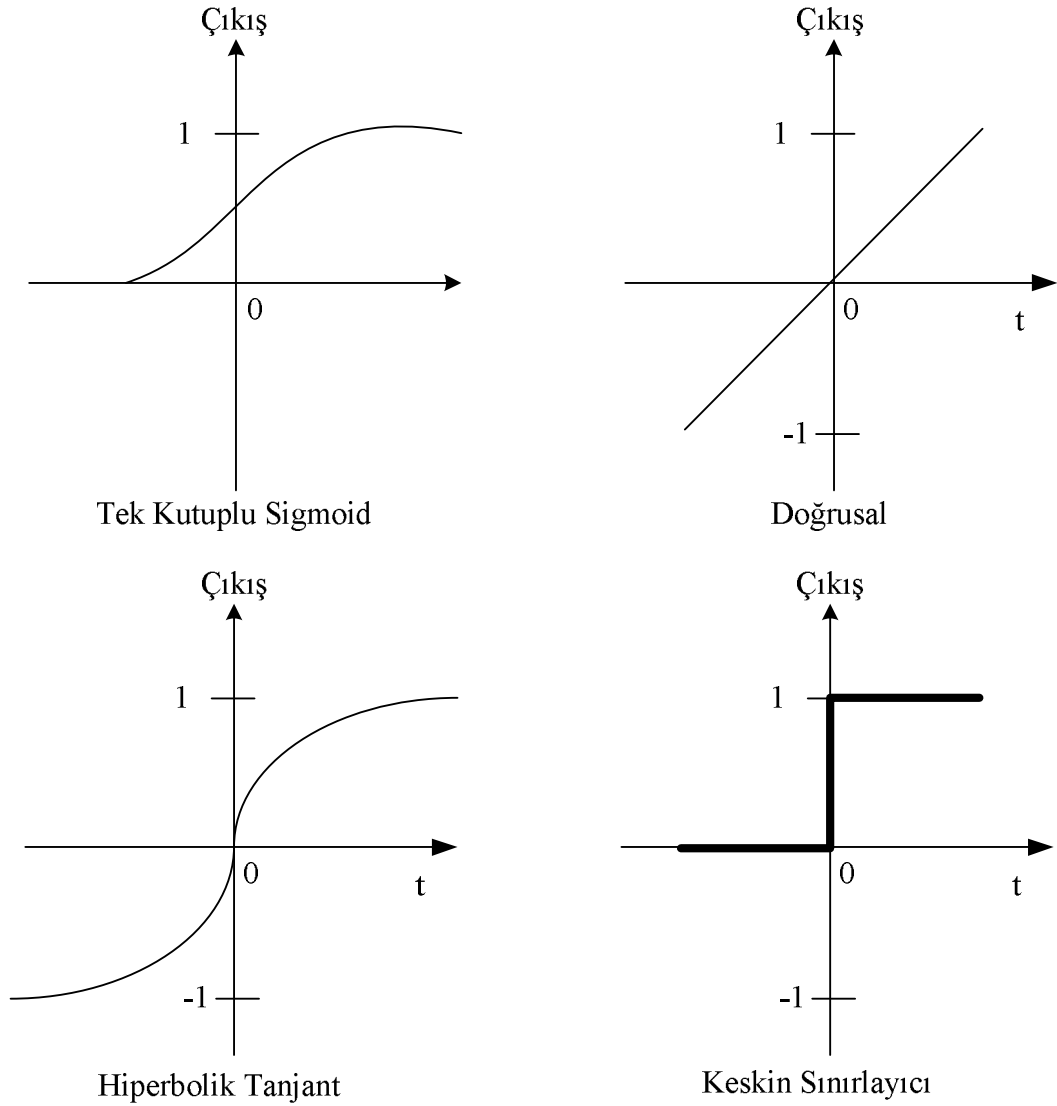
temsil eder. Bu tip yapay nöronlar doğrusal olmayan sistem eşleşmesinde kullanılmaz ve doğrusal olmayan hesaplamaları yerine getiremez. Doğrusal aktivasyon fonksiyonları gürültüyü bastıramamaktadır. Bu sebepten ağ sağlam bir doğruluk yapısında değildir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu içeren nöron modeline sahip ağlar da kullanılmaktadır. Fakat bunlar sadece doğrusal sistem modellemesinde kullanılır. Doğrusal aktivasyon fonksiyonlu sinir modeli literatür de Widrow-Hoff modeli olarak bahsedilmektedir.

YSA’nda kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının (matematiksel fonksiyonlar) çeşitli türleri bulunmaktadır. Bununla birlikte aktivasyon fonksiyonu seçiminde doğrusal olmama ve basitlik iki anahtar faktördür. Ayrıca bazı eğitim tekniklerinde aktivasyon fonksiyonunun birinci dereceden türevi gerekmektedir. Eğer YSA’da bu teknikler kullanılacaksa aktivasyon fonksiyonu türevi alınabilir olmak zorundadır. Kronolojik olarak ilk önce aktivasyon fonksiyonları olarak keskin sınırlayıcı (hard-limit) fonksiyonu kullanılmıştır. Bunun amacı ayrık nöronlarda, ON ve OFF olarak iki bölge meydana getirmektir. Daha sonraları, sürekli tip nöronlarda asimptotik aktivasyon fonksiyonları kullanıldı. Keskin sınırlayıcı aktivasyon fonksiyonlu nöron modelleri tamamında olmamakla birlikte kesinlikle sınıflandırma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Burada giriş uzayı iki bölgeyle ayrılmıştır. Çıkış vektörü girişlere bağlı olarak 0 ya da 1 dir. Yukarıda bahsedilen keskin sınırlayıcı aktivasyon fonksiyonu kullanan sinir modeli perceptron (algılayıcı) olarak adlandırılmaktadır.

Aktivasyon fonksiyonları çeşitli türde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma, yumuşak sınırlayıcı ve keskin sınırlayıcı olarak ayırt edilebilir. Yumuşak sınırlayıcı fonksiyonları bazı ağırlık uyarlamalarında gerekmektedir. Keskin sınırlayıcı fonksiyonları ayrık algoritmalarda kullanılır.

Değişik tiplerdeki aktivasyon fonksiyonlarından, literatürde sıklıkla tercih edilen tek kutuplu sigmoid fonksiyonu, doğrusal aktivasyon fonksiyonu, hiperbolik tanjant fonksiyonu ve keskin sınırlayıcı fonksiyonu örnek olarak Şekil 3.4’de görülmektedir [Sağiroğlu ve ark., 2003].





Şekil 3.4 YSA'da en çok tercih edilen aktivasyon fonksiyonları

### 3.3. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

YSA, genel olarak birbirleri ile bağlantılı nöronlardan oluşurlar. Her bir nöron arasındaki bağlantıların yapısı ağıın yapısını belirler. İstenilen referans değere ulaşmak ve hata oranını müsaade edilen en küçük değere çekebilmek için bağlantıların nasıl değiştirileceği öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Hedeflenen çıkış performansının elde edilebilmesi için YSA, yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılabilirler.

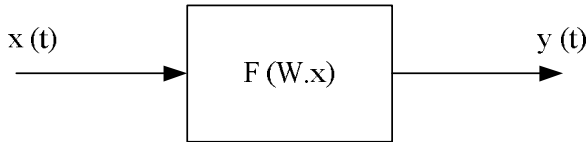
### 3.3.1. YSA'nın yapılarına göre sınıflandırılması

YSA, yapılarına göre ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback) ağlar olarak ikiye ayrılırlar.

#### İleri Beslemeli Ağlar

Nöronlar, genellikle katmanlara ayrılmış olmaktadır. İşaretler, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. Nöronlar bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz.

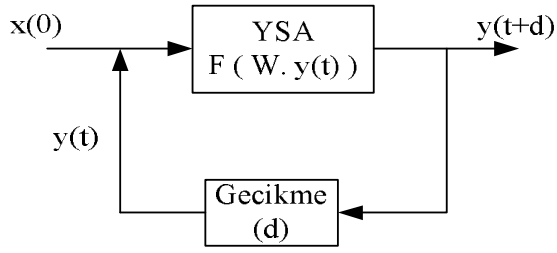
Şekil 3.5'de ileri beslemeli YSA için blok diyagram gösterilmiştir. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı perceptron (Multi-Layer Perceptron – MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları verilebilir.



Şekil 3.5 İleri beslemeli YSA için blok diyagram

#### Geri Beslemeli Ağlar

Bir geri beslemeli sinir ağı, çıkış ve ara katmanlardaki çıkışların, giriş birimlerine veya önceki ara katmanlara geri beslendiği bir ağ yapısıdır. Böylece girişler hem ileri yönde hem geri yönde aktarılmış olur. Şekil 3.6'da bir geri beslemeli ağ blok diyagramı görülmektedir. Bu çeşit sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır. Bu ağlarda bir andaki çıkış, hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır. Bundan dolayı özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygundur. Bu ağlar çeşitli tipteki zaman serilerinin tahmininde oldukça başarı sağlamışlardır. Geri beslemeli YSA'na örnek olarak Hopfield, SOM (Self Organizing Map), Elman ve Jordan ağları verilebilir [Sağiroğlu ve ark., 2003].



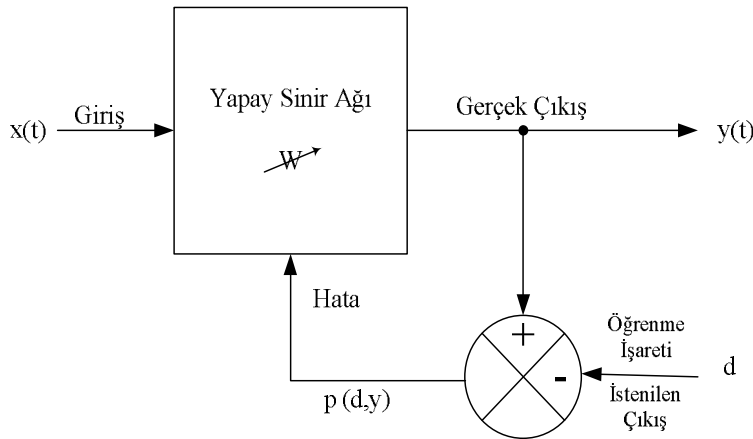
Şekil 3.6 Geri beslemeli YSA için blok diyagram

### 3.3.2. YSA'nın öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılmaları

Öğrenme, gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği olarak tanımlanmaktadır. Bir takım metot ve kurallara bağlı olarak gözlem ve eğitim tabanında ağıdaki ağırlıkların değişimi sağlanmalıdır. Burada genel olarak üç öğrenme metodundan ve bunların uygulandığı değişik öğrenme kurallarından söz edilebilir.

#### Danışmanlı Öğrenme (Supervised Learning)

YSA'na örnek olarak bir doğru çıkış verilir. İstenilen ve gerçek çıkış arasındaki fark hata olarak ele alınır. Bu hataya göre nöronlar arasındaki bağlantıların ağırlıkları en uygun çıkışı elde etmek için düzenlenir. Şekil 3.7'de danışmanlı öğrenmenin blok diyagramı gösterilmiştir.

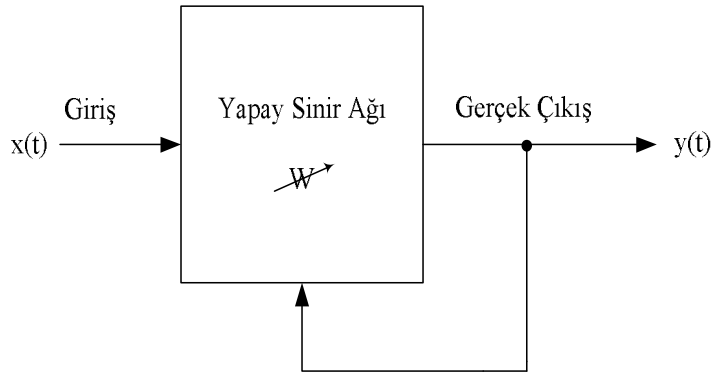


Şekil 3.7 Danışmanlı öğrenme yapısı

Bu sebeple danışmanlı öğrenme algoritmasında bir “öğretmene” veya “danışmana” ihtiyaç duyulmaktadır. Widrow-Hoff tarafından geliştirilen delta kuralı ve Rumelhart ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş delta kuralı veya geri yayılım (back propagation) algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir [Sağiroğlu ve ark., 2003].

### Danışmansız Öğrenme (Unsupervised Learning)

Giriş verilen örnekten elde edilen çıkış bilgisine göre ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirmektedir. Bu öğrenme algoritmalarında istenen çıkış değerinin bilinmesine gerek yoktur. Öğrenme süresince sadece giriş bilgileri YSA'na verilir. Ağ daha sonra bağlantı ağırlıklarını aynı özellikleri gösteren örüntü oluşturmak üzere ayarlar. Şekil 3.8'de danışmansız öğrenme algoritma yapısının blok diyagramı gösterilmektedir. Grosberg tarafından geliştirilen ART (Adaptive Resonance Theory) veya Kohonen tarafından geliştirilen SOM (Self Organizing Map) öğrenme kuralları danışmansız öğrenmeye örnek olarak verilebilir [Sağiroğlu ve ark., 2003].



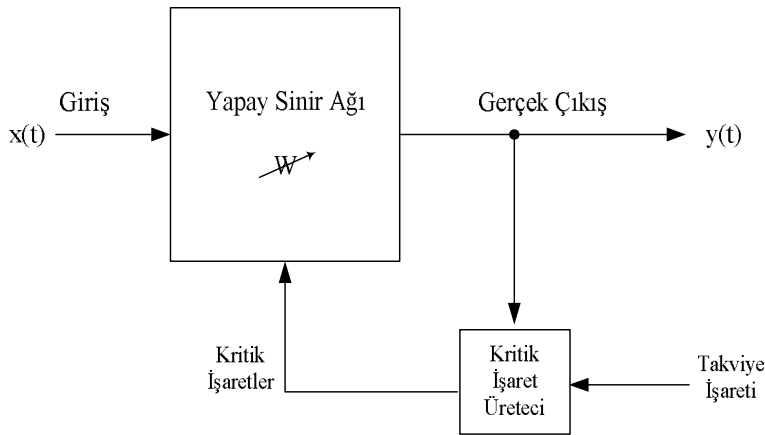
Şekil 3.8 Danışmansız öğrenme yapısı

### Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning)

Denetimsiz öğrenme algoritması, istenen çıkışın bilinmesine gerek duymaz. Hedef çıktıyı vermek için bir “öğretmen” yerine, burada YSA'na bir çıkış verilmemekte

fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık iyiliğini değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır.

Şekil 3.9’da takviyeli öğrenme algoritması yapısının blok diyagramı verilmiştir. Optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski’nin geliştirdiği Boltzmann kuralı veya genetik algoritmalar takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilir [Sağıroğlu ve ark., 2003].



Şekil 3.9 Takviyeli öğrenme yapısı

### 3.4. Uygulamaya Göre Öğrenme Yaklaşımları

Uygulamaya göre, öğrenme metotları on-line ve off-line olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Uygulama problemine göre bu yaklaşımlardan birisi seçilir. Sistem bilgilerini (domain knowledge) öğrenmek ve ağırlıklarını değiştirmek için giriş verilerini kullandığında buna eğitim veya öğrenme modu denir. Eğer YSA’ya uygulanan girişlere göre, ağın hemen cevap vermesi durumundaki moda, çalışma veya çoğu kez hatırlama (recall) modu da denir [Sağıroğlu ve ark., 2003].

#### 3.4.1. Off-line öğrenme

Ağların çoğu için off-line çalışma modu kullanılır. Bu yaklaşımda ağ farklı bir ortamda eğitilir. Eğitim sonucu elde edilen ağırlıklar ile ağın yapısı, daha sonra on-

line uygulamalarda kullanılabilir. Bu aşamada hiç bir öğrenme algoritması kullanılmaz sadece mevcut ağ parametreleri kullanılarak ileri yönde bir hesaplama yapılarak çıkış hesaplanır.

### **3.4.2. On-line öğrenme**

On-line veya gerçek zamanlı öğrenmede, sistem üzerinde bir öğrenme algoritması ve bu yapıyı destekleyen donanım ve yazılımlar mevcuttur. Bu yaklaşım daha çok farklı uygulamaların sıkça kullanıldığı ve öğretilecek sistemin devamlı olarak farklı davranışlar sergilediği uygulamalarda kullanılır. Bu ağ çalışma modunda öğrenme sürekli dir. Bu tip öğrenme daha karmaşık yapıların tasarımı için kullanılır ve maliyetleri yüksektir.

## **3.5. Öğrenmede Kullanılan Diğer Yaklaşımlar**

YSA'ları eğitmede yapı ve öğrenme algoritması seçiminin yanında farklı öğrenme yaklaşımları da kullanılır. Bu yaklaşımlar ve bu yaklaşımlarda kullanılan terminolojiler burada tanıtılmıştır.

### **3.5.1. Desen tabanlı eğitim (Pattern based training)**

Bu yaklaşımda, eğitim verilerinin YSA'ya her uygulandığında ağırlıklar değiştirilir. En çok kullanılan eğitim yaklaşımıdır. Literatürde anlık öğrenme, desen öğrenme ve artırılmış öğrenme gibi terimlerde bu eğitim yaklaşımı için kullanılmaktadır. Fakat anlık öğrenme ile desen öğrenme terimlerinin kolaylıkla farklı işlemler ile karıştırıldığı unutulmamalıdır.

Bu öğrenmede, başlangıçta ağırlıklar rastgele olarak atanır. Ağa uygulanan girişe göre çıkış elde edilir. Elde edilen çıkış değeri ile arzu edilen çıkış değeri arasındaki farka (hataya) göre ağırlıklar değiştirilir. Bu işlem öngörülen iterasyon sayısına kadar devam eder.

### 3.5.2. Grup eğitim (Batch training)

Bu eğitim yaklaşımı da, uygulamalarda oldukça sık kullanılan diğer bir yaklaşımdır. Literatürde *batch öğrenme* yerine *epok (epoch) öğrenme* terimi de sıkça kullanılmaktadır. Bu yaklaşımı diğerinden ayıran özellik, uygulanan her girişte ağırlıkların değiştirilmesi yerine tüm veri setinin tamamının ağa uygulanmasından elde edilen sonuç değere göre ağırlıklar değiştirilir [Sağıroğlu ve ark., 2003].

Bu öğrenmede, başlangıçta ağırlıklar rasgele olarak atanır. Ağa uygulanan girişe göre çıkış elde edilir. Elde edilen çıkış değeri ile arzu edilen çıkış değeri arasındaki fark alınarak hata değeri elde edilir. Ağa tekrar bir giriş uygulanır ve bir çıkış değeri elde edilir. Bu işlem örnek sayısı kadar tekrar edilir. Elde edilen bu hata değerleri sonuçta toplanır ve bu toplama göre ağırlıklar değiştirilir. Bunun yanında, 3 ve 5 gibi küçük adımlarda ağırlıkların değiştirilmesi yaklaşımları da literatürde mevcuttur. Klasik nümerik optimizasyon teknikleri grup (batch) öğrenme yaparlar. Klasik stokastik optimizasyon teknikleri ise, artırımlı algoritmalarıdır [Saad, 1998]. Batch ve artırımlı öğrenmeleri karşılaştıran teorik bir tartışma Bertsekas ve Tsitsiklis tarafından yapılmıştır [Bertsekas ve Tsitsiklis, 1996].

### 3.5.3. Artırımlı öğrenme

On-line ve off-line öğrenme yaklaşımlarının her ikisinde de çalışır. Öğrenmede herhangi bir ağırlık kümesi için amaç fonksiyonu hesaplanır. Böylece, eğitimde gelişmenin veya ilerlemenin olup olmadığı görülebilir ve istenilen doğruluk için amaç fonksiyonun minimum değerini hesaplanabilir. Ayrıca çoklu rastgele başlatmalı veya global optimizasyon algoritmalarında olduğu gibi yerel minimumlardan kaçınmak için farklı yaklaşımlar kullanılabilir.

### 3.5.4. Yapısal öğrenme (Constructive learning, growing networks)

Eğitim süresince ağa birimler veya bağlantılar eklenir. Tipik olarak yapısal öğrenme kısa süreli eğitilen saklı veya ara katmanı olmayan bir ağ ile başlar. Sonra ağırlıkları

değiştirmeksizin, ağa bir veya daha çok yeni ara katman eklenir, eğitim tekrarlanır ve işlem devam eder. En popüler yapısal öğrenme algoritması birçok değişime izin veren Kaskat Korelasyon (cascade correlation)'dur [Fahlman ve Lebiere, 1990; Littmann ve Ritter, 1996; Prechelt, 1997].

### 3.5.5. Ardışıl öğrenme

Bir çok on-line öğrenme algoritmaları, öğrenme oranı, amaç fonksiyonu yaklaşımları veya Hessian matrisi gibi ağırlıklara ilave edilen bilginin depolanmasına gereksinim duyarlar. Ardışıl öğrenmede ilave depolamaya izin verilmez. Bu öğrenme gerçek bir biyolojik beynin nasıl öğrendiğinin anlaşılması için bir model olduğundan önemlidir ve on-line öğrenmeden farklıdır.

## 3.6. Tek Katmanlı ve Çok Katmanlı İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

Bu bölümde tek katmanlı ve çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağları modelleri, bu modellere ait matematiksel ifadeleri ve karakteristik yapıları incelenecektir.

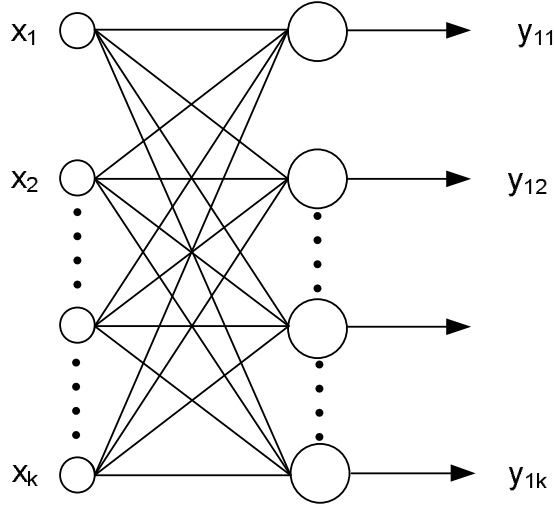
### 3.6.1. Tek katmanlı YSA'lar

Nöronlar, yapay sinir ağlarının yapı taşlarıdır. Tek katmanlı ileri beslemeli YSA olarak adlandırılan ağ yapısı en azından yukarıda söz edilen tipte bir nörondan oluşmaktadır. Şekil 3.10'da tek katmanlı YSA modelinin genel yapısı gösterilmiştir. Burada  $n$  tane giriş, giriş vektörünü  $x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$  oluşturmaktadır. YSA'nın tek katmanında  $k$  tane nöron bulunmaktadır.

