

**OLASILIK SINIR AğI KULLANARAK  
ALTERNATÖR ARIZALARININ TESPİTİ**

**2010  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EğİTİMİ**

**Emel KOÇAK**

**OLASILIK SİNİR AĞI KULLANARAK ALTERNATÖR ARIZALARININ  
TESPİTİ**

**Emel KOÇAK**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Haziran 2010**

Emel KOÇAK tarafından hazırlanan “OLASILIK SİNİR AĞI KULLANARAK ALTERNATÖR ARIZALARININ TESPİTİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Raif BAYIR

Tez Danışmanı, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/06/2010

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Raif BAYIR (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Salih GÖRGÜNOĞLU (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Fecir DURAN (GÜ)



20/08/2010

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Süleyman GÜNDÜZ



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*



Emel KOÇAK

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **OLASILIK SİNİR AĞI KULLANARAK ALTERNATÖR ARIZALARININ TESPİTİ**

**Emel KOÇAK**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Doç. Dr. Raif BAYIR**

**Haziran 2010, 96 sayfa**

Alternatörler mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren elektromekanik cihazlardır. Alternatörler taşıtlarda, rüzgâr türbinlerinde ve hidroelektrik santrallerinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadırlar. Bu cihazlar arızalandığında hem maddi hem manevi kayıplara neden olmaktadır. Bu yüzden alternatörlerde arızaların erken teşhis edilmesi önemlidir. Bu çalışma ile alternatörlerde arıza teşhisi yapılabilmektedir. Alternatöre ait akım, gerilim ve devir bilgileri bir veri alış veriş kartı yardımıyla gerçek zamanlı olarak Matlab ortamına aktarılmaktadır. Alternatör arızalarını tespit etmek için yapay zeka teknikleri kullanılmıştır. Bu teknikler bulanık mantık, ileri beslemeli ağı ve olasılık sinir ağıdır. Bu tekniklerden olasılık sinir ağı başarımının yüksek olmasından dolayı gerçek zamanlı arıza teşhisinde tercih edilmiştir. Alternatör arızalarının erken teşhis edilmesi ile üretilen enerjinin verimliliği artacaktır. Erken teşhis ile de bakım masraflarının azalması sağlanacaktır.

**Anahtar Sözcükler :** Arıza teşhisi, alternatörler, olasılık sinir ağı, yapay zeka teknikleri

**Bilim Kodu :** 702.3.013

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

# **FAULT DIAGNOSIS OF ALTERNATORS USING PROBABILISTIC NEURAL NETWORK**

**Emel KOÇAK**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Electronic and Computer Education**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Raif BAYIR**

**June 2010, 96 pages**

Alternators are equipments that convert mechanical energy to electrical energy. Alternators are used in vehicles, wind power turbines and hydroelectric power plants to generate electrical energy. When this equipments breakdown they damage financially and incorporeally so early fault diagnosis of alternators is important. In this study, alternator failures can be diagnosed. Current, voltage, and revolution data are possible to be measured and they were real time transferred to Matlab via data acquisition card. Artificial intelligence techniques were used to detection alternator failures. These techniques are fuzzy logic, feed forward neural network and probablistic neural network. Because of its success probablistic neural network is used in real time fault diagnosis. Renewable energy sources will be used more efficiently and repairing costs will be reduced by early diagnosis of failures.

**Key Words** : Fault diagnosis, alternators, probabilistic neural network, artificial intelligence techniques

**Science Code** : 702.3.013



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Raif BAYIR'a teŐekkürlerimi sunarım.

Deneysel alıŐmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Ali UYSAL, Serdar DERİCİ, Tuncay SOYLU ve Metin KAYNAKLI'ya teŐekkürü bir borç bilirim.

Her zaman beni destekleyen aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu alışma Karabük Üniversitesi bünyesinde Elektro Efor Endüstriyel Tasarım Sanayi Ticaret firması ile birlikte Doç. Dr. Raif BAYIR tarafından yürütölen Sanayi ve Ticaret Bakanlığının SANTEZ Ar-Ge destek programı kapsamında 00290.STZ.2008-2 kodlu "Otomobiller ve Rüzgar Enerjisi için Sabit MıknatıŐlı Alternatör Üretimi" projesi kapsamında desteklenmiŐtir. Bu desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	6
ELEKTRİK MAKİNELERİNDE ARIZA TEŞHİSİ VE TESPİTİ .....	6
BÖLÜM 3 .....	12
YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ.....	12
3.1. BULANIK MANTIK.....	14
3.1.1. Üyelik Fonksiyonları.....	15
3.1.2. Bulanıklaştırma .....	17
3.1.3. Dilsel değişkenler.....	18
3.1.4. Bulanık çıkarım.....	18
3.1.5. Durulaştırma.....	19
3.2. YAPAY SİNİR AĞLARI .....	21
3.2.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları.....	27
3.2.2. Olasılık Sinir Ağı .....	28
BÖLÜM 4 .....	31
ALTERNATÖRLER .....	31