Genelde nöron sayısı ile giriş sayısı birbirine eşit değildir ( $k \neq n$ ). Girişler her bir nöronun girişine uygun ağırlıklarla bağlanır. Her bir nöron, kendi girişleri ve sapmanın ağırlıklarını toplar ve bu toplamı kendi aktivasyon fonksiyonuna uygular. Bunu takiben tek katmanlı olarak tanımlanan YSA'nın  $k$  tane çıkışı, çıkış vektörü Eş.3.3 de verilmiştir.



$$y_1 = [y_{11}, y_{12}, y_{13}, \dots, y_{1n}] \quad (3.3)$$



Şekil 3.10 Tek katmanlı YSA

Çıkış vektörünün ifadesi Eş.3.4'de verilmiştir.

$$y_1 = F_1[w_{1x} + b_{B1}] \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;  $F_1$ , bu tek katmanın  $k$  elemanlı köşegen aktivasyon matrisidir ve bu katmanın net girişlerine bağlıdır.

$$F_1(S_1) = \text{diag}[f_1(S_1), f_1(S_2), \dots, f_1(S_k)] \quad (3.5)$$

Burada  $k$  düğümlerinin her birinin aktivasyon fonksiyonları eşit kabul edilmiştir.

$$f_{11} = f_{12} = f_{13} \dots = f_{1k} \quad (3.6)$$

$S_1$  net vektörü  $S_1 = [S_1, S_2, S_3, \dots, S_k]^T$  oluşturulur.  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_k$ ; sırasıyla 1, 2, ..., k. nöronlara karşılık gelir ve Eş.3.7'de verildiği gibi ifade edilir.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j(t) + b_i \quad (3.7)$$

Ayrıca  $W_1$  çıkış katmanının ağırlık matrisi, sinir ağının yapısına bağlı olarak,  $k$  satır  $n$  sütundan oluşturulmaktadır.

$$W_1 = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{k1} & W_{k2} & \cdots & W_{kn} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Genelde  $w_{ij}$  ;  $j$ . hedef düğüm ile  $i$ . kaynağın ağırlığını temsil etmektedir.  $B_1$  sapma vektörü tek katmanlı ağırlarda  $b_{11}, b_{12}, b_{13}, \dots, b_{1k}$  ; sırasıyla çıkış katmanının 1., 2., ...,  $k$ . düğümlerinin sapmalarıdır.

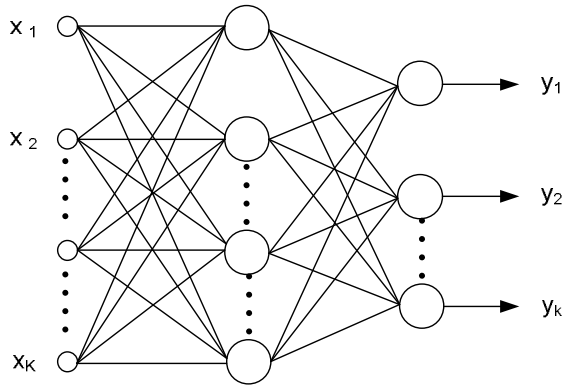
$$B_1 = [b_{11}, b_{12}, b_{13}, \dots, b_{1k}]^T \quad (3.9)$$

Tek katmanlı YSA sadece sınırlı sayıda sistemlerde kullanılır. Tüm doğrusal olmayan fonksiyonları temsil edemezler. Tek katmanlı YSA'nda aktivasyon fonksiyonu olarak keskin-sınırlayıcı fonksiyonu kullanıldığı zaman tek katmanlı perceptron adlı model meydana gelmektedir.

Bu model bazı sınıflandırma problemlerinde aktivasyon fonksiyonunun giriş uzayını iki bölgeye bölmesi ve çıkış uzayının giriş vektörüne bağlı olarak 1 ve 0 değerleri alması ile gerçekler. Tek katmanlı ağırlarda doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanıldığında doğrusal sınırlara sahip bir ağ oluşur. Bu sınırlar, ADALINE sınırlarından (Adaptive Linear Neurons) Widrow-Hoff sınırları olarak adlandırılır. Bu nöronlardan meydana gelen ağda adaptif öğrenme kullanılıyorsa ADALINE ağ veya MADALINE ağ olarak adlandırılır.

### 3.6.2. Çok katmanlı perceptron sinir ağı (ÇKP)

Çok sayıda katman içeren yapay sinir ağlarıdır. Çok katmanlı YSA'nda sinirler ayrı paralel katmanlara yerleştirilmişlerdir. Ağda ayrı katmanlara bağlantının sonucu olarak giriş ve çıkış arasındaki doğrusal olmayan eşleşmenin daha karmaşık olması mümkündür. Bu özellik sınıflandırma ve hatırlama uygulamalarında değişkenler arasındaki nonlinear ilişkiyi göstermek için kullanılır. Şekil 3.11'de çok katmanlı YSA'dan üç katmanlı bir yapay sinir ağı şeması verilmektedir.



Şekil 3.11 Çok katmanlı perceptron

İlk katman olan giriş katmanında hesaplama için nöronlar bulunmaz sadece birinci gizli katmandaki nöronları beslemek için girişler bulunur. Bu katmanı ikinci gizli katman ve diğer gizli katmanlar takip eder. En son olarak çıkış katmanı yer alır. Genel olarak giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katmanlar gizli katman olarak anılır. Aynı katmandaki düğümler arasında bir bağlantı bulunmamaktadır. Teorik olarak çok sayıda gizli katman bulunur. Fakat bu eğitilmiş ağın karmaşıklığını önemli derecede artırır. Bir veya iki gizli katmanlı ağlarda doğruluk, sağlamlık ve genelleştirme çoğu durumda sağlanmaktadır. Eğer tek gizli katman varsa gizli katmanda nonlinear aktivasyon fonksiyon, çıkış katmanında doğrusal aktivasyon fonksiyonu kullanılarak yeterli performans elde edilebilir. İleri beslemeli YSA'nda her nöron bitişikteki katmanın tüm nöronları ile bağlantılıdır ve diğer nöronlarla bağlantısı bulunmamaktadır. Katman içindeki bağlantılara izin verilmemektedir. Genelde farklı katmanların farklı nöron sayıları ve farklı ağırlıkları bulunmaktadır.

Gizli katman sayısının ve saklı katman nöron sayılarının belirlenmesinde genel bir kural yoktur. Belirlenme işlemi yapılan eşlemenin kompleksliğine bağlıdır. Giriş sayılarının ve çıkış sayılarının belirlenmesi tamamen probleme özgüdür. Nöronların ve bağlantılarının sayıları sinir ağının doğru olarak saklayabildiği örüntü sayısına kadar sınırlıdır.

### 3.7. YSA Öğrenme Algoritmaları

Bu bölümde literatür de son yıllarda farklı uygulamalarda kullanılan öğrenme algoritmaları incelenmiştir.

#### 3.7.1. Geri yayılım algoritması (Back propagation-BP)

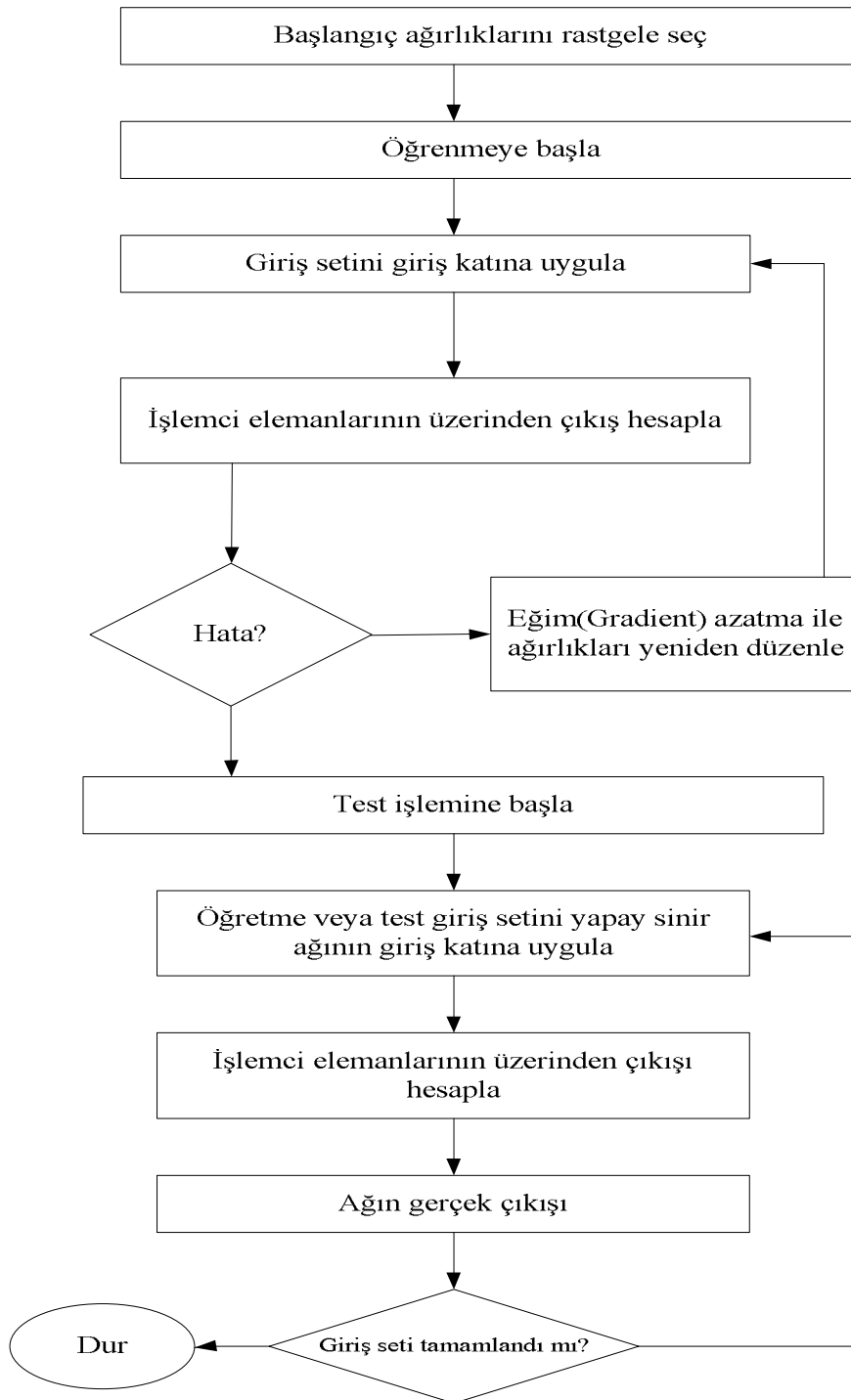
Uygulamalarda en yaygın ve en çok kullanılmış öğretim algoritmasıdır. Anlaşılması kolay ve matematiksel olarak kolayca ispatlanabilir olmasından dolayı en çok tercih edilen öğretim algoritmasıdır [Rumelhart ve ark., 1986]. Bu algoritma, hataları çıkıştan girişe geriye doğru azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır.

Geri yayılım algoritması, eğitim azalan ve ÇKP'leri öğretimde en çok kullanılan temel bir öğrenme algoritmasıdır [Rumelhart ve ark., 1986]. Akış şeması Şekil 3.12'de verilen algoritmaya göre eğitim ve test işlemi yapılır [Sağiroğlu ve ark., 2003].

Şekil 3.12'de verilen bu algoritma ile  $i$  ve  $j$  kat işlem elemanları arasındaki ağırlıklardaki  $\Delta w_{ji}(t)$  değişikliği hesaplanır.

$$\Delta w_{ji}(t) = \eta \delta_j x_i + \alpha \Delta w_{ji}(t-1) \quad (3.4)$$

Eş.3.10'da  $\eta$  öğrenme katsayısı,  $\alpha$  momentum katsayısı ve  $\delta_j$  ara veya çıkış katındaki herhangi bir  $j$  nöronuna ait bir faktördür.



Şekil 3.12 Geri yayılım algoritmasının akış şeması

Çıkış katı için bu faktör aşağıdaki şekilde verilir.

$$\delta_j = \frac{\partial f}{\partial net_j} (y_j^{(t)} - y_j) \quad (3.5)$$

Burada,

$$net_j = \sum x_j w_{ji} \quad (3.6)$$

ve  $y_j^{(t)}$   $j$  işlemci elemanın hedef çıkışıdır. Ara katlardaki nöronlar için ise bu faktör,

$$\partial_j = \left( \frac{\partial f}{\partial net_j} \right) \sum w_{qi} \partial_q \quad (3.7)$$

olarak verilir. Ara katlardaki nöronlar için herhangi bir hedef çıkış olmadığından, Eş.3.12 yerine Eş.3.10 kullanılır. Bu duruma bağlı olarak çıkış katından başlayarak  $\delta_j$  faktörü, bütün katlardaki nöronlar için hesaplanır. Daha sonra Eş.3.11'deki formüle bağlı olarak, bütün bağlantılar için ağırlıkların güncelleştirilmesi gerçekleştirilir.

Bu bir dereceli azalma algoritması olup, ÇKP yapılarını eğitmede kullanılan algoritmadır. Temelde istenilen çıkış ile ağ çıkışı arasındaki hatanın ağırlıklara bağlı olarak düşürülmesi prensibine dayanır.

Başarılı ve hızlı bir eğitim süreci için,  $\beta$  ve  $\alpha$  değerlerinin seçimi önemlidir. Geri yayılım öğrenme işlemi, bu iki katsayıdan fazlaca etkilenmektedir. Bu katsayılar için uygun değerlerin seçilmesi deneysel olarak belirlense de bu değerler, uygulamalara ve problemlere bağlıdır. Öğrenme katsayısı için tipik değerler, 0,01 ile 0,9 arasında değişir. Karmaşık ve zor çalışmalar için daha küçük değerlerin seçilmesi önerilir [Sağiroğlu ve ark., 2003].

### 3.7.2. Esnek yayılım algoritması (Resilient propagation-RP)

ÇKP'lerde, ara katmanda genellikle sigmoid transfer fonksiyonları kullanılmaktadır. Sonsuz genişlikteki bir aralıkta yer alan giriş değerlerini sınırlı bir aralığa sıkıştırdığı için bu fonksiyonlar sıkıştırıcı (Squashing) fonksiyonlar olarak adlandırılır. Sigmoid fonksiyonlar, eğilimleri çok büyük giriş değerleri için sifıra yakınsayacak şekilde karakterize edilirler. Bu ise ağırlık ve bias değerleri henüz optimum değerlere erişmemişken çok katmalı YSA'da sigmoid transfer fonksiyonlarının kullanılmasından dolayı eğim değerinin çok yavaş değişebilme olasılığı karşısında, yüksek eğim azaltma ile öğrenmede problemlere neden olur.

Bu öğrenme algoritmasının amacı kısmi türevlerin olumsuz etkilerini öğrenme sürecinden uzaklaştırmaktır. Bu algoritma Riedmiller ve Barun (1993) tarafından geliştirilmiştir. Ağırlıkların güncelleştirilme yönü için sadece türevlerin işaretleri kullanılır. Ağırlıkların güncelleştirilmesinde türev değerinin öneminin olmaması bu algoritmayı diğerlerinden ayıran en önemli özelliğidir. Bu özelliği RP'ye, hızlı çözüme ulaşma yeteneği kazandırır.

Ağırlıkların değişimi, her adımda hata fonksiyonu  $E(k)$ 'nin ağırlık değişim değeri  $A_{ji}(k)$ 'nin bulunmasıyla başarılır. Ağırlıklardaki değişim ise

$$\Delta w_{ji}(K) = \begin{cases} -A_{ji}(k) & \text{if } B(k) > 0 \\ +A_{ji}(k) & \text{if } B(k) < 0 \\ 0 & \dots \text{ else} \end{cases} \quad (3.8)$$

ile hesaplanır. Burada  $B(k) = \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}(k)$  ile hesaplanır.  $A_{ji}(k)$  ise

$$A_{ji}(k) = \begin{cases} \eta A_{ji}(k-1), & \text{if } B(k-1)B(k) > 0 \\ \mu A_{ji}(k-1), & \text{if } B(k-1)B(k) < 0 \\ A_{ji}(k-1), & \text{else} \dots \end{cases} \quad (3.9)$$

$$B(k-1) = \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}(k-1) \quad (3.10)$$

$\eta$  ve  $\mu$  sırasıyla  $0 < \mu < 1 < \eta$  arasında artma ve azaltma faktörleridir. Ardışık iki iterasyonda, performans fonksiyonu ile türev işaretleri aynı ise her bir ağırlık ve bias değeri için güncelleme faktörü değeri, birden büyük bir katsayı ile çarpılır. Eğer farklı işaretler söz konusu ise güncelleme faktörü değeri birden küçük bir katsayı faktörü kadar azaltılır. Türev değeri sıfır ise güncelleme değeri sabit kalır. Ağırlıklar salınım yaptığında, ağırlık değişimi azalacaktır. Eğer ağırlıklar birkaç iterasyon boyunca aynı yönde değişim gösterirse ağırlık değişimi artar. Bu öğrenme algoritması genel olarak standart yüksek eğim azaltma algoritmalarından çok hızlıdır. Hafızada eski değerlerin saklanması gerektirmez.

### 3.7.3. Hızlı yayılım algoritması (Quick propagation-QP)

Hızlı yayılım (QP) algoritması, Fahlman tarafından geliştirilen ve Newton metoduna dayanan, ÇKP'lerin eğitilmesi için kullanılan sezgisel bir algoritmadır [Fahlman, 1988].

Sezgisel algoritmalar, tecrübeye ve eğitilmiş tahmine dayalı kurallar içermektedir. Bu algoritmalar optimum çözümü garanti edemeyip sadece ona yakın çözümü bulmayı garanti etmektedir.

Sezgisel metotların bazı üstünlükleri;

- Karar verici mekanizma için sadeleştirici olmaları,
- Herhangi bir tam yöntemin parçası olarak öğrenme amacıyla kullanılabilmeleri,
- Gerçek dünya problemleri için her zaman matematiksel formülasyon oluşturmanın kolay olamaması,
- Basitleştirme sonucu oluşan hata, bir sezgisel metodun sağladığı en iyileme (optimal) çözümün sahip olduğu hatadan daha büyük olabileceğidir.



Problem uzayında mümkün olan en kısa sürede, bir çözüm bulmak için ağırlık uzayında eğimi (gradiyent) son derece küçük tutmak gerekebilir. Bunun yerine çözümden fazla uzaklaşmaksızın mümkün olan en büyük adımlarla kısa sürede çözüme ulaşmak arzu edilir. Hata fonksiyonunun eğim derecesi biliniyorsa, güvenli bir şekilde ağırlık uzayında daha büyük adımla çözüme ulaşılabilir. Bu algoritmada iki geleneksel yaklaşım birleştirilerek çözülmüştür. Bunlar;

- Hesaplamanın geçmişteki durumu hakkında bazı sezgilere dayanan (genel veya her bir ağırlık için ayrı) ağırlıkların dinamik olarak ayarlanması.
- Her bir ağırlığa göre hatanın ikinci türevinin belirgin kullanımı

Hızlı yayılım algoritması ikinci dereceli bir metottan daha sezgiseldir ve Newton-metoduna biraz benzeyen bu metotta iki kabul kullanılır.

- Her bir ağırlık için, ağırlık hata eğrisi kolları yukarı doğru açık olan bir parabol ile yaklaştırılabilir.
- Hata eğrisindeki değişim, diğer tüm ağırlıkların aynı andaki değişiminden etkilenmez.

Bahsedilen parabol, birbirinden bağımsız her bir ağırlık için o andaki ve önceki hata eğimleri ve bu eğimlerin ölçüldüğü noktalar arasındaki değişim kullanılarak belirlenir. Daha sonra, algoritma doğrudan bu parabolün minimum noktasına atlar.

Genellikle hızlı yayılım algoritmasının performans testleri diğer tekniklerle karşılaştırıldığında oldukça iyidir. Bu algoritma, özellikle gürültü seviyesi az olan veriye sahip problemlerde, EDBD kadar iyi sonuç vermektedir. Hızlı yayılım algoritması gürültü seviyesi fazla olan problemlerde çok iyi çalışır ancak gürültülü verilerin bulunduğu problemlerde EDBD kullanılmalıdır [NeuralWare Handbook, 1996]. Bu algoritmada ağırlık hızlandırma ve kırılması ihmal edilerek  $k-1$  den  $k$ 'ye kadar ağırlıklardaki değişim, Eş.3.11 ile ifade edilir. Burada  $\epsilon$  öğrenme katsayısı ve  $\alpha$  ise momentum katsayısıdır.

$$\Delta w(t) = \varepsilon L(t) + \alpha Q(t) \quad (3.11)$$

$$L(t) = \begin{cases} h(t) & \text{if } h(t)h(t-1) \geq 0 \\ 0 \dots \dots \text{else} \end{cases} \quad (3.12)$$

$$Q(t) = \begin{cases} \mu \Delta w(t-1) & \text{if } h(t) \left( h(t) - \left( \frac{\mu}{\mu+1} \right) h(t-1) \right) \geq 0 \\ \Delta q(t) \dots \dots \dots \text{else} \end{cases} \quad (3.13)$$

Bu ifadelerde  $\mu$  momentum büyüme faktörüdür. Eş.3.14 eğimi, Eş.3.15 ise minimum adım miktarını göstermektedir.

$$h(t) = \frac{\partial E}{\partial w(t)} \quad (3.14)$$

$$\Delta q(t) = \frac{\Delta w(t)h(t)}{h(t-1) - h(t)} \quad (3.15)$$

Buradan ağırlık fonksiyonunu güncelleştirmek için, delta ağırlık fonksiyonu ve ağırlık hızlandırma katsayısı işleme katılır.

$$w(t) = (1 - \delta)w(t-1) + \Delta w(t) \quad (3.16)$$

Burada  $\delta$  hızlandırma katsayısıdır. Son olarak ağırlık çok küçük ise, 0 alınarak kırılır.  $|w(t)| < K$  ise  $w(t) = 0$  alınır. Burada, K ağırlık kırılma faktörüdür.

### 3.8. Performans Fonksiyonu Seçimi

YSA eğitim işlemlerinde eğitimin başarısını ölçülendirmek için kullanılan performans fonksiyonları vardır. Bu fonksiyonlar öğrenme performansını etkiler. Eğitimde verilerin işleme alınmasını sürdürmek için kullanılan iki kriterden birisi

öğrenme sayısı (iterasyon) değeri de performans fonksiyonu değeridir. Performans fonksiyonunun belirlenen değerine eğitimin ulaşması halinde eğitime son verilir. İleri beslemeli ağlarda kullanılan tipik performans fonksiyonu karesel ortalama hata (MSE: mean square error) Eş.3.22’de verilen formül ile hesaplanır.;

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (3.17)$$

İleri beslemeli ağlarda kullanılan tipik performans fonksiyonlarından bir değeri de toplam karesel hata (SSE: sum square error) olup Eş.3.23’de verilmiştir.

$$SSE = \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2 \quad (3.18)$$

Bu ağlarda kullanılan diğer bir performans fonksiyonu ise karesel ortalama hata karekök (RMS: root mean square) hata fonksiyonudur. Bu fonksiyon ise Eş.3.24’de verilmiştir.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - td_i)^2} \quad (3.19)$$

Performans fonksiyonuna ağın, biasların ve ağırlıkların kareleri toplamının ortalama değerini ifade eden bir terim eklenerek genelleştirme iyileştirilebilir. Bu ağı daha hassas davranmaya zorlar ve ağın, öğrenme kümesi haricindeki veriler içinde sağlıklı bir genelleme yapmasını engelleyebilir (overfitting).

### 3.9. Sayısal Hızlandırma Teknikleri

Geri yayılım tekniği uygulandığında iyi bir yakınsama elde edilir. Bununla birlikte, pratikte bir YSA çoğu kez yavaş öğrenir veya bütünüyle öğrenmeyi reddeder. Bu meydana geldiği zaman, sayısal hızlandırma tekniklerinden biri kullanılmalıdır.

### 3.9.1. Momentum metodu

Geri yayılım algoritması adım adım azalan bir metottur. Bununla birlikte, eğer lokal minimal başlangıç noktası ile optimal çözüm arasında olmakta ise adım adım azalma metotları problemlere eğilimlidirler. Bu hemen hemen her zaman YSA'nda az gizli nöron olması durumuna bağlıdır.

Geri yayılımın bir noktaya yönelmesi olarak eğer bu yerel minimal noktasına rastlanmış ise bu onun öğrenme oranını azaltacaktır ve öğrenme bir düzeyde tamamen duracaktır. Bu kabul edilemez ve bu davranış öğrenme eğrisi tarafından gösterilir.

Momentum metodu olarak isimlendirilen başarılı bir teknik yerel minimal değere bağlı bu zorlukların üstesinden gelmektedir. Bu durumda su anki ( $k$ ) ağırlık uydurulması, en son ( $k-1$ ) ağırlık uydurulmasının bir kısmı ile eksikleri giderilebilir. Bu kısım momentum terimi olarak isimlendirilir.

$$\Delta w_{ji}(k) = \Delta w_{ji}(k) + \alpha \Delta w_{ji}(k-1) \quad (3.20)$$

Burada  $w_{ji}(k)$  D daha önceki bölümlerde tartışılan  $-\eta(\partial E - \partial w_{ji})$ 'den elde edilen ağırlık düzeltilmesidir ve  $\alpha w_{ji}(k-1)$  momentum terimidir. Eş.3.25'de  $\alpha$  momentum katsayısı 0 ile 1 aralığındadır [Sesveren, 2008].

### 3.9.2. Topoloji uydurulması

Bazı zamanlar hiç bir sayısal hızlandırma tekniği YSA'nın öğrenmesinde yardımcı olamayabilir. Bu durumlarda, çözüm iç bağlantıların sayılarının, aktivasyon fonksiyonunun değiştirilmesi ile elde edilir. Bununla birlikte, doğrudan gerekli sayıları belirleyebilecek herhangi bir teknik yoktur. İç bağlantılar eklemek bazı zamanlar, rastlanan yerel minimal sayısının azaltılmasında etkilidir. Bununla birlikte, iç bağlantılarının sayılarının artırılması genel hesaplama zamanını da artıracaktır [Sağiroğlu ve ark., 2003].

### 3.9.3. Dinamik öğrenme

Öğrenme katsayısının ( $\mu$ ) geri yayılım algoritmasının etkinliğinde ve yakınsamasında direkt ve dikkate değer bir etkisi vardır. Genelde, öğrenme katsayısının optimum değeri çözülecek problem tipine bağlıdır.

Eğitim başladığı zaman, çoğu kez küçük öğrenme katsayısı kararsız YSA'dan kaçınılması için gereklidir. Bununla birlikte, daha sonraları, ağ bir çözüme ulaştığı görülürse, daha yüksek öğrenme katsayısı kullanılabilir [Sağiroğlu ve ark., 2003].

### 3.10. YSA Eğitimi İçin Verilerin Hazırlanması (Normalizasyon)

Geri yayılımda eğitim kümesi, test kümesi ve gerçek veri olmak üzere üç tip veri kullanılır. Eğitim kümesi, YSA'nın uygun ağırlıklarının konfigürasyon edilmesinde kullanılır. Doğru ağırlıklı YSA, test kümesi ile test edilir. Test kümesi eğitim kümesinin birinci altkümesidir. Eğer YSA eğitim kümesini ezberlemiyorsa, test verisinin uygulanmasında başarıya ulaşılmıştır. Böylelikle YSA gerçek problemlere (özel gerçek verilere) uygulanabilir. Eğitim veri kümesinin çok önemli bir rolü vardır ve özenli bir seçim gerektirmektedir. YSA ile gösterilen bilgi ancak onun eğitiminde kullanılan veri gibidir.

Verinin hazırlanması üç adım gerektirmektedir: Verinin ayrıntıları, verinin denetlenmesi ve verinin ön işleme. Bazı zamanlar ilk adım en güç olanıdır. Özgül problem hakkında neyin önemli olduğu ile etkilenirler. Açıkça problemin bütünüyle YSA ile belirtilmesi önemlidir. Bununla birlikte; her giriş karakteristiği YSA'nda giriş düğümü olarak gösterildiğinden ve çok sayıda giriş karakteristiği geniş bir YSA'ya gereksinim duyulduğundan YSA'nın karakteristiklerin her tipini içermesi mümkün değildir. Genelde geniş bir YSA, daha fazla hesaplama gücü gerektirir ve çevrim daha yavaş olur. YSA'nın sadece giriş-çıkış ilişkisinin öğrenilmesinin mümkün olduğu girişlere gereksinimi bulunmaktadır. Eğitim başladıktan sonra, YSA'nın birkaç çevrim sonunda giriş katmanına bağlı ağırlıklar bazı sonuçlar

vermektedir. YSA tarafından gereksinim duyulmayan herhangi bir ağırlık, gerçekten ihtiyaç duyulan diğer ağırlıklarla karşılaştırıldığında küçük ağırlıklara sahiptir.

Veri hazırlamanın ikinci aşamasında eğitim kümesinden herhangi sahte verilerin dışarı atılması için olağan olmayan davranışlar aranmak üzere veri gözden geçirilir. Veri hazırlanmasında son aşamada; YSA'nın girişleri için verinin normalizasyonu gerekmektedir. Geriyayılım YSA'da 0 ile 1 aralığında veri tercih edilir. Veri normalizasyonu için, eğitim kümesindeki her girişin tipik aralığı göz önüne alınmak zorundadır. Çeşitli yollarla normalize değerler ( $n_v$ ) tanımlanabilir. Eş.3.26'da bir normalizasyon yöntemi görülmektedir.

$$n_v = \frac{\text{gerçek değer} - \text{minimum değer}}{\text{maksimum değer} - \text{minimum değer}} \quad (3.21)$$

Geri yayılım YSA'nın eğitilmesi için gereken veri sayısı da önemli bir faktördür. Eğer problem alanı kompleks ise, daha geniş veriye ihtiyaç vardır.

### 3.11. Yapay Sinir Ağlarının Karakteristik Özellikleri

Yapay sinir ağları, insanlar tarafından gerçekleştirilmiş gerçek beyin fonksiyonunun ürünü olan örnekleri kullanarak olayları öğrenebilen, çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üreteceğini belirleyebilen sistemlerdir. İnsan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde;

- Öğrenme
- İlişkilendirme
- Sınıflandırma
- Genelleme
- Özellik belirleme
- Optimizasyon

gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.

Yapay sinir ağıları örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturarak, benzer konularda çok yüksek doğruluklarda karar verebilirler. Bu özellikleri ile yapay sinir ağıları günümüzde bir çok probleme çözüm üretebilecek yeteneğe sahiptirler.

Yapay sinir ağıları birbirlerine hiyerarşik olarak bağlı ve paralel çalışabilen yapay hücrelerden oluşmaktadır. Bir yapay sinir ağının en temel görevi kendisine gösterilen bir girdi setine karşılık gelecek bir çıktı seti üretmektir. Bunu yapabilmesi için ağın, ilgili olayın örnekleri ile eğitilerek, genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulması gerekmektedir. Bu genelleme yetisi ile benzer olaylara karşılık çıktı setlerinin üretilmesi sağlanır. Ağı oluşturan proses elemanları, bunların bilgileri işleme yetenekleri ve birbirleri ile bağlantılarının şekilleri değişik YSA modellerini oluşturmaktadır. Bu nedenle YSA'lar olaylar hakkında bilgilerin olmadığı fakat örneklerin bulunduğu durumlarda çok etkin olarak kullanılabilen bir karar verme ve hesaplama aracı olmaktadır.

Yapay sinir ağıları makine öğrenmesi gerçekleştirirler. En temel işlevleri bilgisayarların öğrenmesini sağlamaktır. Mevcut olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında, benzer kararlar verebilmeleri en karakteristik özellikleridir. Ayrıca YSA programlarının çalışma stili bilinen diğer programlama yöntemlerine benzememektedir. YSA programlarını diğer programlama yöntemlerinden ayıran en temel fark bilgi işleme yöntemleridir. YSA'larda bilgi, ağın bağlantılarının değerleri ile ölçülmekte ve bağlantılar üzerinde saklanmaktadır. Diğer programlama dillerinde olduğu gibi verilerin bir veri tabanı yada program içerisinde gömülü bulunması söz konusu değildir.

Yapay sinir ağlarının olayları öğrenebilmesi için o olay ile ilgili örneklerin önceden belirlenmesi gerekmektedir. Yani ağı eğitebilecek örneklerin bulunmadığı bir durumda YSA'nın eğitilmesi ve çözüm üretmesi mümkün değildir. Ağın eğitiminde kullanılacak olan örneklerin olayı tam anlamı ile ifade edebilmesi çok önemlidir. Eğer olay ağa bütün yönleri ile gösterilemezse başarılı sonuçlar elde edilemez. Bu

nedenle örneklerin oluşturulması ve toplanması YSA biliminde özel bir öneme sahiptir.

YSA'ları eğitecek örnek veriler elde edildikten sonra güvenle çalıştırılabilmeleri için hassas bir eğitim ve performans testinden geçirilmeleri gerekmektedir. İlk olarak elde edilen veriler iki bölüme ayrılır. Bu bölümlerden biri eğitim aşamasında kullanılırken, diğeri ağın performansını test etmek için kullanılır. Eğitim aşamasında her bir örnek ağa tek tek gösterilerek, ağın kendi mekanizmaları vasıtasıyla örnek olayın örüntülerini kavraması sağlanır. Ağ bütün örneklerle kabul edilebilir sınırlar çerçevesinde doğru cevaplar verdiği anda eğitim işleminin tamamlandığı kabul edilir. Daha sonra test için ayrılan veriler ağa gösterilir. Ağ daha önce hiç görmediği örneklerle kabul edilebilir doğrulukta cevaplar veriyorsa kullanıma alınır. Eğer ağın performansı belirlenen kriterlere uymazsa ağı modifiye ederek yeni verilerle eğitmek gerekir. YSA'lar ayrıca algılamaya yönelik olaylarda kullanılabilirler. Ağlar daha çok algılamaya yönelik bilgileri işlemede kullanılırlar. Bilgiye dayalı sistem çözümlerinde ise genellikle uzman sistemler tercih edilmektedir.

YSA örüntü ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler. Genel olarak ağların çoğunun amacı kendisine örnekler halinde verilen örüntülerin kendisi veya diğerkleri ile ilişkilendirilmesidir. Diğerk bir amaç ise sınıflandırma yapmaktır. Verilen örneklerin kümelendirilmesi ve belirli sınıflara ayrıştırılarak daha sonra gelen bir örneğin hangi sınıfa gireceğine karar vermesi hedeflenmektedir. Ayrıca YSA'lar örüntü tamamlama gerçekleştirebilirler. Bazı durumlarda ağa eksik bilgileri içeren bir örüntü (pattern), veya bir şekil verilir. Ağın bu eksik bilgileri bulması istenir. Bu tür olaylarda yapay sinir ağları çok etkin çözümler üretmektedir.

YSA kendi kendini organize etme ve öğrenebilme yeteneğine sahiptir. YSA'ların örnekler ile kendisine gösterilen yeni durumlara adapte olması ve sürekli yeni olayları öğrenebilmesi mümkündür. YSA'lar ayrıca kendileri eğitildikten sonra eksik bilgiler ile çalışabilir ve gelen yeni örneklerde eksik bilgi olmasına rağmen sonuç üretebilirler. Yapay sinir ağlarının eksik bilgiler ile çalışması performanslarının düşeceği anlamına gelmez. Performansın düşmesi eksik olan bilginin önemine



bağlıdır. Hangi bilginin önemli olduğunu ağ (network) kendisi eğitim sırasında öğrenmektedir. Kullanıcıların bu konuda bir fikri yoktur. Ağın performansı düşük olunca, kayıp olan bilginin önemli olduğuna kararına varılır. Eğer ağın performansı düşmez ise eksik olan bilginin önemli olmadığı anlaşılır. Bu yetenekleri dolayısıyla YSA'lar hatalara karşı tolerans gösterirler. Ağın bir yada birden fazla kısmının bozulması yada çalışamaz duruma gelmesi durumunda bile ağ çalışmaya devam eder. Ağın bozuk olan hücrelerinin sorumluluklarının önemine göre ağın performansında düşmeler görülecektir. YSA'lar zaman içerisinde ağın hücrelerinin eksik bilgiler vb. nedenlerle yıpranması sebebi ile göreceli olarak bozulma gerçekleştirirler.

YSA'lar sadece nümerik bilgiler ile çalışmaktadırlar. Sembolik olarak elde edilen bilgilerin ağa nümerik olarak gösterimi mecburdur. Ayrıca YSA'larda bilgi ağın tamamına yayılmış bir şekilde bulunmaktadır. Hücrelerin birbirleri ile olan ağırlıklarının değerleri ağın bilgisini temsil etmektedir. Yani bir ya da birden fazla hücreye ait bilgi, ağın bütünü temsil etmemektedir. Bu nedenle YSA'lara kara kutu benzetmesi yapılmaktadır [Öztemel, 2003].

### **3.12. Yapay Sinir Ağlarının Dezavantajları**

Yapay sinir ağlarının yukarıda belirtilen birçok avantajlı özelliklerinin yanı sıra dezavantajları da vardır. Yapay sinir ağlarının donanım bağımlı çalışmaları önemli bir sorun olarak görülebilir.

Ağların temel varoluş nedenlerinden biriside paralel işlemciler üzerinde çalışabilmeleridir. Ağların özellikle, gerçek zamanlı bilgi işleyebilmeleri paralel çalışabilen işlemcilerin varlığına bağlıdır. Günümüzdeki makinelerin çoğu seri şeklinde çalışabilmekte ve eş zamanlı olarak sadece tek bir bilgiyi işleyebilmektedir. Paralel işlemcileri seri makinelerde yapmak ise zaman kaybına yol açmaktadır. Bunun yanı sıra bir ağın nasıl oluşturulması gerektiğini belirleyecek kuralların olmaması da başka bir dezavantajdır. Her problem farklı sayıda işlemci gerektirebilir. Bazı problemleri çözebilmek için gerekli olan paralel işlemcilerin tamamını bir arada (paralel olarak) çalıştırmak mümkün olmayabilir.

Probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi genellikle deneme yanılma yolu ile yapılmaktadır bu ise önemli bir problemdir. Çünkü eğer problem için uygun bir ağ oluşturulmaz ise çözümü olan bir problemin çözümlenmemesi veya performansı düşük çözümlerin elde edilmesi söz konusu olabilir. Bu aynı zamanda bulunan çözümün en iyi çözüm olduğunu da garanti etmez. Yani yapay sinir ağları kabul edilebilir çözümler üretebilir. Optimum (en iyi) çözümü garanti etmez.

Bazı ağlarda ağın parametre değerinin, mesela öğrenme katsayısı, her katmanda olmaması gereken proses elemanı (yapay hücrelerin) sayısı, katman sayısı vb. belirlenmesinde de bir kural olmaması diğer bir etken olarak görülebilir. Bu iyi çözümler bulmayı zor durumda bırakan bir etken olarak görülebilir. Bu parametrelerin belirlenmesi de kullanıcının tecrübesine bağlıdır. Her problem için ayrı faktörleri dikkate almayı gerektirmektedir. Bu parametre değerleri için belirli standartların oluşturulması çok zor olduğundan her problem için ayrı ayrı değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu da önemli bir dezavantaj olarak görülebilir.

Ağın öğreneceği problemin ağa gösterimi de çok önemli bir problemdir. Yapay sinir ağları yukarıda belirtildiği gibi sadece nümerik bilgiler ile çalışmaktadır. Problemin nümerik gösterime dönüştürülmesi lazımdır. Bu ise kullanıcıların becerisine bağlıdır. Uygun bir gösterim mekanizmasının kurulamamış olması problemin çözümünü engelleyebilir veya düşük performanslı bir öğrenme elde edilebilir. Problemin nümerik gösterimi mümkün olsa bile bunun ağa gösteriliş şekli problemin başarılı bir şekilde çözümlenmesini yakından etkiler. Örneğin bir olay hem ayrık (binary-ikili) hem de sürekli değer ile gösterilebilir. Bunun hangisinin daha başarılı bir öğrenme gerçekleştireceği ise bilinmemektedir. Bu konuda, kullanıcının tecrübesi de yeterli olmayabilir. Bu günümüzde birçok olayın yapay sinir ağları ile çözümlenmemesinin en önemli nedenlerinden birisidir.

Ağın eğitiminin ne zaman biteceğine karar vermek için de geliştirilmiş bir yöntem yoktur. Ağın örnekler üzerindeki hatasının belirli bir değerin altına indirilmesi eğitimin tamamlanması için yeterli görülmektedir. Fakat neticede optimum öğrenmenin gerçekleştiği söylenememektedir. Sadece iyi çözümler üretebilen bir ağ

oluşturdu denilmektedir. Optimum neticeleri veren bir mekanizma henüz geliştirilememiştir. Bu konuda oldukça önemli olup çözülmesi için araştırmalar gerekmektedir.

Bir diğer ve en önemli problem ise ağın davranışlarının açıklanamamasıdır. Bir probleme çözüm üretildiği zaman bunun nasıl ve neden üretildiği konusunda bir bilgi bulmak mümkün değildir. Bu ise ağın sonucuna duyulan güveni azaltmaktadır.

Bütün bu dezavantajlara rağmen yapay sinir ağları tarafından her problem için değişik şekilde çözümler üretilebilmekte ve başarılı uygulamalar oluşturmak mümkün olabilmektedir. Bu nedenle, bu dezavantajları, yapay sinir ağlarına olan ilgiyi düşürmek için görmemek gerekir. Ağların bu dezavantajlardan kurtularak problemlere çözüm üretebilmesi için ağların oluşturulmasının titizlik ile gerçekleştirmek gerekmektedir. Hem çözülecek olan problemler hem de yapay sinir ağları konusunda yeterli oranda bilgi sahibi olmak başarılı sonuçlar elde edilebilmesini sağlayabilir. Yapay sinir ağı geliştirecek uygulamacıların bu gerçeği göz ardı etmeden problemlere çözüm üretecek bir ağ oluşturmanın mümkün olabileceğini, fakat bunun o kadar kolay olmayacağını bilmesi gerekmektedir [Öztemel, 2003].

### **3.13. YSA Uygulama Alanları**

Yapay sinir ağları günümüzde geliştirilmiş en güncel ve en mükemmel görüntü tanıyıcı ve sınıflandırıcılarından biridir. YSA'ları bu kadar popüler yapan en önemli etken ise eksik bilgiler ile çalışabilme ve normal olmayan verileri işleyebilme yetenekleridir. Özellikle çok sayıda veriyi aynı anda işleme gerektiren (radar verileri gibi) işlerde çok avantajlı sonuçlar üretebilmektedir. Günümüzde birçok problem aslında şekil tanıma problemi haline getirilmekte ve ondan sonra çözümlenmektedir. Bu nedenle, yapay sinir ağlarının kullanılabileceği birçok alan vardır. Endüstriyel ve sosyal hayatta görülen binlerce örnek ile başarılı oldukları gösterilmiştir. Fakat her problemi yapay sinir ağı ile çözmek mantıklı olmayabilir. Eğer herhangi bir problemin çözümü için yeterli etkinlikte ve verimlilikte çözüm

yöntemi söz konusu ise yapay sinir ağlarının kullanılmasının bir anlamı yoktur. İlgili olay hakkında örneklerin olmayışı ya da bulunamayışı da bu ağları kullanmamak için önemli bir nedendir. Bir problemin yapay sinir ağı ile çözülmesi için şu şartlardan birinin sağlanması gerekir.

- Sadece yapay sinir ağları ile problemlere pratik çözümler üretebilme durumunun söz konusu olması gerekir.
- Başka çözüm yolları olmasına rağmen yapay sinir ağlarının daha kolay ve daha etkin çözümler üretebilmesinin sağlanması gerekmektedir.

Başarılı uygulamalar incelendiğinde yapay sinir ağlarının doğrusal olmayan, çok boyutlu, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu, hata olasılığı yüksek sensör verilerinin olması ve problemin çözümü için özellikle bir matematik modelinin ve algoritmanın bulunmaması hallerinde yaygın olarak kullanıldıkları görülmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş ağlar genel olarak şu fonksiyonları yerine getirmektedir.