4.1. RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE KULLANILAN GENERATÖRLER.....	33
4.1.1. Asenkron Generatör .....	33
4.1.2. Senkron Generatör .....	35
4.1.3. Doğru Akım Generatörü .....	36
4.1.4. Anahtarlı Relüktans Generatör.....	37
4.1.5. Generatör Arızaları.....	37
4.1.6. Generatör Arızalarından korunma yöntemleri .....	38
4.2. TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATÖR ÇEŞİTLERİ .....	40
4.2.1 Klasik Tip Alternatörler .....	40
4.2.2 Kompakt Alternatörler .....	40
4.2.3 Pençe Tipi Alternatörler .....	41
4.2.4. Yuvarlak Tip Rotoru Olan Alternatörler .....	41
4.3. ALTERNATÖRLERİN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ .....	42
4.3.1. Yıldız Bağlantı .....	45
4.3.2. Üçgen Bağlantı.....	46
4.3.4. Alternatif Akımın Doğrultulması.....	47
4.3.5. Gerilim Regülatörü.....	49
4.3.6. Alternatörün Matematiksel Hesaplamaları .....	50
4.4. ALTERNATÖRLERDE MEYDANA GELEN ARIZALAR .....	56
BÖLÜM 5 .....	61
ALTERNATÖR ARIZALARININ ÖLÇÜMÜ .....	61
5.1. ALTERNATÖR ARIZALARININ ÖLÇÜMÜ VE ARIZA TEŞHİSİ İÇİN TEST DÜZENİĞİNİN HAZIRLANMASI .....	61
5.2. TEST DÜZENİĞİ BİLEŞENLERİ.....	63
5.2.1. Alternatör .....	63
5.2.2. Asenkron Motor .....	64
5.2.3. Motor Sürücü .....	65
5.2.4. Akü.....	65
5.2.5. Ayarlı Direnç.....	67
5.2.6. Veri Alış Veriş Kartı .....	67
5.2.7. Endüktif Algılayıcı.....	68
5.2.8. Frekans Gerilim Dönüştürücü .....	68

5.2.9. Akım Probu .....	69
5.3. ARIZALI ALTERNATÖRLERİN ÖLÇÜMÜ .....	69
BÖLÜM 6 .....	77
YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ KULLANARAK ARIZA TEŞHİSİ.....	77
6.1. BULANIK MANTIK KULLANARAK ALTERNATÖRLERDE ARIZA TEŞHİSİ.....	77
6.2. İLERİ BESLEMELİ SİNİR AĞI KULLANARAK ALTERNATÖRLERDE ARIZA TEŞHİSİ .....	82
6.3. OLASILIK SİNİR AĞI KULLANARAK ALTERNATÖRLERDE ARIZA TEŞHİSİ .....	84
6.4. OLASILIK SİNİR AĞI KULLANARAK GERÇEK ZAMANLI OLARAK ALTERNATÖRLERDE ARIZA TEŞHİSİ .....	86
BÖLÜM 7 .....	88
SONUÇLAR .....	88
KAYNAKLAR .....	90
ÖZGEÇMİŞ .....	96