- Sınıflandırma
- İlişkilendirme ve görüntü eşleştirme
- Zaman serileri analizleri
- Sinyal filtreleme
- Veri sıkıştırma
- Örüntü tanıma
- Doğrusal olmayan sinyal işlemi
- Doğrusal olmayan sistem modelleme
- Optimizasyon
- Zeki ve doğrusal olmayan kontrol

Yukarıda listelenen konularda teorik uygulamaların ötesinde günlük hayatta kullanılan finansal konulardan mühendisliğe ve tıp bilimine kadar birçok uygulamadan bahsetmek mümkündür. Bunlardan bazıları şöyle sıralanabilir:

- Veri madenciliği
- Optik karakter tanıma ve çek okuma
- Bankalardan kredi isteyen müracaatları değerlendirme
- Ürünün pazardaki performansını tahmin etme
- Kredi kartı hilelerini saptama
- Zeki araçlar ve robotlar için optimum rota belirleme
- Güvenlik sistemlerinde konuşma ve parmak izi tanıma
- Robot hareket mekanizmasının kontrol edilmesi
- Mekanik parçaların ömürlerinin ve kırılmalarının tahmin edilmesi
- Kalite kontrolü
- İş çizelgeleme ve iş sıralaması
- İletişim kanallarındaki trafik yoğunluğunu kontrol etme ve anahtarlama
- Radar ve sonar sinyallerini sınıflandırma
- Üretim planlama ve çizelgeleme
- Kan hücreleri reaksiyonları ve kan analizlerini sınıflandırma
- Kanserin saptanması ve kalp krizlerinin tedavisi
- Beyin modellenmesi çalışmaları

Bu örneklerin çoğaltılması mümkündür. Yukarıda bahsedilen örnekler yalnızca genel olarak hangi alanlarda kullanılacaklarını göstermek amacıyla verilmiştir; yoksa hemen hemen her alanda örneklerini görmek mümkündür. Çünkü gerçek hayatta kullanılan sistemlerin çoğu doğrusal olmayan modellemeler gerektirmektedir. Bu ise geleneksel yöntemler ile çözüm üretilmesini zorlaştırmakta bazen de imkansızlaştırmaktadır [Öztemel, 2003].

#### **4. BENZETİM VE UYGULAMA ÇALIŞMALARI**

Günümüze yapay sinir ağları uygulamalarının çok büyük bir çoğunluğu yazılım teknolojisi üzerine geliştirilen çalışmalar olarak görünmektedir [Öztemel, 2003]. Belirli bir modelin yazılımı gerçekleştirilmekte ve seri bilgisayarlarda çalıştırılarak sorunların çözümlenmesi istenmektedir. Oysaki yapay sinir ağlarının paralellik gibi bazı özelliklerinin gösterilebilmesi için özel donanım teknolojisine ihtiyaçları vardır. Yazılım ve donanımın birbirlerini destekleyici bir şekilde geliştirilmesi, donanım araçlarının, yazılımdan beklenen performans ölçütlerini karşılar nitelikte olması ve nihayetinde en düşük maliyet ile en yüksek verim hedefi vazgeçilmez öğeler arasındadır.

Bu bölümde YSA denetimli senkron motor ile reaktif güç kompanzasyonu uygulamasını sözü geçen kriterler doğrultusunda gerçekleştirmek için tasarlanan bilgisayar yazılımı, ara yüz ve donanımlar irdelenecektir.

##### **4.1. Bilgisayar Yazılımı ve Ara Yüz**

Günümüzde bilgisayarların kullanım alanları büyük ölçüde artmıştır. Dolayısıyla işlerin daha hızlı ve düzenli bir şekilde yapılması, bilgisayarları ve bilgisayar araçlarının ne kadar iyi ve verimli kullandığı ile doğru orantılıdır. Bu hız ve performanstan faydalanmak için de çeşitli amaçlara göre yazılan programlar kullanılır. Program, bilgisayarın belli bir işi yapması için tasarlanan komutların tümü olarak tanımlanabilir. Programların kullanılmasındaki temel amaç ise girilen veri ya da veri setlerinin işlenip sonuçların istenen şekilde üretilmesidir. Üretilen sonuçların harici aygıtlara aktarılması içinse çeşitli protokol ve yöntemlerle bilgisayar-aygıt ve aygıt-bilgisayar arası iki yönlü iletişim kurulması gerekmektedir.

Bilgisayar ve aygıt arasında iki yönlü iletişim gerçekleştirilirken bu süreci yönetecek ve denetleyecek kullanıcı içinde basit, anlaşılır ve fonksiyonel bir ara yüz tasarlanması gerekmektedir.

Bir kullanıcı ara yüzünün “*kullanıcı-dostu*” olarak adlandırılabilmesi için bazı temel beklentileri yerine getirmesi gerekir. Çok fazla işlevi bir arada sunan sistemlerde istenilen işlevin bulunması kullanıcı açısından oldukça zaman alıcı olacaktır. Ayrıca gerçekleştirilen ara yüz kolaylıkla anlaşılabilir olmalıdır. Kullanıcı ara yüz ile çalışmaya başladığı ilk anda hangi amaç için tasarlandığını kolaylıkla anlayabilmelidir. Ara yüz içerisinde yetkilendirildiği ölçüde gezinebilen kullanıcı dilediği noktada sistemin yardımına da başvurabilmelidir. Kullanıcının gerçekleştirdiği herhangi bir düzenlemeyi dilediği anda geri alabilmesi de önemli beklentiler arasındadır. Bunun yanı sıra bir ara yüz gerçekleştirdiği ve gerçekleştirmeye devam ettiği süreçler hakkında kullanıcıyı daima bilgilendirmelidir.

#### 4.1.1. Ana sayfa

Şekil 4.1’de Visual Studio.Net ortamında hazırlanan YSA eğitim ve uygulama programına ait ana sayfa ekranı görülmektedir.

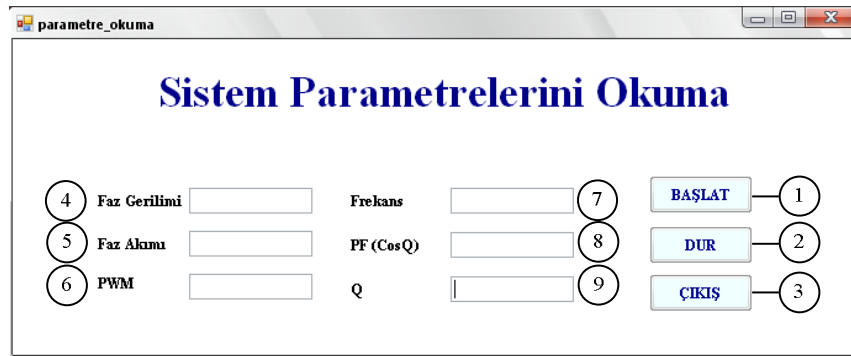


Şekil 4.1 Bilgisayar programı ana sayfa görüntüsü

Ana sayfa ekranı üzerinde bulunan butonlar vasıtasıyla alt menülere geçmek mümkündür. 1 numara ile gösterilen buton kullanıcıyı, senkron motora ait parametrelerin on-line okunarak bir veri tabanında kaydedildiği “Parametre Okuma” alt menüsüne götürmektedir. 2 numaralı buton ise YSA eğitim ve performans testlerinin yapıldığı “YSA Eğitim” alt programına geçişi sağlamaktadır. 3 numaralı buton ise eğitim işlemleri tamamlanmış ve ağırlık değerleri hesaplanmış bir ağ topolojisine ait ağırlık değerlerinin mikrodenetleyiciye gönderildiği “Ağırlık” alt programına geçişi sağlamaktadır. 4 numaralı hakkında isimli buton ise kullanıcıya program hakkında bilgiler sunmaktadır.

#### 4.1.2. Sistem parametrelerini alma

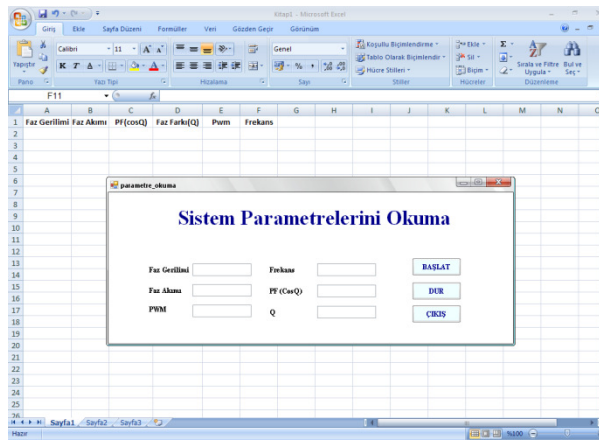
Şekil 4.2’de sistem parametrelerini okuma alt programına ait ekran görüntüsü yer almaktadır. Kullanıcının 1 numara ile gösterilen “Başlat” butonuna basması ile bilgisayarın seri port iletişimi açılmakta ve mikrodenetleyici ile karşılıklı bilgi alma ve yollama testi yapılmaktadır. Bu testin başarılı olması durumunda mikrodenetleyici tarafından bilgisayara veri gönderilme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar tarafından alınan veriler ise Şekil 4.3’de görüldüğü gibi otomatik olarak açılan bir Microsoft Excel çalışma sayfasına kaydedilmektedir. 2 numara ile gösterilen “Dur” butonu ise devam etmekte olan eğitim verileri işlemini herhangi bir anda durdurma işlemini gerçekleştirmektedir. 3 numara ile gösterilen “Çıkış” butonu ise sistem parametrelerini okuma ekranını kapatıp ana menüye dönüş işlemini gerçekleştirmektedir.



Şekil 4.2 Sistem parametrelerini okuma ekranı görüntüsü



4 numara ile gösterilen metin kutusu içerisinde, mikrodenetleyiciden 2 byte'lık veri paketleri şeklinde gönderilen ve program tarafından birleştirilen senkron motor bir faz gerilim bilgisi görülmektedir. 5 numara ile gösterilen metin kutusunda ise gerilim bilgisine benzer olarak 2 byte'lık veri paketleri şeklinde gönderilen ve program içerisinde birleştirilen senkron motor bir faz akım bilgisi gösterilmektedir. 6 numara ile gösterilen metin kutusunda ise IGBT anahtarlama devresine uygulanan PWM sinyalinin doluluk oranı 10 bit çözünürlük ile gösterilmektedir. 7 numaralı metin kutusunda ise senkron motorun 1 fazına ait frekans değeri 2 byte'lık çözünürlük ile gösterilmektedir. 8 numaralı metin kutusunda güç katsayısı ve 9 numaralı metin kutusunda ise faz farkı değerleri 2 byte'lık çözünürlükle gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Sistem parametrelerini okuma ekranı veri tabanı

#### 4.1.3. YSA eğitim

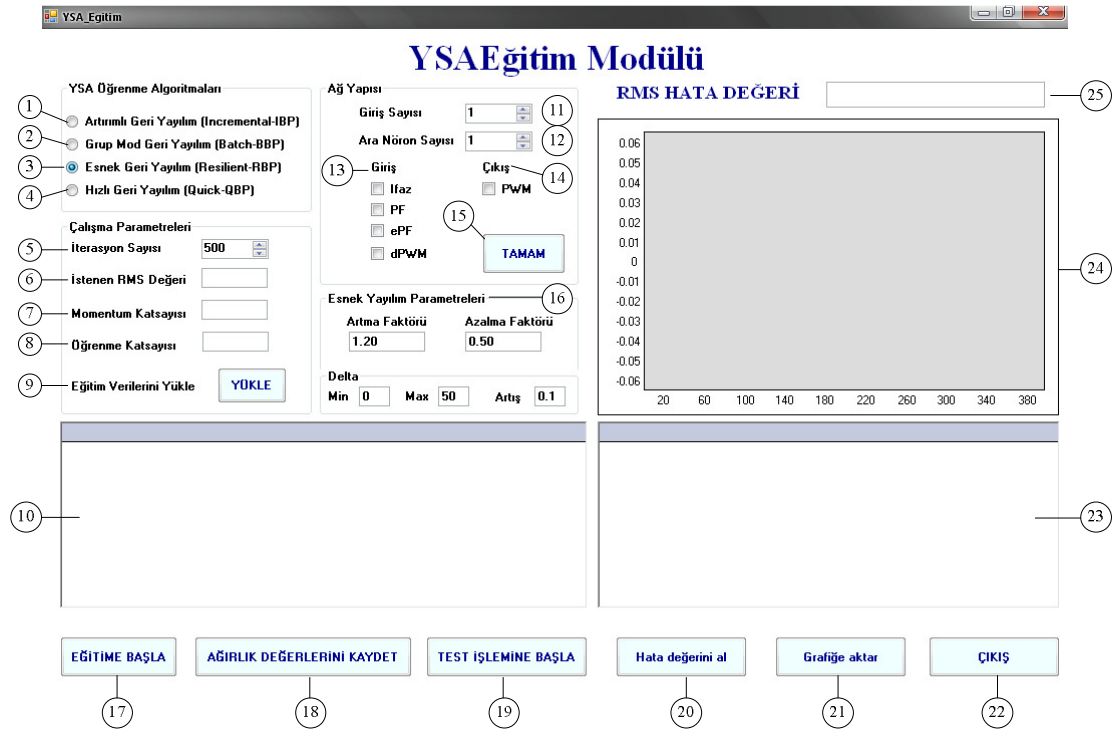
Günümüzde YSA uygulamalarının artmasıyla farklı sistemlerin incelenmesi, kontrol edilmesi için çok çeşitli YSA yazılımları uygulamaya sunulmaktadır. Gelişen bilgisayar teknolojisi çok fazla yapı ve öğrenme algoritmasıyla çalışma yapılmasına olanak vermiştir. Özellikle yazılımların nesne yönelimli ve görsel bileşenler ile hazırlanması YSA ile kolaylıkla çalışılmasını sağlamıştır. YSA ile yapılacak çalışmalarda kullanılan yazılımın,

- YSA'yı oluşturan bileşenleri kolaylıkla değiştirilebilmesi,

- Eğitim ve test işlemlerinin yapılabilmesi,
- Kullanılacak verilerin seçimi ve normalizasyonlarının yapılabilmesini sağlaması,
- Görsel bir yapıya sahip olması tercih edilen özellikleridir.

Hazırlanan yazılım YSA çalışmalarında istenen özellikleri barındıran eğitim ve uygulama amaçlı olmak üzere iki yönlü kullanılabilir bir yazılımdır. Görsel bileşenler içermesi ve nesne yönelimli bir yazılım olabilmesi için Visual Studio.NET programlama dili ile hazırlanmıştır.

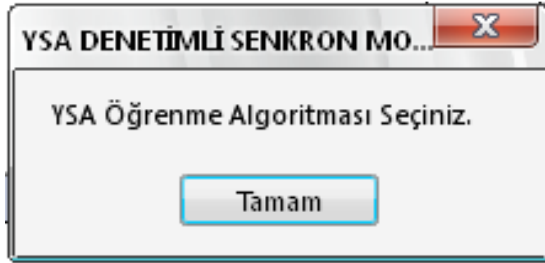
Şekil 4.4'de sistemin en önemli ve en fonksiyonel bölümü olan YSA Eğitim ve performans test programına ait ara yüz ekranı görülmektedir. Kullanıcı bu ekrandan sistemi eğiteceği ağ yapısını, seçtiği bu ağ yapısına ait parametreleri, iterasyon sayısını, giriş çıkış parametrelerini ve ağı yapısını belirleyebilmektedir. Bu çalışmada kullanıcı 4 taneye kadar giriş ve ara katmanda 10 taneye kadar nöron seçimi yapabilmektedir.



Şekil 4.4 YSA eğitim ve performans test programı

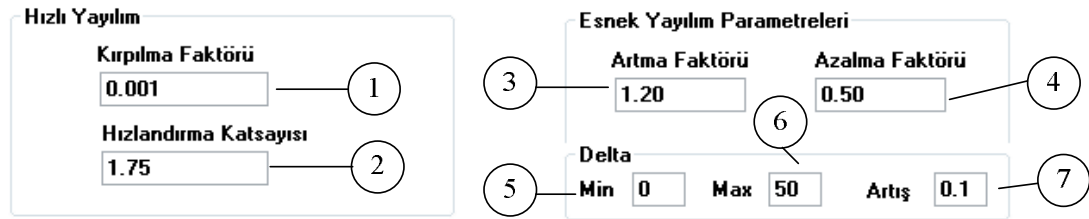
YSA Eğitim ve Performans Test Paneli ekran görüntüsü üzerindeki menülerin görevleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Ekranında 1, 2, 3, ve 4 numara ile gösterilen bölümler YSA öğrenme algoritması seçimini gerçekleştirmektedir. Kullanıcı bu bölümde belirlenen Artırlı Geri Yayılım, Grup Mod Geri Yayılım, Esnek Geri Yayılım ve Hızlı Geri Yayılım algoritmalarından herhangi birini seçerek eğitim işlemine devam etmektedir. Herhangi bir yöntem seçilmemesi durumunda kullanıcı Şekil 4.5’de gösterilen hata mesajı ile uyarılmaktadır.



Şekil 4.5 YSA öğrenme algoritması uyarı mesajı

Seçilen YSA öğrenme algoritmasının hızlı geri yayılım seçilmesi durumunda Şekil 4.6’da 1 numara ile gösterilen kırılma faktörü ve 2 numara ile gösterilen hızlandırma katsayısı parametrelerinin girişi aktif olmaktadır. Seçilen YSA öğrenme algoritmasının esnek geri yayılım olması durumunda ise 3 numara ile gösterilen artma faktörü, 4 numara ile gösterilen azalma faktörü, 5 numara ile gösterilen minimum delta değeri, 6 numara ile gösterilen maksimum delta değeri ve 7 numara ile gösterilen delta değerinin artış miktarı parametrelerinin girişi aktif olmaktadır.



Şekil 4.6 Hızlı geri yayılım ve esnek geri yayılım parametreleri

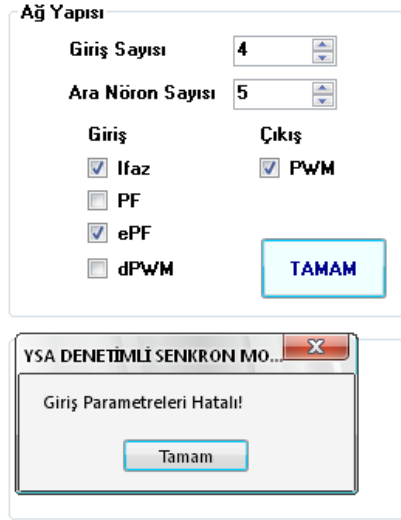
5 numara ile gösterilen iterasyon sayısı 1-100 000 arası değer alabilen ve eğitim setinin ağı kaç kez uygulanacağını gösteren seçim kutusudur. 6 numara ile gösterilen istenilen RMS değeri metin kutusu ise öğrenme işlemi durduracak ve kullanıcı tarafından belirlenen, kabul edilebilir hata sınırı olarak adlandırılmaktadır. 7 ve 8 numara ile gösterilen metin kutuları ise sırasıyla momentum ve öğrenme katsayılarının belirlendiği alanlardır. 9 numara ile gösterilen Eğitim verilerini yükle butonu ise dosya açma diyalogu vasıtasıyla istenilen veri tabanı dosyasını Şekil 4.7'de görüldüğü gibi 10 numara ile gösterilen datagrid nesnesine aktarmaktadır.

	FA NORM	Güç Katsayısı	e Güç Katsayı	epwm	PWM NORM
▶	0,997340425	0,970687854	0,029311162	0,386875612	0
	0,997340425	0,970669293	0,029329723	0,386875612	0
	1	0,970729033	0,029269983	0,385896180	0,000979431
	0,997340425	0,970717376	0,029281640	0,384916748	0,001958863
	0,063829787	0,972274839	0,027724177	0,383937316	0,002938295
	0,436170212	0,973813435	0,026185581	0,382957884	0,003917727
	0,571808510	0,972293358	0,027705658	0,381978452	0,004897159
	0,432180851	0,973730437	0,026268579	0,380999020	0,005876591
	0,539893617	0,972562305	0,027136711	0,380019588	0,006856023

Şekil 4.7 Eğitim verilerinin datagrid nesnesinde gösterilmesi

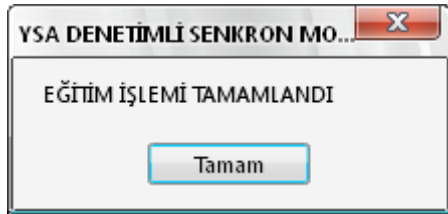
11 numara ile gösterilen seçme araç çubuğu, kullanıcının ağı kaç tane giriş elemanı uygulayacağını belirlemesini sağlamaktadır. Program 4 adet giriş elemanına kadar seçim yapılmasına uygun olarak tasarlanmıştır. 12 numaralı buton ise ara katmanda kaç adet nöron bulunacağını belirlemektedir. Kullanıcı bu bölümden 10 taneye kadar ara nöron seçimi yapabilmektedir. 13 ve 14 numaralı alanlar ise sırasıyla giriş ve çıkış elemanlarının sayısını ve tipini belirlemektedir. 15 numara ile tanımlanan buton ise ağ yapısı ile ilgili parametre bilgilerini onaylama işlevini görmektedir. Ayrıca 11 numaralı seçme çubuğundaki giriş elemanı sayısı ile 13 numaralı alandaki seçimlerin uyuşmaması durumunda program Şekil 4.8'de görülen hata mesajını üretmektedir.

17 numaralı buton, parametre girişi tamamlanarak eğitime hazır hale getirilen ağın belirlenen koşullar altında eğitim işleminin başlatılmasını gerçekleştirmektedir. Ayrıca eğitim işleminin tamamlanmasının ardından buton tekrar aktif olmaktadır.



Şekil 4.8 Giriş-çıkış parametreleri seçimi hata mesajı

Belirlenen eğitim yöntemi ve iterasyon sayısına göre kısa bir sürede eğitim işlemini tamamlayan program Şekil 4.9’da görüldüğü gibi kullanıcıya eğitim işleminin başarı ile tamamlandığına dair bir mesaj vermektedir.



Şekil 4.9 Eğitim işleminin tamamlandığını bildiren program mesajı

Eğitim işleminin sonucunda, ağın tamamını temsil eden ağırlık değerlerini bir excel sayfasına kaydetme işlemi, 18 numaralı buton sayesinde gerçekleştirilmektedir. Hafızada bulunan ağırlık değerlerini, ağın daha önce hiç görmediği örnekler üzerinde deneyerek test etme işlemi 19 numaralı buton ile mümkün olmaktadır. Uygulanan örneğin veri tabanındaki numarası, gerçek çıkış değeri, ağ tarafından hesaplanan çıkış değeri ve bu iki değer arasındaki farkı bir excel tablosuna kaydederek hatanın zamana göre değişim grafiği excel üzerinde çizdirilmektedir. Bunu yanı sıra kullanıcı 20 numaralı hata değerini al butonu ile veri tabanından, hesaplanan hata değerlerini 23 numara ile gösterilen datagrid nesnesine aktarmaktadır. 21 numaralı grafiğe aktar butonu ise elde edilen hata verileri ışığında 24 numarada tasarlanan picturebox

nesnesi içerisine hata-zaman grafiğini çizdirmektedir. 25 numara ile gösterilen RMS hata değeri metin kutusunda ise ağın yaptığı hataların karelerini ortalamasını kullanıcıya göstermektedir.