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2. 1.	Elektrik makinelerde durum izlemenin tarihi gelişimi. ....	8
Şekil 2. 2.	Uzmanın arıza tespit ve teşhis işlemi. ....	10
Şekil 3. 1.	Yapay zeka teknikleri. ....	13
Şekil 3. 2.	Üyelik fonksiyonu şekilleri. ....	16
Şekil 3. 3.	Bulanık mantık sisteminin temel yapısı. ....	17
Şekil 3. 4.	Max-Min yöntemi ile bulanık çıkarım. ....	19
Şekil 3. 5.	Temel yapay sinir ağı hücresi. ....	25
Şekil 3. 6.	Aktivasyon fonksiyonları. ....	26
Şekil 3. 7.	Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı. ....	27
Şekil 3. 8.	PNN sinir ağının yapısı. ....	30
Şekil 4. 1.	Alternatör. ....	31
Şekil 4. 2.	Alternatörlerin kullanım alanları. ....	32
Şekil 4. 3.	Pençe tipi alternatör. ....	41
Şekil 4. 4.	Komitatör. ....	42
Şekil 4. 5.	Alternatif akımın zamana bağlı olarak yön değiştirmesi. ....	43
Şekil 4. 6.	Üç bobinli alternatör. ....	44
Şekil 4. 7.	Fazların oluşumu. ....	44
Şekil 4. 8.	Yıldız bağlı statorun yapısı. ....	45
Şekil 4. 9.	Yıldız bağlantı ve vektör poligonu. ....	46
Şekil 4. 10.	Üçgen bağlantı. ....	47
Şekil 4. 11.	Üç fazlı AA akımın doğrultulması. ....	47
Şekil 4. 12.	Taşıtlardaki en temel alternatör ve şarj sistemi. ....	48
Şekil 4. 13.	Gerilim regülatörü çalışma prensibi. ....	49
Şekil 4. 14.	Gerilim regülatörünün görevi. ....	49
Şekil 4. 15.	Üç fazlı bir senkron makinenin parametreleri. ....	50
Şekil 4. 16.	Üç fazlı senkron makinenin sürekli çalışma durumundaki devresi. ....	53
Şekil 4. 17.	Endüktif yüklü alternatörün sürekli çalışma vektör diyagramı. ....	55

Şekil 4. 18. Alternatör test cihazı. ....	58
Şekil 5. 1. Deney düzeneğinin blok diyagramı. ....	61
Şekil 5. 2. Alternatör test standı. ....	62
Şekil 5. 3. Alternatör bileşenleri. ....	63
Şekil 5. 4. Pençe tipi alternatör. ....	64
Şekil 5. 5. Pençe tipi alternatör performans grafiği. ....	64
Şekil 5. 6. Asenkron Motor. ....	65
Şekil 5. 7. Motor sürücü. ....	65
Şekil 5. 8. 12V 60Ah 420A akü. ....	66
Şekil 5. 9. 12V Kurşun asit akü performans eğrileri. ....	66
Şekil 5. 10. Ayarlı direnç. ....	67
Şekil 5. 11. Veri alış veriş kartı ve terminal bordu. ....	67
Şekil 5. 12. Endüktif temassız algılayıcı. ....	68
Şekil 5. 13. Seneca Z111 frekans dönüştürücü. ....	69
Şekil 5. 14. Akım probu. ....	69
Şekil 5. 15. Verilerin toplanması. ....	70
Şekil 5. 16. Alternatörün normal çalışma eğrileri. ....	71
Şekil 5. 17. Kısa devre arızası. ....	72
Şekil 5. 18. Tek doğrultma diyotu arızası. ....	72
Şekil 5. 19. Çift doğrultma diyotu arızası. ....	73
Şekil 5. 20. Gergin kayış arızası. ....	73
Şekil 5. 21. Gevşek kayış arızası. ....	74
Şekil 5. 22. Regülatör arızası. ....	74
Şekil 5. 23. Açık devre arızası. ....	75
Şekil 5. 24. Gevşek fırça arızası. ....	75
Şekil 5. 25. Tridiyot arızası. ....	76
Şekil 5. 26. Akü arızası. ....	76
Şekil 6. 1. Bulanık mantık modeli. ....	78
Şekil 6. 2. Giriş değişkenleri. ....	78
Şekil 6. 3. Çıkış değişkeni. ....	80
Şekil 6. 4. Kural tabanı. ....	80
Şekil 6. 5. Kural görüntüleyici. ....	81
Şekil 6. 6. Bulanık mantık tahmin edici. ....	81

Şekil 6. 7. Nntool penceresi. ....	83
Şekil 6. 8. İleri beslemeli sinir ağı modeli. ....	84
Şekil 6. 9. Olasılık sinir ağı yapısı. ....	85
Şekil 6. 10. Olasılık sinir ağı modeli. ....	86
Şekil 6. 11. Gerçek zamanlı olarak alternatörlerde arıza teşhisi modeli. ....	86

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 6.1. Teşhis edilen arıza tablosu.....	79
Çizelge 7.1. Arıza teşhisinde kullanılan YZ tekniklerinin karşılaştırılması.....	88