#### 4.1.4. YSA Ağırlık değerlerinin mikrodenetleyiciye gönderilmesi

YSA eğitim modülün de bilgisayar programı tarafından hesaplanan ağırlık değerleri bir excel çalışma sayfasına kaydedilmekteydi. Şekil 4.10'da görülen menü vasıtasıyla, önceden hesaplanarak veri tabanında depolanan ağırlık değerleri tasarlanan iletişim protokolü çerçevesinde mikrodenetleyiciye gönderilmektedir.

Bilgisayar ve mikrodenetleyici arası veri yolu testi yapıldıktan sonra bilgisayardan mikrodenetleyiciye veri göndermeye başlanacağına dair bir bilgi gönderilir. Mikrodenetleyici tarafı ise veri alma algoritması hazırlıklarını tamamladığı anda bilgisayara hazır olduğuna dair bir bilgi gönderir.



Şekil 4.10 Ağırlık değerlerini mikrodenetleyiciye gönderme programı

Mikrodenetleyicinin hazır olduğu bilgisini alan bilgisayar programı ilk veri paketini gönderir. Mikrodenetleyici string veri tipinde gönderilen bu veri paketini işleyerek float tipine dönüştürür ve kaydeder. Bu rutin tüm ağırlık değerleri mikrodenetleyici tarafından eksiksiz olarak alınana kadar devam eder. YSA ağırlık değerlerinin mikrodenetleyiciye gönderilmesi alt programı, kullanıcının 1 numara ile gösterilen Ağırlık değerlerini al butonuna basması ile çalışmaya başlar.

Dosya açma diyalogu ile ağırlık değerleri seçildikten sonra, 3 numara ile gösterilen datagrid nesnesinde yerini alır. 2 numara ile gösterilen mikrodenetleyiciye gönder butonuna basılması ile ağırlık değerleri yukarıda bahsedilen rutin çerçevesinde mikrodenetleyiciye gönderilir. Tüm ağırlık değerlerinin gönderilmesi ile kullanıcıya işlemin hatasız tamamlandığına dair bir bilgilendirme mesajı sunulur.

Tüm bu çalışma rutini içerisinde programın herhangi bir noktada takılmasını önlemek için try/catch hata blokları ile koruma sağlanmıştır.

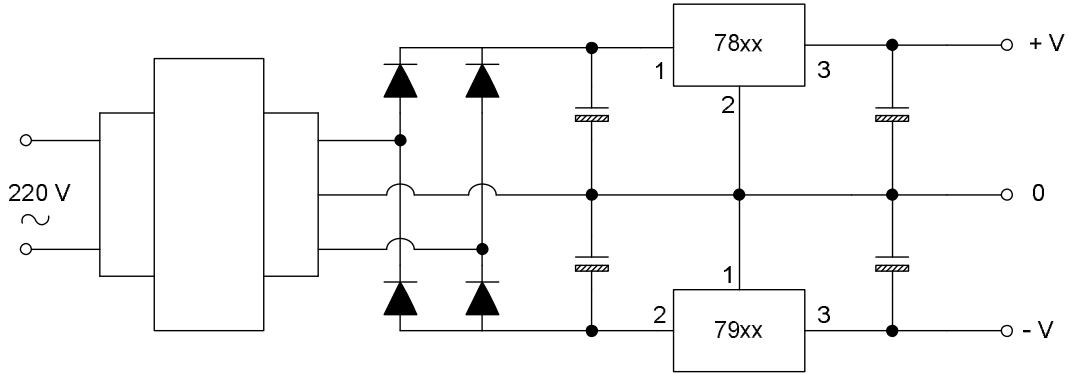
#### **4.2. Tasarlanan ve Gerçekleştirilen Donanımlar**

YSA ile gerçekleştirilen kontrol uygulamalarında, ağın eğitiminde kullanılacak olan verilerin sistemi ve çalışma örüntüsünü gerçeğe en yakın şekilde temsil etmesi çok önemlidir. Elde edilen eğitim verileri ile hesaplanan ağırlık değerlerinin, uygulama aşamasında karşılaşılan sistemin hiç tanımlanmamış çalışma koşullarını temsil edememesi, tam kontrol ve doğruluk yüzdesini düşürücü faktörler olarak sıralanabilir. Bu nedenle eğitim setinin önemi yadsınamayacak kadar yüksektir. Ağın kendisine sunulan probleme doğru ve hızlı cevaplar verebilmesi için eğitim verilerinin sistemi temsil yeteneğinin yüksek olması kadar, bu verilerin ediniliş yöntemleri de oldukça önemlidir. Zira dış verilerin ağa gösterilebilmesi için tasarlanan donanımların ve ölçüm aletlerinin duyarlılıkları ve eş zamanlı çalışabilme kapasiteleri, sistemin temel dayanağını oluşturan eğitim verilerinin hatasız bir şekilde elde edilmesini dolayısıyla ağın hata yapma oranının düşmesini sağlayacaktır.

Tasarlanan YSA donanımları için hassasiyet, hız, maliyet ve paralel çalışabilirlik yetisi tercih unsuru olarak ön plana çıkmaktadır. Bu bölümde YSA denetimli senkron motor için referans kriterler baz alınarak geliştirilen besleme modülü, akım okuma modülü, gerilim okuma modülü, faz farkı, frekans ve güç katsayısı okuma modülü, mikrodenetleyici ve bilgisayar arası seri iletişim modülü, IGBT anahtarlama modülü ve sistemin beyni konumunda bulunan kontrol modülü anlatılacaktır. Ayrıca YSA eğitim ve performans testi için Visual Studio.Net ortamında gerçekleştirilen bilgisayar programı ve mikrodenetleyici çalışma algoritmaları irdelenecektir.

#### 4.2.1. Besleme modülü

Besleme modülü sistemin hemen her noktasında gereksinim duyulan simetrik kaynak ihtiyacını karşılamak için tasarlanmıştır. Mikrodenetleyici, ölçme ve haberleşme modüllerinin ihtiyaç duyduğu +5 – 0 – (-5) Volt ve +12 – 0 – (-12) Voltluk gerilim değerlerini üretebilen besleme modülüne ait temel devre şeması Şekil 4.11’de görülmektedir.

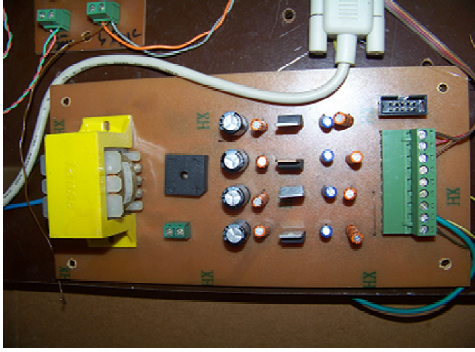


Şekil 4.11 Besleme modülü temel devre şeması

+5 Voltluk gerilim değerini elde edebilmek için 7805 gerilim regülatörü, -5 Voltluk gerilim değerini elde edebilmek için 7905 gerilim regülatörü, +12 Voltluk gerilim değerini elde edebilmek için 7812 gerilim regülatörü ve -12V değerini elde edebilmek için 7912 gerilim regülatörü kullanılmıştır. Orta uçlu trafonun dış kenar uçlarına bağlanan köprü tipi tam dalga doğrultucu ile doğru gerilime çevrilen sinyal,



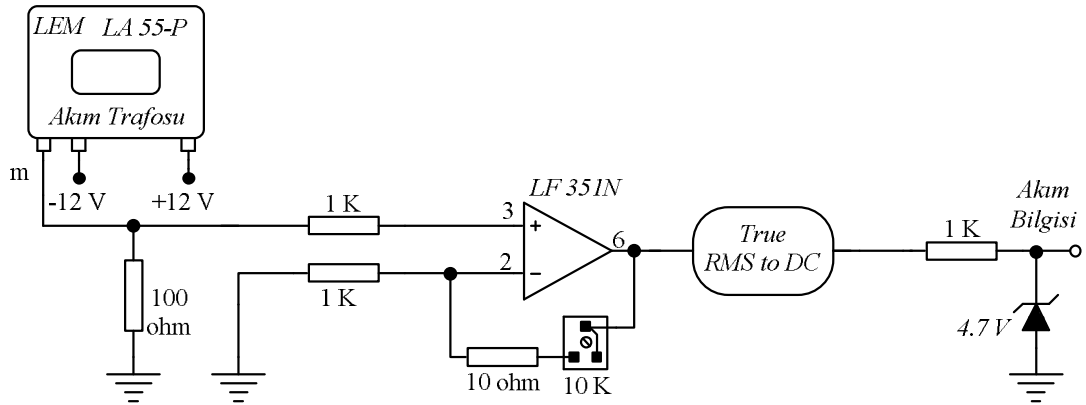
regülatörler vasıtasıyla kullanıma hazır hale getirilmektedir. Resim 4.1’de besleme modülü görülmektedir [Bayındır ve ark., 2009].



Resim 4.1 Besleme modülü

#### 4.2.2. Akım okuma modülü

Şekil 4.12’de tasarım ve uygulaması gerçekleştirilen akım okuma devresi görülmektedir.



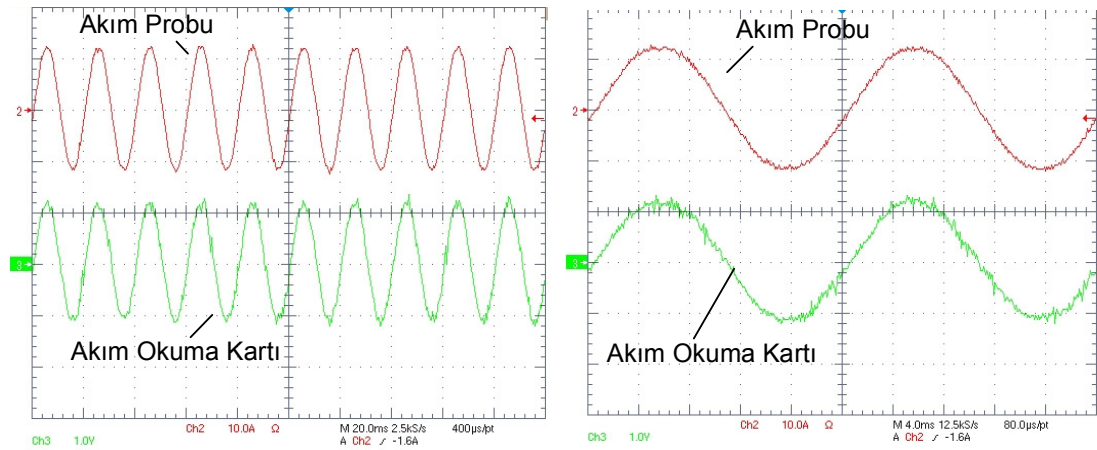
Şekil 4.12 Akım okuma modülü

Akım okuma devresinde LEM firmasının üretmiş olduğu LA 55-P tipi akım trafosu kullanılmıştır. Akım trafosunun dönüştürme oranı 1000:1 dir. Senkron motorun normal çalışma şartlarında çekeceği akım, trafonun dönüştürme oranına kıyasla çok küçük olacağı için, True RMS to DC konvertöre gönderilecek olan bilgedeki

hassasiyet çok zayıf olacaktır. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için opamp'lı bir evirmeyen yükselteç devresi tasarlanmıştır. Akım trafosu çıkışından elde edilen düşük genlikli alternatif gerilim opamp devresinde yükseltilmekte, konvertörden geçtikten sonra mikrodenetleyicinin RA1 ucuna uygulanmaktadır. Ayrıca opamp'ın kazanç değerini ayarlamak için bir trimpot ve mikrodenetleyiciyi gerilim yükselmelerinden korumak amacıyla bir zener diyot devreye eklenmiştir.

Tasarlanan akım okuma modülünün ölçüm hassasiyetini test etmek amacıyla yüksek çözünürlük oranına sahip dijital bir osiloskopta, akım okuma modülü ve akım probu senkron motorun aynı fazından ölçüm alacak şekilde devreye bağlanmıştır. Bu durumu gösterir osiloskop ekran görüntüsü Şekil 4.13'de verilmiştir. Akım okuma probu ile akım okuma modülünün sinyal şekilleri tasarlanan akım ölçme modülünün hassasiyetini göstermektedir [Bayındır ve ark., 2009].

İçerisinden geçen akım değerini %0,1 gibi çok küçük bir hata oranı ile dönüştürebilen AD536 entegresi ile alınan akım ölçümü ile Textronix marka akım probu ile alınan ölçümler, tasarlanan akım okuma modülünün duyarlılığının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.



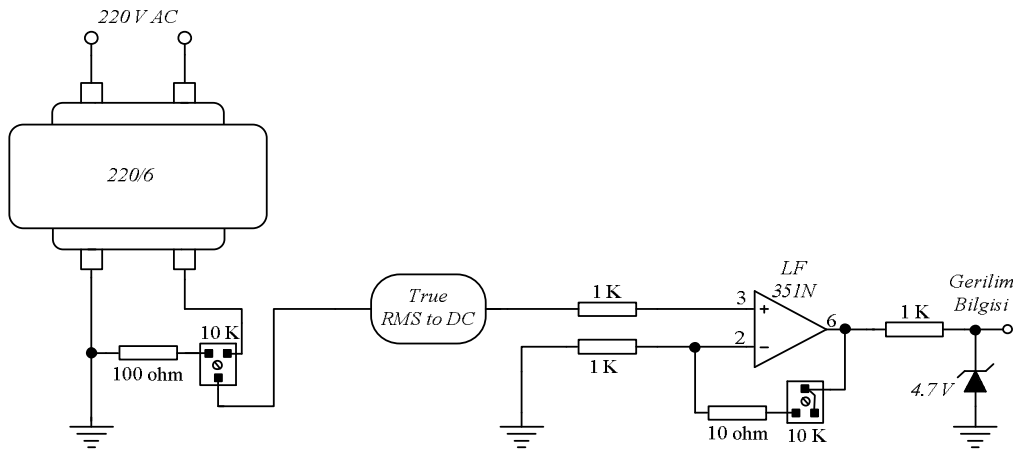
Şekil 4.13 Akım okuma kartı ve akım probu sinyal şekilleri

### 4.2.3. Gerilim okuma modülü

Gerilim okuma kartı senkron motora uygulanan faz nötr arası RMS gerilim değerini bir gerilim trafosu ile düşürerek True RMS to DC konvertör vasıtası ile doğru gerilime dönüştürmek ve mikrodenetleyicinin okuyabileceği güvenli bir gerilim değerine ayarlamak üzere tasarlanmıştır. Şekil 4.14'de gerilim okuma modülü görülmektedir.

Transformatörün primerine RST fazlarından herhangi biri ile nötr hattı bağlanarak çıkış gerilimi dönüştürme oranı doğrultusunda düşürülmüştür. Düşürülen bu alternatif gerilim 5V seviyesine çekilerek konvertöre uygulanmış ve çıkışta elde edilen DC gerilim denetleyicinin RA0 ucuna gönderilmiştir. Devreye gerilim yükselmelerinde işlemciyi koruması için birde 4.7'V luk zener diyot eklenmiştir [Bayındır ve ark., 2009].

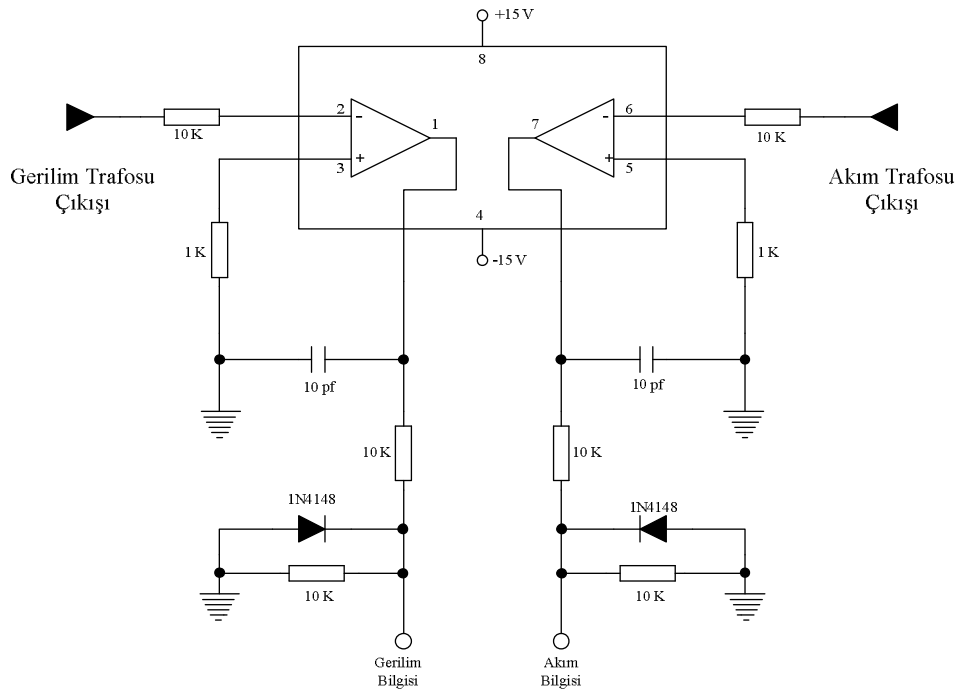
Tasarlanan gerilim okuma modülü ile elde edilen ölçümler 10 bit'lik çözünürlüğe sahiptir. Bu özelliği sayesinde gerilim okuma modülü gerilimde meydana gelebilecek 4,8 mV'luk değişimlere bile tepki verebilecektir. Daha hassas ölçümlere ihtiyaç duyulan sistemlerde analog-dijital dönüşüm modülü daha hassas mikrodenetleyiciler tercih edilmelidir.



Şekil 4.14 Gerilim okuma modülü

#### 4.2.4. Faz farkı, frekans ve güç katsayısı okuma modülü

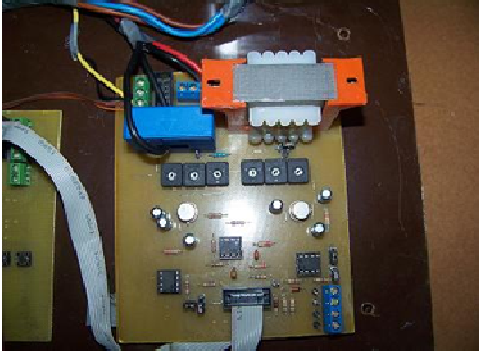
Faz farkı, güç katsayısı ve frekans bilgisini elde etmek için opampli bir karşılaştırma devresi tasarlanmıştır. Şekil 4.15’de verilen devre, akım ve gerilim trafosunun çıkışından elde edilen sinüsoidal gerilimin sıfır noktasından geçtiği anda opampın lojik 1 çıkış sinyali vermesi prensibi ile çalışmaktadır.



Şekil 4.15 Faz farkı, frekans ve güç katsayısı okuma modülü

Elde edilen bu lojik çıkış bilgilerinden herhangi biri işlemciye gelince TMR0 sayıcısını çalıştırmış, sonradan gelen çıkış ise TMR0 sayıcısını durdurarak değeri almıştır. Aradan geçen süre esas alınmak suretiyle  $\cos\phi$  değeri hesaplanmıştır.

Yine akım ya da gerilim bilgisinden herhangi birinin sıfır noktasından geçtiği aralıklar referans alınıp sayılarak frekans değeri hesaplanmıştır [Bayındır ve ark., 2009]. Resim 4.2’de Akım, gerilim ve faz farkı okuma modülleri görülmektedir.



Resim 4.2 Akım, gerilim ve faz farkı okuma modülleri

#### 4.2.5. Seri iletişim modülü

Verinin her bir bitinin aynı hat üzerinden belirli sıra ile gönderildiği haberleşme sistemine seri iletişim denilmektedir. Seri iletişim senkron ve asenkron olmak üzere 2 ayrı protokolde gerçekleştirilebilir. Senkron iletişimde alıcı ve verici aynı saat işaretini kullanırlar. Verici ilk başta senkronizasyon karakterlerini gönderir. Alıcı bunları önceden belirlenmiş senkronizasyon karakterleriyle karşılaştırır. Her ikisinin aynı olduğu durumda alıcı veri yolundaki veriyi okumaya başlar. Çok miktarda veri iletimi yapıldığı durumlarda senkronizasyon işareti periyodik aralıklarla alıcıya gönderilir. Asenkron seri iletişimde ise hatta istenilen herhangi bir anda veri gönderimi gerçekleştirilebilir.

Asenkron seri iletişimle ilgili protokoller şu şekilde tanımlanabilir.

*Start bit:* Bir karakterin gönderilmeye başlandığını bildirmek için kullanılır. Her zaman transferin ilk biti olarak gönderilir.

*Data bits:* Veri bitlerini oluşturan gruplar bütün karakterlerden ve klavyedeki diğer tuşlardan oluşur.

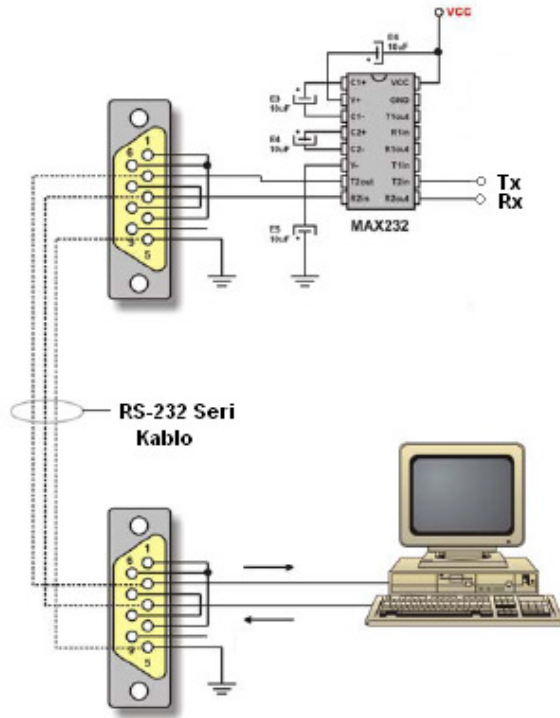
*Parity bit:* Transfer edilen karakterlerin karşı tarafa doğru gönderilip gönderilmediğini kontrol etmek için kullanılan bittir. Eğer alıcı, alınan parity biti ile

hesaplanan parity bitinin eşit olmadığını tespit ederse, hata verir ve o andaki karakteri kabul etmez.

*Stop bit:* Karakterin bittiğini gösterir. Karakterler arasında boş ya da ölü zamanlar sağlar. Stop biti gönderildikten sonra istenildiği zaman yeni bilgi gönderilebilir.

*Baud:* Bit/sn olarak ifade edilen bit iletişim hızı birimidir. Analog sinyaldeki değişim hızıdır.

Şekil 4.16'da standart Max-232 bağlantı şeması verilmiştir. Seri iletişimde mikrodenetleyici ile bilgisayar arasında ki veri iletişimini sağlamak için Max-232 entegresine ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü seri portta -10 V +10 V gibi mikrodenetleyicinin yorumlayamayacağı gerilimler bulunmaktadır. Max-232 entegresi bu gerilimleri 0-5 V seviyesine çekerek mikrodenetleyicinin algılamasını sağlamaktadır.

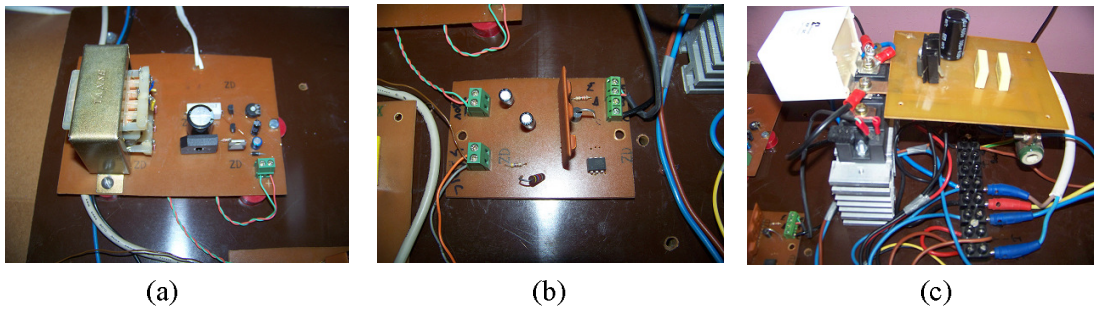


Şekil 4.16 Seri iletişim modülü

Çalışmada mikrodenetleyici ve bilgisayar arasındaki haberleşme 9600 baud/rate hızında asenkron protokolle gerçekleştirilmiştir. Baud oranı olarak adlandırılan hız, iletişim esnasında bir saniyede gönderilecek bit sayısını belirtmektedir. 9600 baud oranı ile saniyede 9600 bitlik veri transferi gerçekleştirilir. Başka bir deyişle saniyede 1200 byte'lık veri akışı sağlanır. Tx ve Rx uçları mikrodenetleyicinin aynı adlı uçlarına bağlanarak, veri alma ve gönderme işlemi için donanım bağlantısı tamamlanmış olur.

#### 4.2.6. IGBT anahtarlama modülü

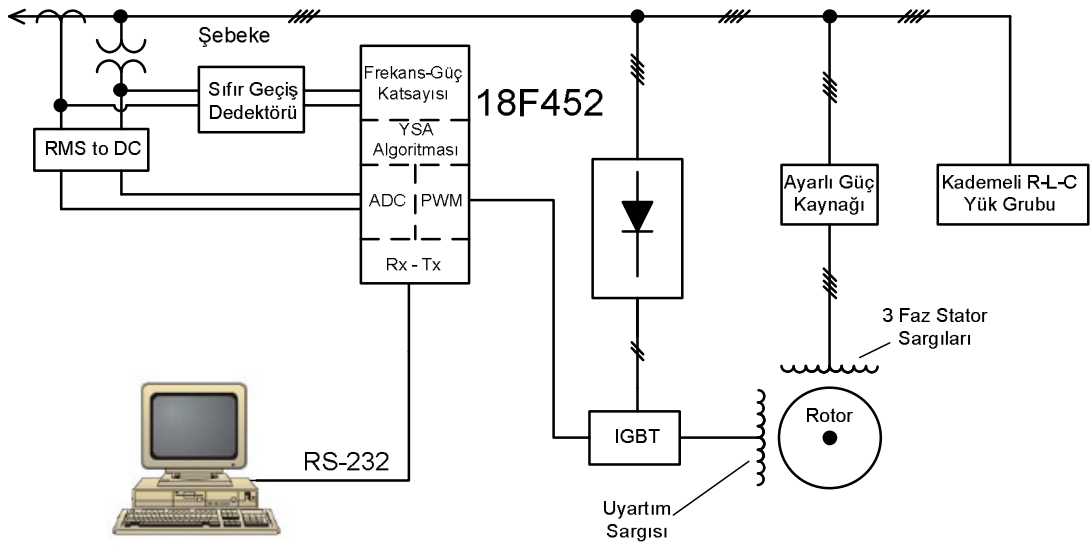
IGBT'lerin çalışabilmesi için sürücü devreye ihtiyaçları vardır. IGBT modüller anahtarlarken yalıtılmış kaynaktan beslenen sürücü devreler kullanılmalıdır. Senkron motor uyarım akımını ayarlamak için anahtarlama devre elemanı olarak Mitsubishi firması tarafından üretilen 2MBI150N-60 IGBT modül kullanılmıştır. Bu modül kendi içerisinde yarım köprü bağlantı şekli oluşturacak şekilde iki IGBT'den oluşmaktadır. Üzerinden 150 amper kadar akım geçirilebilmekte ve tutma gerilimi 400 voltur. Anahtarlama işlemini gerçekleştirmek içinse Mitsubishi firması tarafından üretilen EXB841 sürücü devresi kullanılmıştır. Sürücü entegresi içine yerleştirilen opto izolatör ile giriş ve çıkış birbirinden yalıtılmıştır. Bu devre 20 V DA gerilimle beslenmekte ve çıkışta IGBT sürücüsünün çalışmasını sağlayacak sürme sinyalini üretmektedir. Resim 4.3(a)'da IGBT besleme devresi, Resim 4.3(b)'de IGBT sürücü devresi ve Resim 4.3(c)'de IGBT devresi görülmektedir.



Resim 4.3 (a) IGBT besleme devresi (b) IGBT sürücü devresi (c) IGBT devresi

#### 4.2.7. Kontrol modülü

Kontrol modülü olarak adlandırılan mikrodenetleyici kartı, sistemin en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Harici tüm donanımların kontrolünün ve eş zamanlı ölçümlerinin gerçekleştirildiği kontrol modülünün blok şeması Şekil 4.17’de verilmiştir.

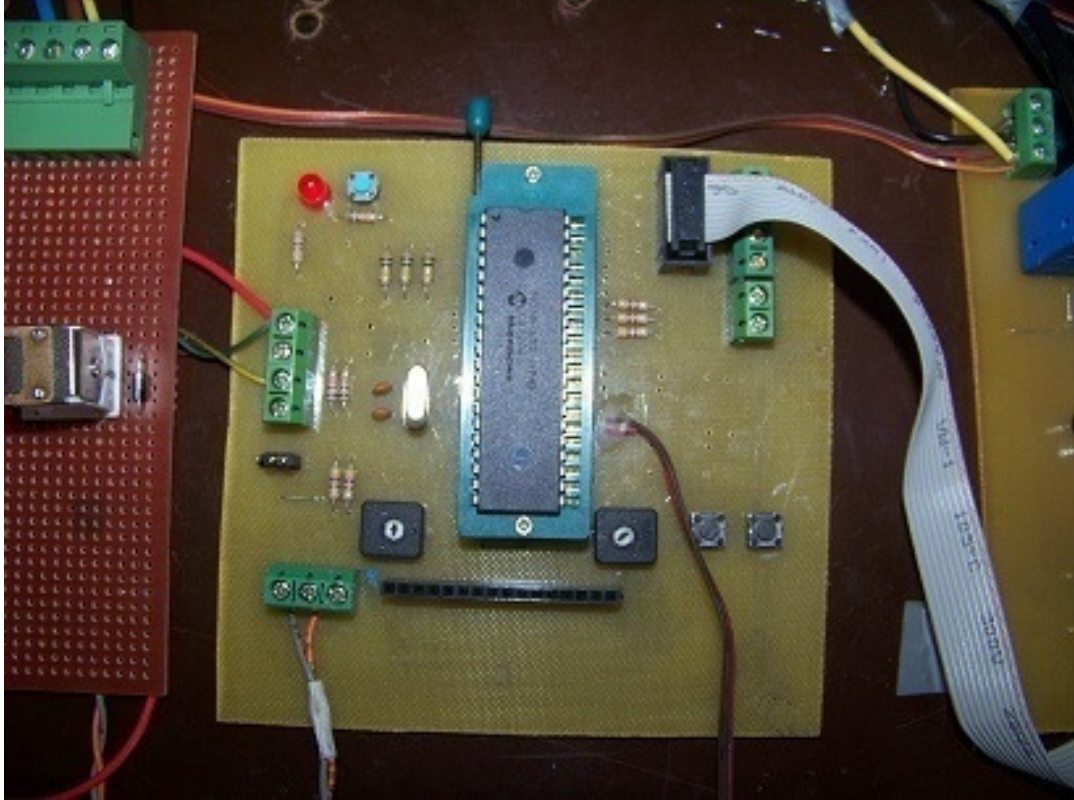


Şekil 4.17 Kontrol modülü blok şeması

Ölçme ve değerlendirme kartlarından gelen her türlü bilgi mikrodenetleyici tarafından değerlendirilmekte ve karar verilerek sistemin çıkışı tespit edilmektedir. Mikrodenetleyici için C programlama dilinde yazılan programın, hızlı ve etkili bir şekilde sistemi yönettiği gerçekleştirilen uygulamalar sonucunda gözlemlenmiştir. Mikrodenetleyici programı öncelikle bilgisayar üzerinden kendisine hangi işlevi yerine getireceğine dair bir komut dizini gelmesini beklemektedir. Eğer bilgisayar tarafından eğitim verileri elde edileceğine dair bir komut gelirse ilgili alt program çalıştırılarak ölçüm değerleri alınıp seri iletişim ile veri tabanına gönderilmektedir. Bu işlemin tamamlanmasının ardından, program bilgisayar tarafından gönderilecek başka bir komut olup olmadığını denetlemeye başlar. Şayet kullanıcı YSA ağırlık değerleri matrisini mikrodenetleyiciye yollayarak RGK işlemini başlatma komutunu

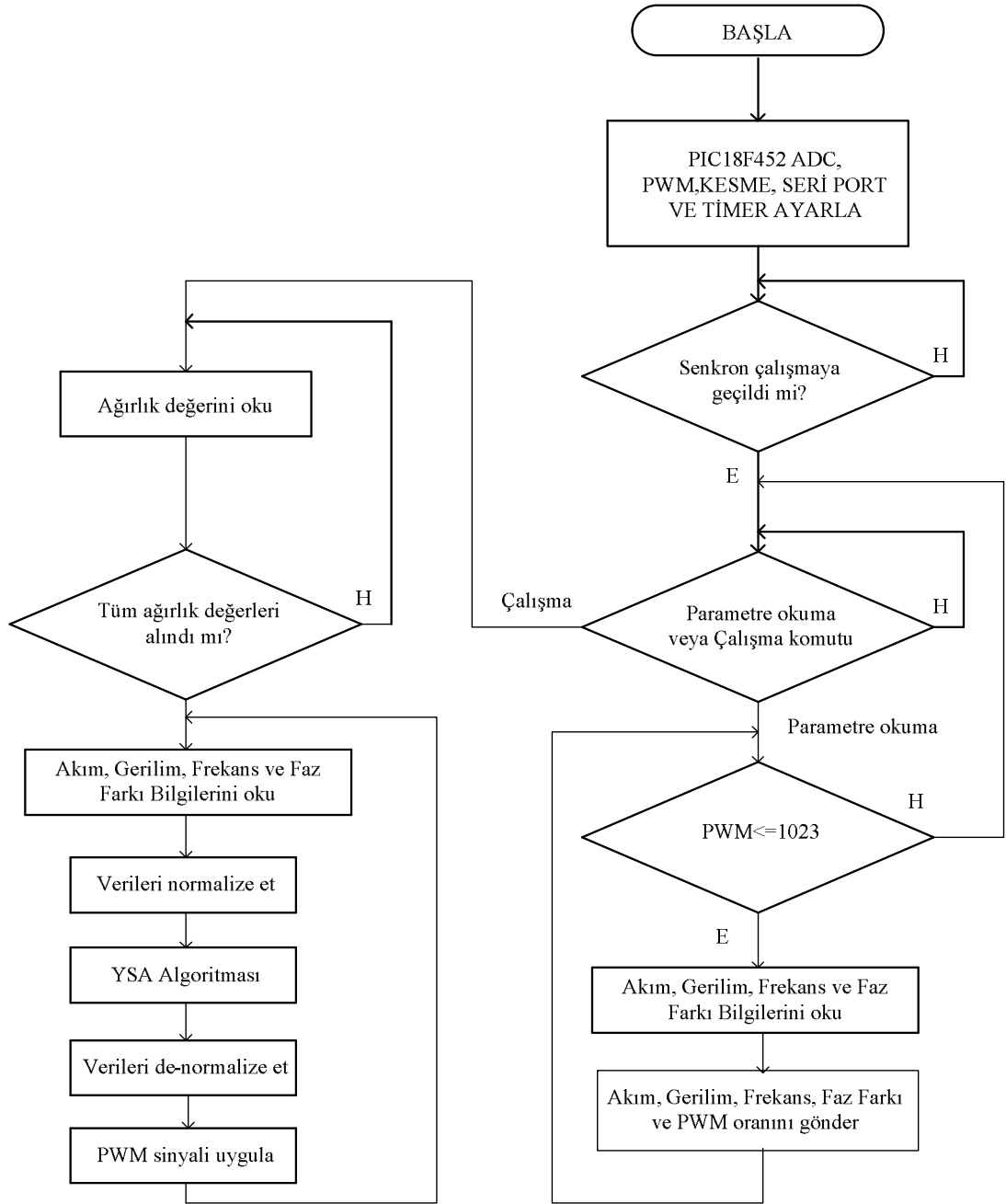


gönderirse, program tüm verileri kaydederek YSA denetimli RGK işlemine başlamaktadır. Kontrol modülü Resim 4.4’de görülmektedir.



Resim 4.4 Kontrol modülü

Mikrodenetleyici programının çalışma algoritması Şekil 4.18’de görülmektedir.



Şekil 4.18 Mikrodenetleyici çalışma algoritması

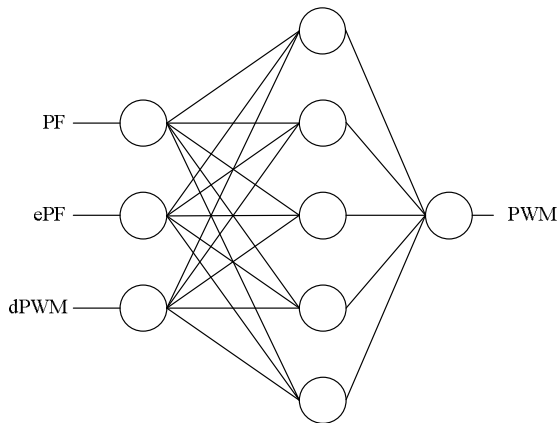
## 5. UYGULAMA ÇALIŞMALARI VE DENEYSEL SONUÇLAR

Uygulama çalışmaları bölümünün birinci kısmında öncelikle ağı bilgisayar üzerinde eğitim performansını etkileyen kriterler değerlendirilerek en az hata oranına sahip topolojiler belirlenecektir. İkinci kısımda ise hesaplanan ağırlık değerlerinin mikrodenetleyiciye gönderilme işlemi gerçekleştirilerek senkron motorun omik çalışma eksenini ne ölçüde takip ettiği değerlendirilecektir.

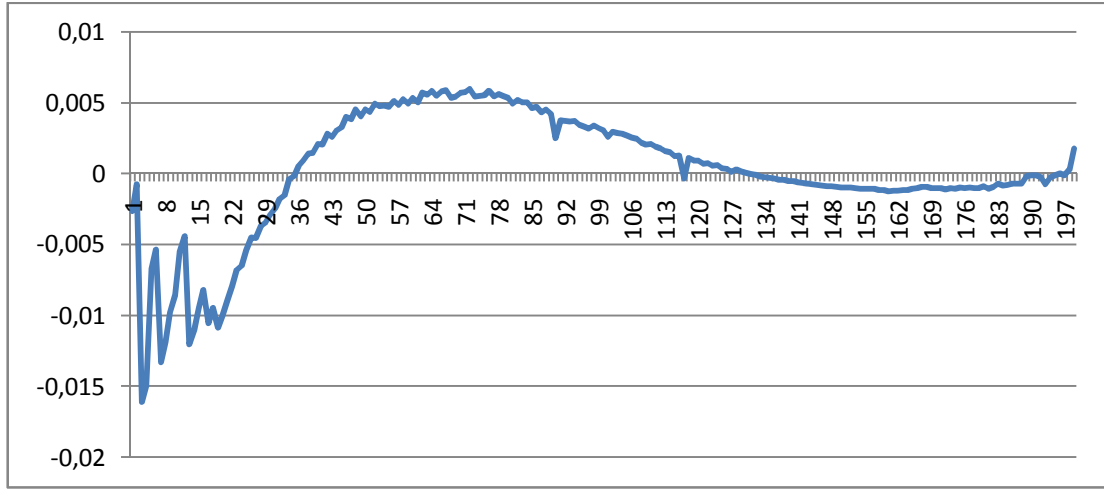
### 5.1. YSA Eğitim ve Performans Test İşlemleri

YSA denetimli senkron motor ile RGK işleminin yapılabilmesi için öncelikle ağı eğitilmesi gerekmektedir. Bu bölümde ağı performansını etkileyecek olan değişkenler ve çıkış üzerindeki etkileri irdelenerek en iyi performansın yakalandığı ağ yapısı ile senkron motor çalıştırılacaktır. Çalışmada senkron motordan 1023 tane eğitim verisi alınmıştır. Bu verilerden 200 tanesi ağı eğitimi için kullanılmıştır. Geri kalan ve ağı daha önceden görmediği veriler ise ağı performans test işleminde kullanılmıştır.

İlk deneyde Şekil 5.1'de görülen 3 giriş ve 5 ara nöronlu topoloji hızlı geri yayılım algoritması ile 5000 iterasyonda 0,9 momentum ve 0,2 öğrenme katsayıları seçilerek eğitilmiştir. Gerçekleştirilen öğrenme sonucunda hata değerinin değişim grafiği Şekil 5.2'de görülmektedir.

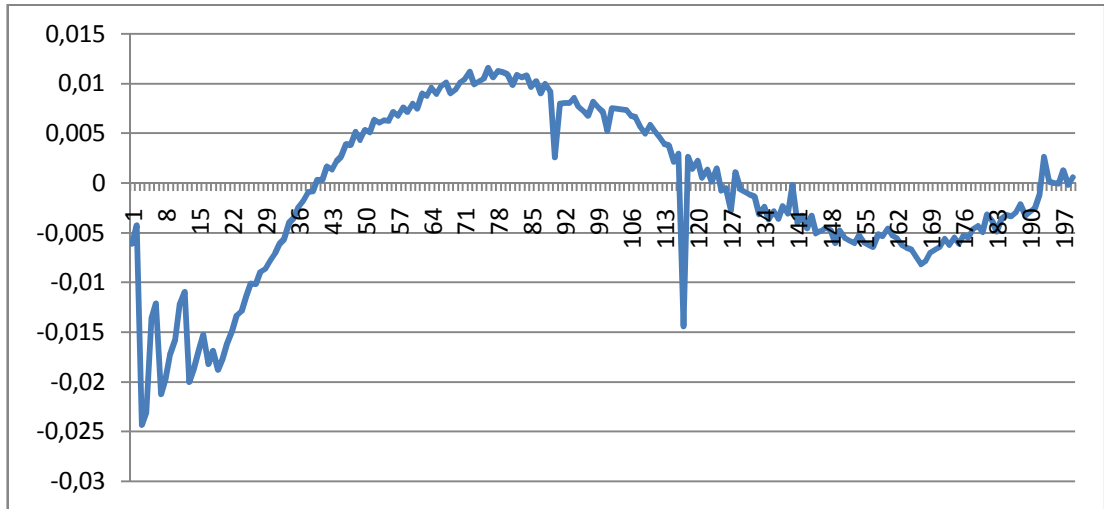


Şekil 5.1 3 giriş 5 ara nöronlu YSA yapısı



Şekil 5.2 5000 iterasyonda hata değişim grafiği

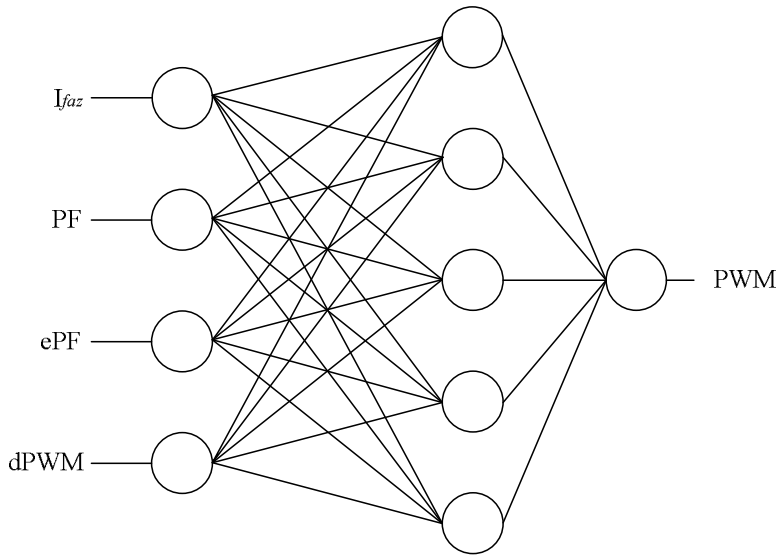
Tüm parametreler ilk topolojide verildiği gibi sabit tutularak iterasyon sayısı 1000'e düşürüldüğü durumda hata değişim grafiği Şekil 5.3'de verilmiştir. İterasyon sayısının düşük tutulması öğrenme performansını olumsuz yönde etkilemiştir. Ancak iterasyon sayısının büyük tutulmasının da öğrenme performansı üzerinde olumsuz etkileri bulunabilmektedir.