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$\phi$	:	manyetik akı
$\Psi(s)$	:	aktivasyon fonksiyonu
$\sigma$	:	düzgünleştirme parametresi
$\omega$	:	sabit açısal hız
$\eta$	:	verim
$\rho$	:	iletkenin öz direnci
$\mu_A$	:	A değişkeninin bulanıklık derecesi
$\mu_{A1}$	:	A1 giriş değişkeninin bulanıklık derecesi
$\mu_{B1}$	:	B1 giriş değişkeninin bulanıklık derecesi
$\mu_C$	:	C çıkış değişkeninin bulanıklık derecesi
$\mu_{C1}$	:	C1 çıkış değişkeninin bulanıklık derecesi
$\mu_{C2}$	:	C2 çıkış değişkeninin bulanıklık derecesi
$\{i_{sr}\}$	:	alternatörün akımlar matrisi
$\{L_{sr}\}$	:	alternatörün endüktanslar matrisi
$\Sigma$	:	toplam fonksiyonu
$\Re$	:	reel sayılar
$\theta$	:	manyetik alan ile halka düzleminin normali arasındaki açı
$\theta_u$	:	alternatörün uyarım faz sargısının manyetik akısı
$\theta_r$	:	alternatörün R faz sargısının manyetik akısı
$\theta_s$	:	alternatörün S faz sargısının manyetik akısı
$\theta_t$	:	alternatörün T faz sargısının manyetik akısı
$Y$	:	yıldız bağlantı
$\Delta$	:	üçgen bağlantı
$A$	:	amper
$b$	:	eşik değeri
$\cos \varphi$	:	güç faktörü
$d$	:	alternatörün dakikadaki devir sayısı

dev	:	devir
dk	:	dakika
E	:	fazlar arası gerilim
$E_a$	:	fazlar arası gerilim
$e_u$	:	alternatörün uyarım faz sargısında indüklenen gerilim
$e_r$	:	alternatörün R faz sargısında indüklenen gerilim
$e_s$	:	alternatörün S faz sargısında indüklenen gerilim
$e_t$	:	alternatörün T faz sargısında indüklenen gerilim
f	:	frekans
f(x)	:	aktivasyon fonksiyonu
fA(x)	:	A sınıfının olasılık yoğunluk fonksiyonu
Hz	:	hertz
I	:	akım
$i_u$	:	alternatörün uyarım fazının akımı
$i_r$	:	alternatörün R fazının akımı
$i_s$	:	alternatörün S fazının akımı
$i_t$	:	alternatörün T fazının akımı
J	:	atalet momenti
L	:	iletkenin boyu (m)
$L_a$	:	DA motorunun endüvi sargısının endüktansı
$L_u$	:	alternatörün uyarım sargısının endüktansı
$L_{um}$	:	DA motorunun Uyarım sargısının endüktansı
$L_s$	:	senkron öz endüktans
$L_{uu}$	:	alternatörün uyarım faz sargısının öz endüktansı
$L_{rr}$	:	alternatörün R faz sargısının öz endüktansı
$L_{ss}$	:	alternatörün S faz sargısının öz endüktansı
$L_{tt}$	:	alternatörün T faz sargısının öz endüktansı
M	:	stator sargılarının birbirlerine göre karşıt endüktansı
m	:	A sınıfındaki örneklerin sayısı
M1	:	stator sargılarının uyarım devresine göre karşıt endüktansı
Md	:	döndürme momenti
N	:	net değer
n	:	alternatör hızı (dev/dak)

$np$	:	kutup çifti sayısı
$o$	:	nöron çıkışı
$p$	:	giriş vektörünün boyutu
$R$	:	direnç
$rpm$	:	devir (n)
$R_u$	:	alternatörün uyarım faz sargısının direnci
$R_{um}$	:	DA motorunun uyarım sargısının direnci
$R_r$	:	alternatörün R faz sargısının direnci
$R_s$	:	alternatörün S faz sargısının direnci
$R_t$	:	alternatörün T faz sargısının direnci
$S$	:	iletkenin dik kesit alanı ( $m^2$ )
$T$	:	periyot
$V$	:	volt
$V_p$	:	faz gerilimi
$W$	:	watt
$w$	:	yapay sinir ağı ağırlıklar matrisi
$X$	:	yapay sinir ağı girişler matrisi
$X_{Ai}$	:	A sınıfından i. eğitim vektörü
$X'$	:	ölçeklendirilmiş yeni girdi değeri