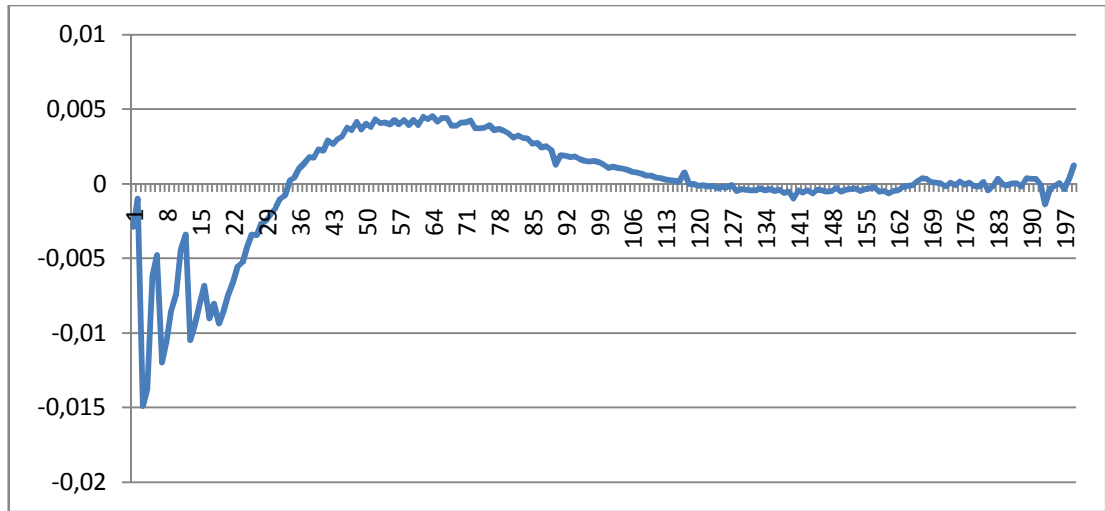
Şekil 5.3 1000 iterasyonda hata değişim grafiği

Şekil 5.4'de görülen giriş sayısı 4, ara katman nöron sayısı 5 olarak seçilen YSA yapısında esnek geri yayılım algoritmasıyla, 5000 iterasyonda, momentum katsayısı 0,9, öğrenme katsayısı 0,2, artma faktörü 1,20, azalma faktörü 0,50 olarak

belirlenerek yeni bir eğitim işlemi başlatılmıştır. Bu eğitim sonucunda elde edilen performans grafiği Şekil 5.5’de görülmektedir. Hatanın pozitif eksende çizmiş olduğu yayın sifira yaklaştığı dolayısıyla hata oranının azaldığı görülmektedir.

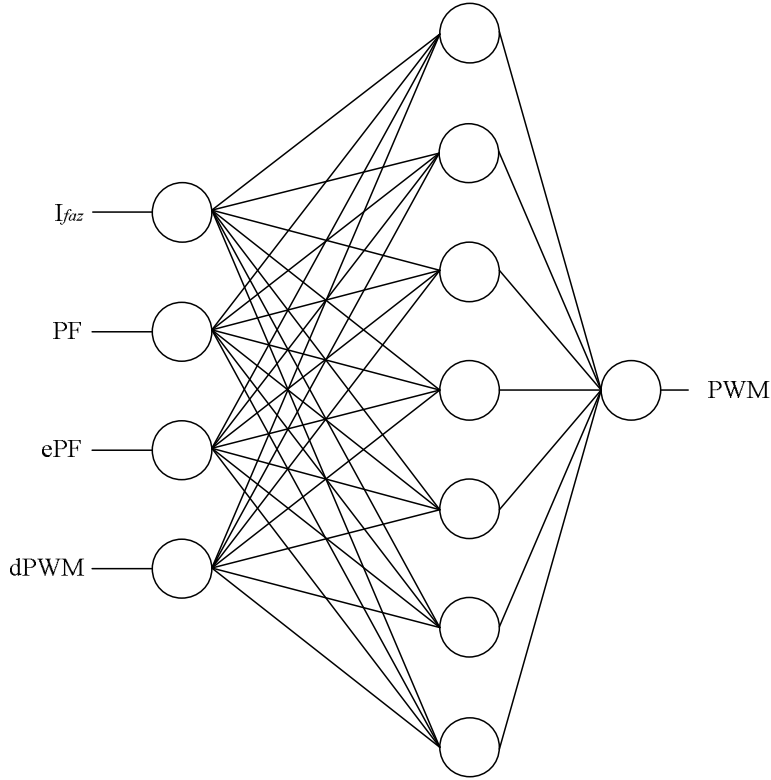


Şekil 5.4 4 giriş 5 ara nöronlu YSA yapısı

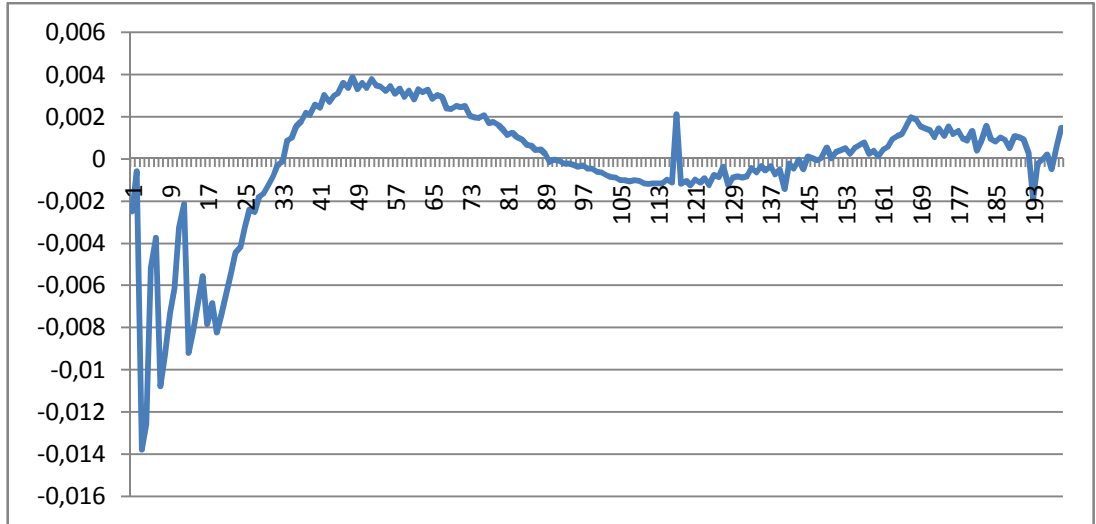


Şekil 5.5 Esnek geri yayılım ara katman nöron sayısı 5

Parametreler aynı tutulmak koşuluyla ara katman nöron sayısını Şekil 5.6’da görüldüğü gibi 5 değerinden 7 değerine çıkardığımızda elde edilen performans test grafiği Şekil 5.7’de verilmiştir. Ara nöron sayısının artışı ile öğrenme olayında artış, hata oranında azalma meydana gelmiştir.



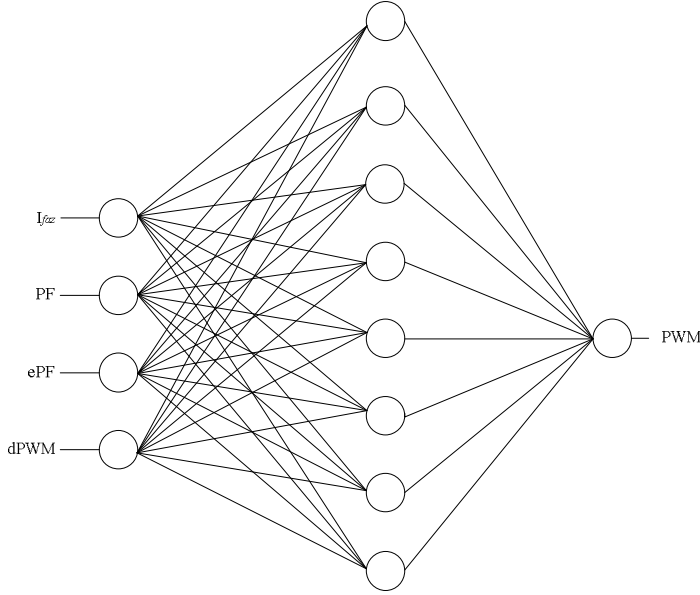
Şekil 5.6 4 giriş 7 ara nöronlu YSA yapısı



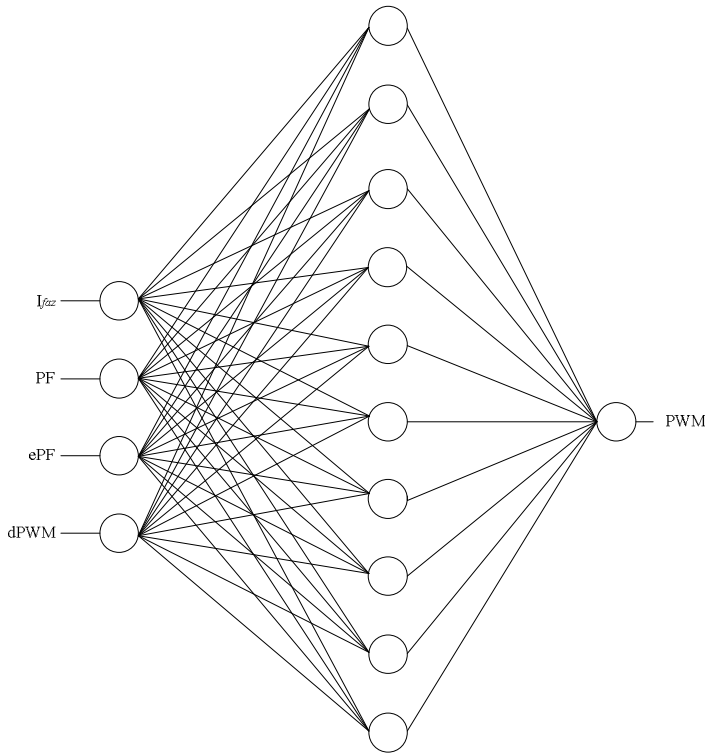
Şekil 5.7 Esnek geri yayılım ara katman nöron sayısı 7

Şekil 5.8’de 4 giriş, 8 ara nöronlu ve Şekil 5.9’da 4 giriş 10 ara nöronlu topolojiler verilmiştir. Her iki YSA yapısı da artırılmış geri yayılım algoritmasıyla 10000 iterasyon sayısı ile momentum katsayısı 0,9 ve öğrenme katsayısı 0,2 seçilerek

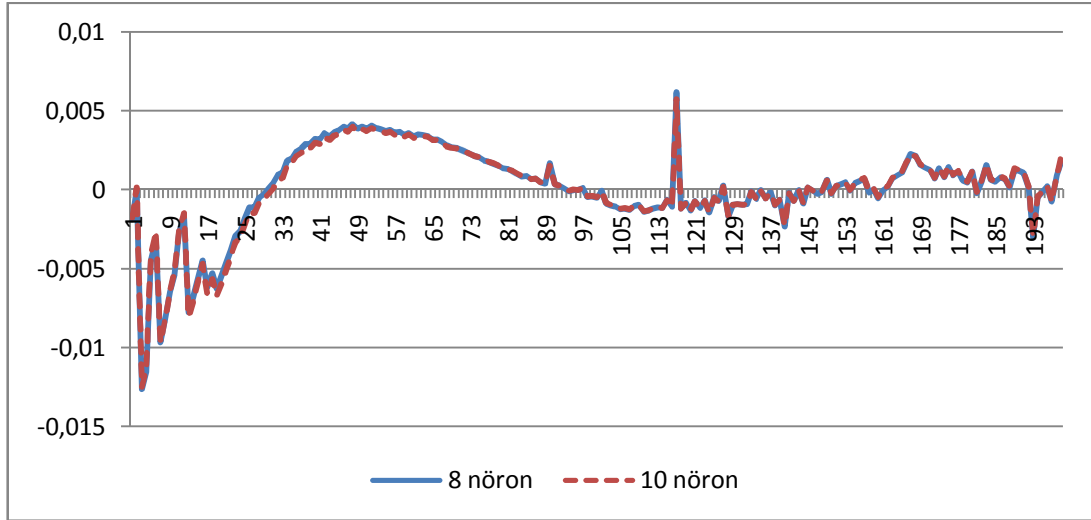
eğitilmiştir. 8 ve 10 ara n3ronlu topolojilerin performans değerlendirmeleri şekil 5.10'da verilmiştir.



şekil 5.8 4 giriş 8 ara n3ronlu YSA yapısı



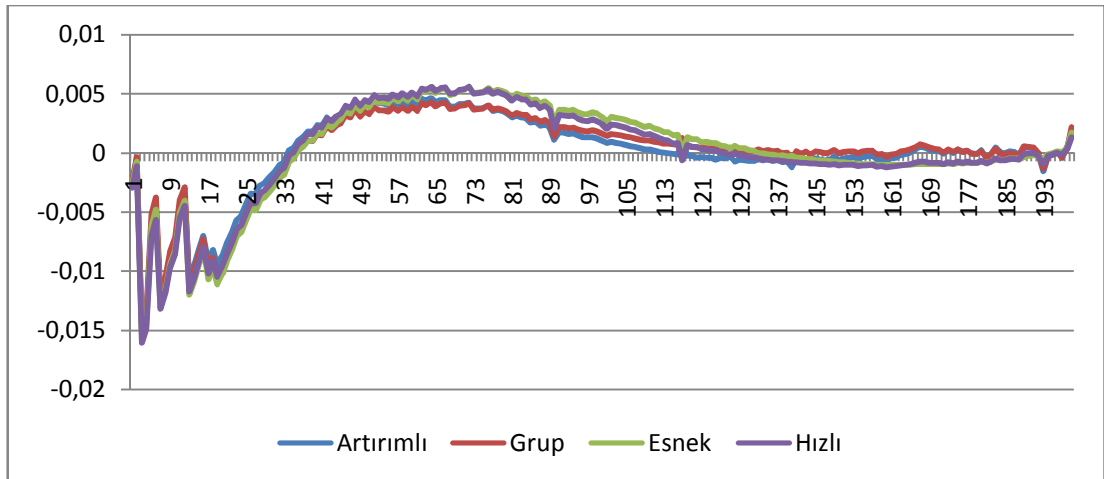
şekil 5.9 4 giriş 10 ara n3ronlu YSA yapısı



Şekil 5.10 Artırımlı geri yayılım 8 ve 10 nöron karşılaştırma

Görüldüğü gibi artırımlı geri yayılım algoritmasında 8 ve 10 nöronlu topolojilerde öğrenme oranı birbirine çok yakındır. İşlem kolaylığı ve hızlı tepki verebilme açısından 10 nöron yerine 8 nöron kullanımı uygun görülmektedir.

Her dört algoritma ile temel koşullar aynı kalmak şartı ile 4 giriş 10 ara nöron ağ yapısı ile yapılan eğitim sonuçları Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11 4 giriş 10 ara nöronlu YSA performans karşılaştırılması

Elde edilen bu veriler ışığında hata oranı en düşük YSA eğitim algoritmasının artırımlı geri yayılım (IBP) olduğu görülmüştür. Grup mod geri yayılım (BBP)

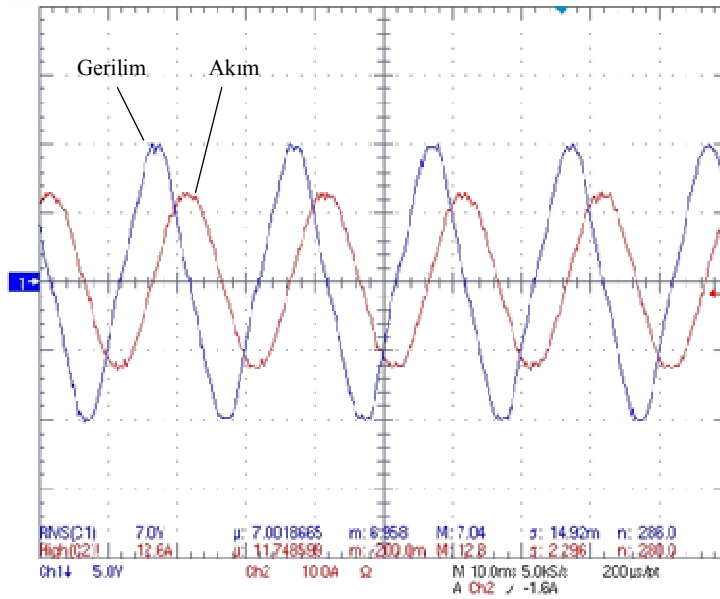


algoritmasının en iyi ikinci eğitim yapısı olduğu ve hata değerinin esnek ve hızlı geri yayılımdan küçük olduğu tespit edilmiştir. Hızlı geri yayılım (QBP) algoritmasının eğitim performansı açısından en iyi üçüncü ve esnek geri yayılım (RBP) algoritmasının en iyi dördüncü olduğu belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen performans testleri sonucunda en yüksek performans için ara nöron sayısının 7 ve üzerinde, giriş sayısının ise 3 ve üzerinde olması gerektiğini ortaya koymuştur.

## 5.2. Ağırlık Değerlerinin Mikrodenetleyiciye Uygulanması

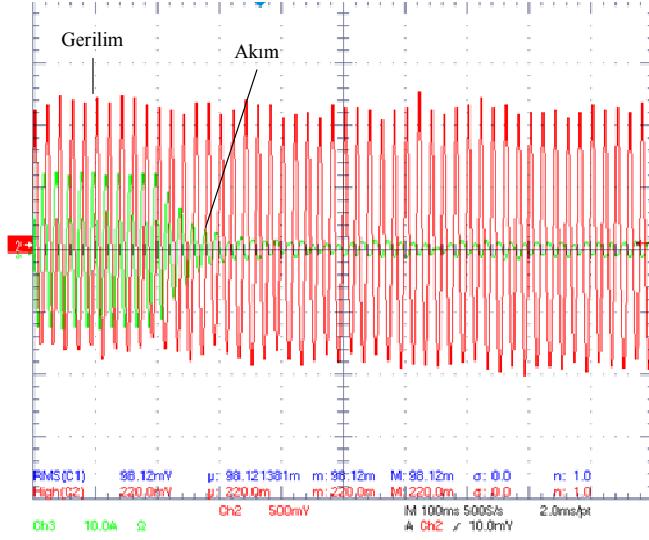
Senkron motor asenkron olarak çalışırken akım ve gerilim sinyalleri Şekil 5.12’de görüldüğü gibi 80 derecenin üzerinde faz farklıdır.



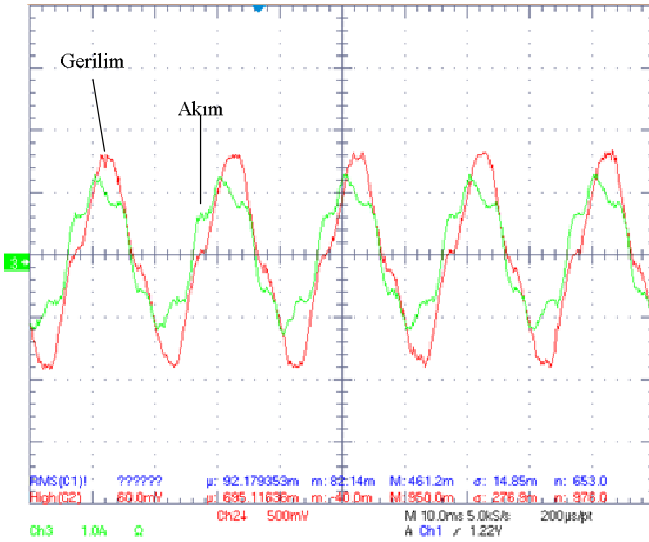
Şekil 5.12 Senkron motor asenkron çalışma akım gerilim grafiği

Senkron motor yüksüz olarak çalışırken, 4 giriş ve ara katmanda 10 nöron ile eğitim işlemi gerçekleştirilen YSA kontrolörün hesapladığı ağırlık değerleri mikrodenetleyiciye gönderilerek çalışması sağlanmıştır. Asenkron çalışmadan

senkron çalışmaya geçiş anı Şekil 5.13'de görülmektedir. Şekil 5.14'de ise senkron çalışmaya geçmiş durumda akım ve gerilim sinyallerinin şekli görülmektedir.



Şekil 5.13 Senkron çalışmaya geçiş anı

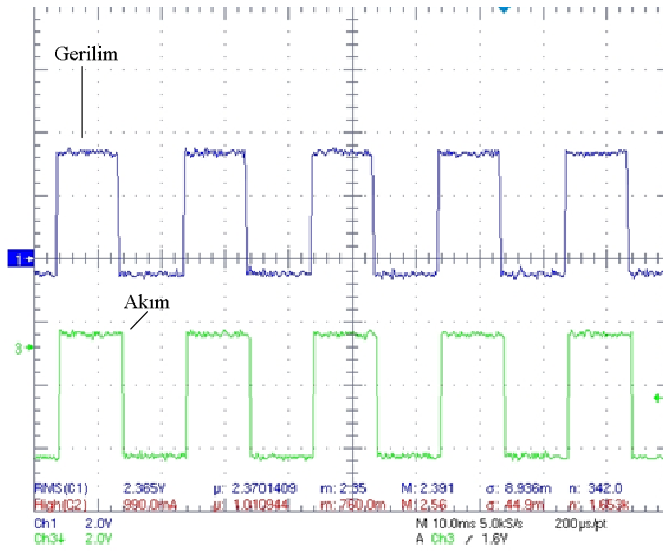


Şekil 5.14 Senkron motor yüksüz çalışma durumu

Senkron motor asenkron olarak çalışırken sargılarına uyarım akımı verildiği anda yaklaşık 4 periyotluk bir süre sonunda senkron çalışma durumuna geçmektedir. Bu 4 periyotluk sürede şebekeden çekilen akım dengelenmekte ve motor akım ve gerilim sinyalleri arasında faz farkı olmadan omik bölgede çalışmasını sürdürmektedir.

Motor YSA denetimi ile senkron çalışmaya geçtiğinde devreden yaklaşık 0,8 A akım çekmektedir. Asenkron çalışma modunda 8,5-9 A akım çeken senkron motor uyarım sargılarına YSA denetimi ile DA gerilim uygulandığında şebekeden çekilen akım değeri yaklaşık 10 kat azalmıştır.