## KISALTMALAR

AA	: alternatif akım
ARG	: anahtarlama relüktans generatör
DA	: doğru akım
DAG	: doğru akım generatörü
DMSG	: daimi mıknatıslı senkron generatör
EMK	: elektromotor kuvvet
FIFO	: ilk giren ilk çıkar (first in first out)
OYF	: olasılık yoğunluk fonksiyonu
PCI	: çevresel bileşen bağlantısı (peripheral component interconnect)
PID	: oransal integral türev (proportional integral derivative)
PNN	: olasılık sinir ağı (probabilistic neural network)
RSSG	: rotorlu sargılı senkron generatör
SMSG	: sürekli mıknatıslı senkron generatör
SOM	: özörgütlemeli sinir ağı (self organizing map)
TAI	: Türk Uzay Kurumu (Turkish Aerospace Industries Inc.)
YSA	: yapay sinir ağları
YZ	: yapay zeka

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Alternatörler, eski tip üç fazlı senkron makinelerin özel bir türüdür. İlk olarak 1981 yılında Almanya'nın Lauffen kentinden Frankfurt arasındaki üç fazlı elektrik hattında kullanıldılar. İlerleyen yıllarda jeneratörlerin çoğunluğu çıkıntılı veya turbo olarak üretildiği için pençe tip alternatörler ortadan kayboldu. 1960 yılların başında alternatörler tekrar gün yüzüne çıkarak taşıtlarda ve özellikle otomobillerde elektrik üretimi ve gücünü sağlamak için yeniden kullanılmaya başlandı [1]. Alternatörler su türbinleri, rüzgâr, dizel motor gibi çeşitli çeviricilerde kullanılmaktadır.

Günümüz alternatörleri fiyat bakımından uygunluğu, eşsiz makine yapısına sahip olması, sabit verimli olmaları nedeniyle gelişmeler hızlı olmamıştır [2,3]. Ancak araçlarda kullanılan elektronik ekipmanların çoğalması, araçlarda emniyet ve konforun artması yüzünden elektrik ihtiyacı giderek artmaktadır. Bu talebi karşılamak için alternatör üreticileri ve bilim adamları teknolojik gelişmeleri kullanarak alternatörlerin çıkış gücünü, performanslarını ve verimlerini artırmak için çalışmalar yapmaktadırlar [2-7]. Bu çalışmalar; dördüncü dereceden harmonikleri bastırma diyotu ilave etmek, mıknatıs ilavesi yapmak, ikiz rotor kullanmak ve çıkış gerilimlerini güç elektroniği ile hassas kontrol yapmak, vb. olarak verilebilir [8].

Alternatörler ile ilgili akademik çalışmalar günümüzde mevcut olanların verimlerini artırmak, yeni tasarımlar kullanarak yeni alternatörler gerçekleştirmek üzerine yapılmaktadır. Ayrıca alternatörlerde mekanik ve elektriksel arızalarını teşhis etme üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. İleri beslemeli sinir ağları, olasılık sinir ağları ve dalgacık analizi kullanılan uygulamalarda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Uygulamaların bazıları gerçek hayata geçirilmeden önce Matlab gibi yazılımlarda modellenmiştir. Ayrıca sayısal sinyal işleyicilerin bu tip uygulamalarda yeni yeni kullanılmaya başlandığı ve etkili sonuçlar elde edildiği görülmektedir [9-26,54].

Elektrik makinelerinde arızaları bulan ve önceden teşhis edebilen yöntemlerden yapay zeka (YZ) teknikleri elektrik makinelerinde arıza teşhisinde başarıyla kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları (YSA), insanlar tarafından gerçekleştirilmiş, örnekleri kullanarak olayları öğrenebilen, çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üretileceğini belirleyebilen bilgisayar sistemleridir [27]. İnsan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde, öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme ve eniyileme gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadırlar. Örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturur ve daha sonra, benzer konularda benzer kararları verirler.

Hızlı fourier dönüşümü (fast fourier transform) ve Wavelet analizi, genellikle zamana bağlı olarak değişen, durağan olmayan sinyallerin incelenmesinde kullanılmaktadır. Wavelet analizinin, sinyallerin bileşenlerine ayrıştırılmasından, görüntü işleme ve sıkıştırılmaya kadar çok geniş uygulama alanları vardır. Wavelet analizi elektrik makinelerinin arızalarının teşhis edilmesinde de kullanılmaktadır [28-34]. Wavelet analiz sonuçları kullanılarak, sınıflandırma çalışmaları yapılmaktadır [29,35,36].