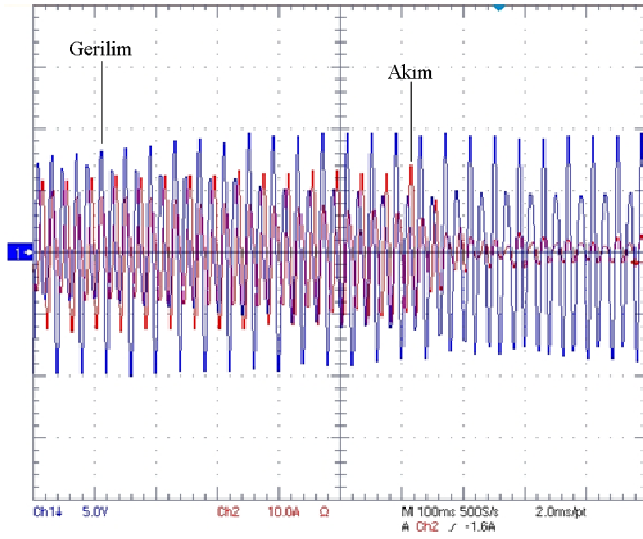
Şekil 5.15’de verilen sıfır geçiş devresinden elde edilen sinyallerden de görüldüğü gibi akım ve gerilim sinyalleri arasındaki faz farkı sıfır olmuştur. Böylelikle motor omik eksende minimum akım değeri ile çalışmaktadır.



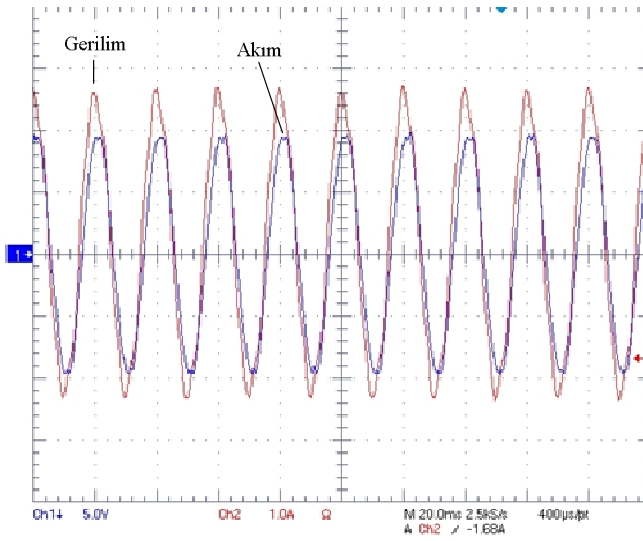
Şekil 5.15 Sıfır geçiş denetleyicisinden elde edilen sinyaller

3. kademe endüktif ve 3. derece omik yüklerle yüklenmiş senkron motorun YSA kontrolü ile çalışmaya başlama anındaki faz akımı ve geriliminde ki değişimi gösteren osiloskop ekranı Şekil 5.16’da görülmektedir.

Bu durumda osiloskop ekranında her bir karenin değeri 10 A olduğundan senkron çalışmaya geçildiği anda çekilen akım değeri yüklü durumda yaklaşık 2,5 A dolaylarına yükselmiştir. Senkron motorun omik ve endüktif yüklü olma durumunda referans güç katsayısını yüksek bir hassasiyetle takip ettiği görülmüştür. Şekil 5.17’de senkron çalışma anında, senkron motora ait akım ve gerilim sinyallerinin durumu verilmiştir.



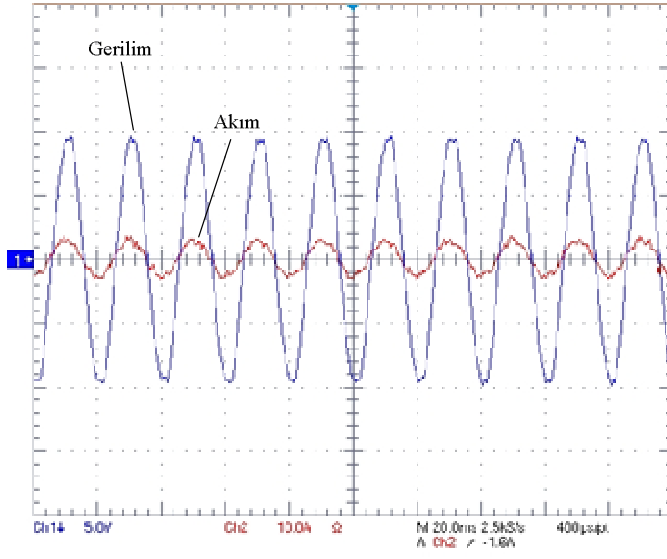
Şekil 5.16 3. kademe endüktif ve 3. kademe omik yüklü senkron motor



Şekil 5.17 Yüklü durumda akım-gerilim dalga şekilleri

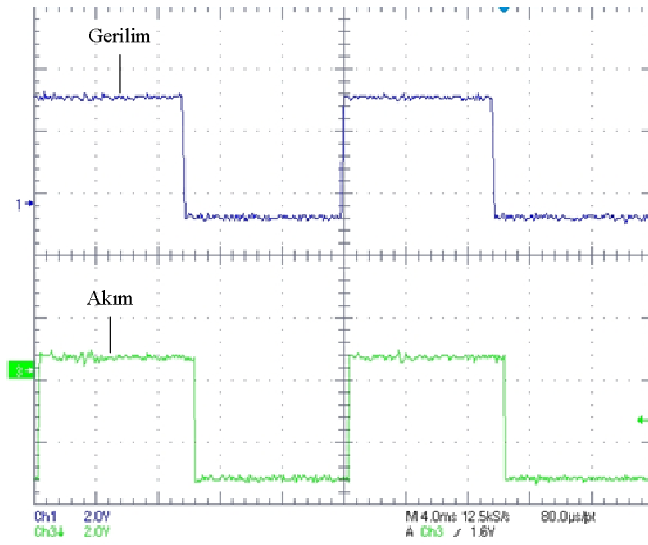
Endüktif ve omik yük değerinin 4. kademeye alınması durumunda elde edilen ölçüm sonuçları Şekil 5.18’de verilmiştir. Bu durumda faz akımı yaklaşık 2,75 amper olmaktadır.

Şekil 5.18’de görüldüğü gibi akım ve gerilim sinyalleri aynı fazlıdır. PWM sinyalinin doluluk oranı YSA tarafından doğru bir şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 5.18 4. kademe endüktif ve 4. kademe omik yüklerle çalışma

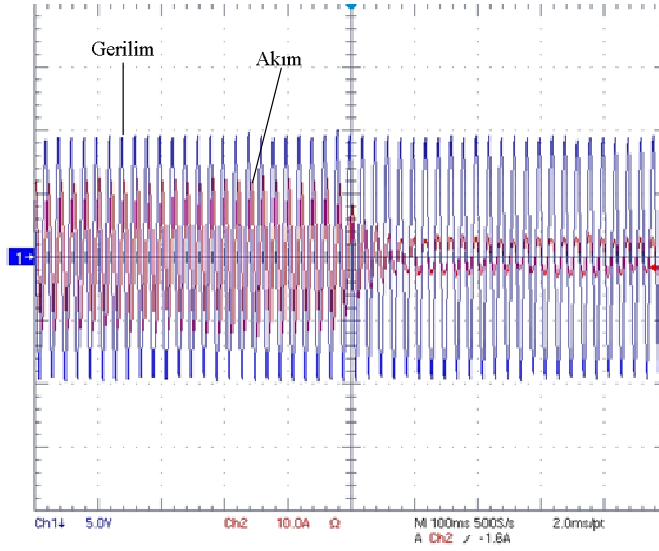
Sıfır geçiş devrelerinden elde edilen sinyaller ise Şekil 5.19’da verilmiştir.



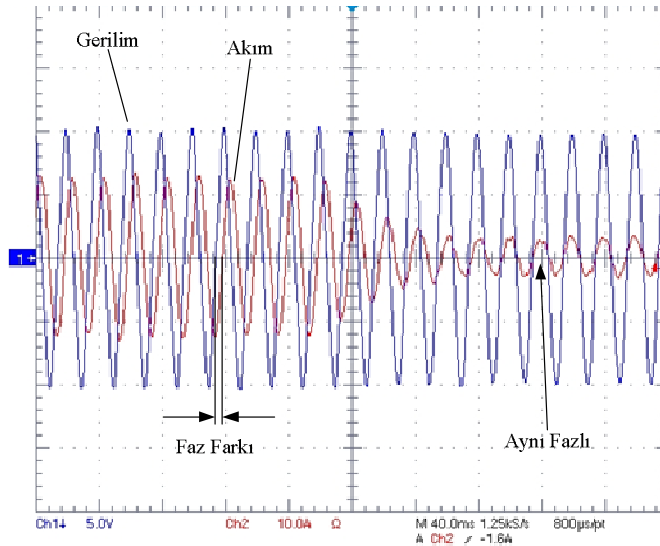
Şekil 5.19 Sıfır geçiş denetleyicisinden elde edilen sinyaller

Sıfır geçiş algılayıcısından elde edilen akım ve gerilim sinyalleri arasında faz farkı bulunmamaktadır. Senkron motor ile RGK sistemine ait hesaplanan PWM sinyali çok yüksek doğrulukta çıkış üretmektedir.

Senkron motor 4.derece endüktif ve 4. derece omik yükle çalışırken 2 derece kapasitif yük grubu devreye alınmış ve YSA yeniden uygulanmıştır. Bu geçiş durumuna ait akım ve gerilim dalga şekilleri Şekil 5.20’de verilmiştir. Elde edilen bu dalga şekillerinin büyütülmüş hali Şekil 5.21’de görülmektedir.



Şekil 5.20 Omik, endüktif ve kapasitif yüklü senkron motor



Şekil 5.21 Genişletilmiş dalga şekli

Çalışmada kullanılan senkron motorun etiket değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Senkron motor etiket değerleri

V (Volt)	I	I <sub>u</sub>	Hız	Cosφ	Güç	Ağırlık
$\lambda - \Delta$	(Amper)	(Amper)	(d/d)		(kVA)	(kg)
400-231	5.8-10	2.25	1500	0,8	4	156

Çalışmada şebekeyi yüklemek amacıyla kullanılan ve De Lorenzo firmasına ait DL 1017R omik yük grubu, DL 1017L endüktif yük grubu ve DL 1017C kapasitif yük grubu ile ilgili etiket ve kademe değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Omik, endüktif ve kapasitif yük/kademe değerleri

	1.Kademe	2.Kademe	3.Kademe	4.Kademe	5.Kademe	6.Kademe	7.Kademe
R	1050 Ω	750 Ω	435 Ω	300 Ω	213 Ω	150 Ω	123 Ω
L	4.46 H	3.19 H	1.84 H	1.27 H	0.90 H	0.64 H	0.52 H
C	2 μF	3 μF	5 μF	8 μF	10 μF	13 μF	18 μF

Tasarım ve uygulaması gerçekleştirilen YSA denetimli senkron motor ile RGK sistemine ait fotoğraflar Resim 5.1, Resim 5.2 ve Resim 5.3’de verilmiştir.



Resim 5.1 Deney seti genel görünüm





Resim 5.2 Bilgisayar yazılımı ve donanımların genel görünümü



Resim 5.3 Senkron motor, yükler ve deney setleri



Resim 5.4’de uygulamada kullanılan senkron motora ait bir görüntü verilmiştir.



Resim 5.4 Senkron motor genel görünümü

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada RGK uygulaması YSA denetimli senkron motor kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut kompanzasyon sistemleri kondansatör ile yapılırken, bu çalışmadaki kompanzasyon sistemi senkron motor ile yapılmıştır. Senkron motor ile yapılan kompanzasyonda, senkron motor işletmede başka bir amaçla kullanıldığı için ek bir maliyet getirmemektedir. Kompanzasyon işlemi sadece senkron motorun uyarım akımı değiştirilerek yapıldığından, güç katsayısının istenen değerlerdeki kontrolü daha kolay olmaktadır. YSA denetim uygulamasının senkron motorun dinamik kompanzasyon olarak çalışma etkinliğini ve performansını artırdığı literatürde rapor edilmektedir. Bu nedenle uygulamada YSA kontrol algoritması tercih edilmiştir.

Senkron motora yol verme metotları, çalışma prensibi, yük değişiminin senkron motora etkileri, uyarım akımındaki değişikliğin senkron motora etkisi ve senkron motorun RGK'da kullanımı ayrıntıları ile analiz edilmiştir. Dinamik kompanzasyon sistemlerinde kullanılan senkron motorun, diğer alternatif akımla çalışan motorların aksine, kapasitif olarak çalıştırılarak adeta bir kondansatör gibi sistemde nasıl kullanılabileceğini anlayabilmek için senkron motorun temel özellikleri verilmiştir. Senkron motorların uyarım akımlarının değiştirilmesi ile motorun kapasitif, endüktif veya omik olarak çalıştırılmasının nasıl sağlandığı izah edilmiştir. Senkron motorun RGK'da nasıl kullanıldığı ayrıntıları ile açıklanmıştır.

Bu çalışmada, senkron motor ile yapılan RGK denetiminde kullanılabilen YSA eğitim ve performans test programı gerçekleştirilmiş ve elde edilen ağırlık değerlerinin mikrodenetleyiciye gönderilmesi ile kullanıcıya, gerçek zamanlı uygulama yapma imkanı sunulmuştur. Kullanıcı ayrıca ağırlık topolojisi ve eğitim yöntemini seçerek, uygulama aşamasında karşılaşılabileceği olumsuzlukları önceden test edebilmektedir. Programın başlangıç anından itibaren her noktasında kullanıcıya bilgilendirme ve dönüt verilmekte, böylelikle sürdürülen işlem ya da işlemler hakkında sürekli bilgi sahibi olması sağlanmaktadır. Bu bilgi ağı sadece sayısal

değerlerle sınırlı kalmayıp grafiklerle de desteklenerek öğrenme ve değerlendirmenin kalıcı olması sağlanmaktadır.

Eğitim işlemlerinde kullanılacak senkron motor parametrelerinin çok yüksek hassasiyetle elde edilmesi ve ağıın tamamının bile tasarlanan program ile haritalanmasının mümkün olması, çalışmayı benzerlerinden oldukça farklı ve kapsamlı kılmaktadır.

Gerçekleştirilen YSA kontrol sistemi, esnek ve adaptif bir yapıda tasarlandığı için kolaylıkla diğer elektrik makinalarının kontrol uygulamalarında kullanılabilir. Modüler bir yapıda tasarlanan sistem daha büyük ve kapsamlı uygulamalara da kolaylıkla adapte edilebileceğinden yapının bütünlüğüne her hangi bir zarar vermeden modül ekleme veya çıkarma işlemleri gerçekleştirilebilecektir.

Çalışmada kullanılan senkron motor milinden elde edilen mekanik enerji herhangi bir şekilde kullanılmamaktadır. Bu tip bir uygulamanın mekanik güçten de faydalanılarak gerçekleştirilmesi daha uygun ve hesaplı bir yöntem olacaktır.

## KAYNAKLAR

Al-Hamrani, M.M., Von Jouanne, A., & Wallace, A., “Power factor correction in industrial facilities using adaptive excitation control of synchronous machines”, *Pulp and Paper Industry Technical Conference*, Conference Record of the Annual, 148–154 (2002).

Aldemir R., “Sürekli Miknatıslarla Uyarılmış Senkron Makinalar Üzerine Bir İnceleme”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, *Doçentlik Tezi*, Trabzon, 52-58 (1977).

Arifoğlu A., Doğru A., “Yazılım Mühendisliği”, *SAS Bilişim Yayınları*, 102-105 (2001).

Bal G., Çolak İ., “Reactive power compensator using constant capacitor and thyristor controlled reactor”, *Gazi University, J. of Institute of Science and Technology*, 8(2): 9-15 (1995).

Bayındır M.İ., “Seri Uyarımlı Senkron Motorun Dinamik Davranış Modellemesi”, Fırat Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Elazığ, 3-7 (1996).

Bayındır R., Sagioglu S., Colak I, “Yapay sinir ağları tabanlı reaktif güç kompanzasyonu”, *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi*, 10(2): 129-135 (2007).

Bayındır R., Sağiroğlu Ş. and Çolak İ., "An Intelligent Power Factor Corrector for Power System Using Artificial Neural Networks”, *Electrical Power System Research*, 79, 152-160 (2009).

Bayındır R., Çolak İ., Kabalcı E., Görgün A., “PID Controlled Synchronous Motor for Power Factor Correction ”, *2<sup>nd</sup> International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives POWERENG-2009*, Portugal, 141-159 (2009).

Bayram M., “Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu”, *Birsen Yayınevi*, 40-45 (2000).

Bertsekas, D. P., Tsitsiklis J. N., “Neuro-Dynamic Programming”, *Athena Scientific*, ISBN 1-886529-10-8, Belmont MA., 82-87 (1996).

Çolak İ., Bayındır R., Görgün A., Kundakoğlu H., “Senkron Motorda Değişik Çalışma Durumlarının Gözlenmesi”, *EMO IV.Otomasyon Sempozyumu*, Samsun, 78-92 (2007).

Çolak İ.,”Senkron Makinalar”, *Seçkin Yayıncılık*, 20-35 (2003).

El-Sadek, M.Z., Fetih, N.H., & Abdelbar, F.N. "Starting of induction motors by static VAR compensators", *Third International Conference on Power Electronics and Variable-Speed Drives*, 444–447 (1988).

Fahlman, S.E., Lebiere, C., "The Cascade-Correlation Learning Architecture", in Touretzky, D.S., "Advances in Neural Information Processing Systems 2, *Morgan Kaufmann Publishers*, Los Altos, CA, 524-532 (1990).

Fahlmann, S.E., "An Empirical Study of Learning Speed in Backpropagation Networks, *Technical Report CMU-CS-88-162, Carnegie Mellon University*, 126-129 (1989).

Gang L., Yu F., "A Hybrid Nonlinear Autoregressive Neural Network for Permanent-magnet Linear Synchronous Motor Identification", *Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems*, 310- 314 (2005).

Guo H.J., Sagawa S., Watanabe T., Ichinokura O., "Sensorless Driving Method of Permanent-Magnet Synchronous Motors Based on Neural Networks", *IEEE Transactions On Magnetics*, 39: 3247-3249 (2003).

Littmann E., Ritter, H., "Learning and generalization in cascade network architectures", *Neural Computation*, 2: 567-574 (1996).

Mekhamer, S.F., El-Hawary, M.E., Mansour, M.M., Moustafa, M.A., & Soliman, S.A., "State of the art in optimal capacitor allocation for reactive power compensation in distribution feeders", *IEEE Large Engineering Systems Conference on Power Engineering*, LESCOPE 02: 61-75 (2002).

Miller T.J.E., "Reactive Power Control in Electric Systems", *A Wiley-Interscience Publication*, New York, 182-222 (1982).

Neuralworks Inc, Neural Computing, "A Technology Handbook for Professional II/Plus and Neuralworks Explorer"*NeuralWare Inc. Technical Publications Group*, Pittsburg, 25-27 (1996).

Öztemel E., "Yapay Sinir Ağları", *Papatya Yayıncılık*, İstanbul, 30-48 (2003).

Prechelt, L. "Investigation of The Cascor Family of Learning Algorithm", *Neural Networks*, 10: 885-896 (1997).

Rashid M.H., "Power Electronics", *Prentice Hall*, 106-114 (1988).

Rosenblatt, F., "The Perceptron, a probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain", *In Psychological Review*, 65: 386-408 (1958).

Saad, D., “On Line Learning in Neural Networks, *Cambridge University Press*, Cambridge 125-128 (1998).

Sağiroğlu S., Colak I, Bayındır R., “Power Factor Correction Technique Based on Artificial Neural Networks”, *Energy Conversion and Management, Energy Conversion and Management*, (47/ 18-19):, 3204-3215 (2006).

Sağiroğlu Ş., Eriş M., Beşdok E., “Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1”, *Ufuk Yayınevi*, Kayseri 104-123 (2003).

Sarıoğlu K., “Elektrik Makinalarının Temelleri 2”, *İTÜ. Yayınları*, İstanbul 68-73 (1994).

Sesveren Ö., “Nesnel Tabanlı Yapay Sinir Ağı Yazılımı ve Senkron Motor Reaktif Güç Kompanzator Simülatörü”,Gazi Üniv.Fen Bil.Ens.,*Yük.Lis.Tezi*, Ankara 8-15 (2008).

Ünal S., Özdemir M., “Sensorless Control of the Permanent Magnet Synchronous Motor Using Neural Networks”, *International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics*, (10-12), 638 – 642 (2007).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÖRGÜN, Alper  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 05.02.1981 Adana  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (505) 759 60 81 – 0 (544) 435 78 30  
 Faks :  
 e-mail : [alpergorgun01@gmail.com](mailto:alpergorgun01@gmail.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniv.FBE / Elektrik Eğitimi Bölümü	2009
Lisans	Gazi Üniv. / Elektrik Eğitimi Bölümü	2006
Lise	Çukurova Teknik Lisesi / Elektrik Bölümü	1999

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-2008	Elektrik Teknisyenleri Federasyonu	Teknik Danışman
2008-	Hacıbektas Veli MYO	Öğr.Gör.

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

1. Bayindir R., Çolak İ., Kabalci E. and Gorgun A., "A New Approach to PID Controlled Synchronous Motor for Power Factor Correction ", International

Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), 142, Lizbon, Portugal, 2009.

2. Bayındır R., Görgün A., “PIC Tabanlı Bir PI Denetleyici ile Senkron Motor Kullanılarak Bir Kompanzator Uygulaması”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt: 15, Sayı: 1, pp.87-99, Denizli, 2009.

3. Bayındır R., Sefa İ. Demirbas Ş., Çolak İ. and Gorgun A., "A user Friendly Educational Tool for Observing Synchronous Motor Operation Conditions", TPE-2008 4<sup>th</sup> Conference on Technical and Physical Problems in Power Engineering, pp. 216-219, 4-6 September, University of Pitești, Romania, 2008.

4. Bal G., Bekiroğlu E., Bayındır R., Görgün A., “Yürüyen Dalga Tip Ultrasonik Motor Denetimi ve Bilgisayarla İzlenmesi”, Politeknik Dergisi Cilt: 9 Sayı: 4 s.225-231, 2006

5. Görgün A., Demircan H.H., “Denetleyici Tabanlı Ampermetre Tasarımı ve Uygulaması”, Süleyman Demirel Üniversitesi V.Ulusal Öğrenci Sempozyumu, 2005

6. Görgün A., “Yürüyen Dalga Tip Ultrasonik Motorun Bilgisayar Destekli Otomasyonu”, Süleyman Demirel Üniversitesi V.Ulusal Öğrenci Sempozyumu, 2005

7. Çolak İ., Bayındır R., Görgün A., Kundakoğlu H., “Senkron Motorda Değişik Çalışma Durumlarının Gözlenmesi”, IV.Otomasyon Sempozyumu, 2007, Samsun