Sinir ağı kullanılarak gerçekleştirilen arıza teşhis çalışmalarının %80'inde ileri beslemeli sinir ağları tercih edilmektedir [37]. İleri beslemeli sinir ağının hesapsal kolaylığı ve kolayca eğitilebilmesi büyük üstünlük sağlamaktadır.

Benzer şekilde bulanık mantık, günümüzde birçok alana uygulandığı gibi, elektrik makinelerinde arızaların bulunması ve teşhis edilmesinde de başarıyla kullanılmaktadır. Elektrik makinelerinden alınan veriler, bulanıklaştırma işleminden sonra uzman kişiden elde edilmiş kurallar ile sonuca gidilmekte ve arızanın teşhisi mümkün olmaktadır.

Gazdik [38] tarafından yapılan çalışmada arıza teşhisinde bulanık mantık kullanılmasının bazı üstünlükleri vardır. Dilsel ifadelerle sistemin modelini sözlü formülasyonunu geliştirmek mümkündür. Sistemin modelinde sözlü formülasyon temel alınır. Bu formülasyonun doğruluğu sistemin testi sırasında veya gerçek çalışma esnasında gözlemlenerek tespit edilebilir. Değişkenlerin durumlarındaki

farklılıktan yaralanılarak arızalar oluşmadan önlenebilir. Bulanık mantık küme işlemlerinin bilgisayarda programlanması basittir.

Wang and Zeng [39] döner makinelerin arızalarının sınıflandırılmasında bulanık mantığı başarıyla kullanmışlardır. Uzman sistem ve bulanık mantık kullanarak elektrik makinelerinde döner elemanların arızalarını tespit etmişlerdir. Çalışmalarında bulanık mantığın, rulman arızalarının teşhisinde, diğer metotlara göre %100 doğrulukla doğru sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir [40]. Bulanık mantık kullanarak, vibrasyon tabanlı arıza teşhis sistemleri de yapılmıştır. Vibrasyon sinyalinin analiz ederek rulman arızaları teşhis edilmiştir [41].

Bulanık mantık ve sinir ağı bileşimi kullanılarak da döner makinelerin arızalarının teşhisi yapılmıştır. Gürültülü veri temel alınarak tek veya çoklu arızaların teşhisi, geliştirilen teşhis modelleriyle sağlanabilmektedir. Bulanık kurallar her bir arıza tipi için tanımlanmıştır. Yapay sinir ağı ve bulanık mantık çıkarım sisteminin birleşmesi daha doğru sonuçlar vermiştir [42,43]. Arızaların tespit edilmesinde adaptif bulanık izlemede kullanılmıştır [44]. Bulanık sınıflandırma algoritmaları ve adaptif bulanık sınıflandırma algoritmalarının nasıl yapılması gerektiği belirtilmiştir. Bu algoritmalar arızaların tespiti ve işlemin durumunun izlenmesinde başarıyla kullanılmıştır. Hybrid bulanık mantık ve sinir ağı birleşimi sistemi otomotivlerin elektromekanik parçalarında meydana gelen arızaları teşhis etmek için kullanılmıştır [45].

Teove Kohonen tarafından geliştirilen SOM (Self Organizing Map) algoritması birçok mühendislik alanında başarıyla kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; işlem ve sistem analizi, arıza tanıma, ses tanıma, robotik istatistiksel örüntü tanımadır [46].

Donald Specht tarafından geliştirilen olasılık sinir ağı sınıflandırma problemlerinde başarıyla kullanılmaktadır. Çeşmeli ve Günel çalışmalarında olasılık sinir ağı kullanarak radarla uçak sınıflandırmışlardır [47].

Kashyap and Shenoy wavelet dönüşümü ve olasılık sinir ağı ile güç sistemi arızalarını sınıflandırmışlardır. Arıza teşhisinde ilk aşamada wavelet dönüşümü ile

detaylı katsayıyı elde etmişler ve bu çıkışı olasılık sinir ağının girişine uygulamışlardır [48].

Mussa et al. (2006), yaptıkları çalışmada araç tipi, dingil sayısı, araç uzunluğu, gövde tipi gibi parametreleri kullanarak, olasılık sinir ağı ile taşıtları sınıflandırmışlardır. Çalışmalarında arızayı %3.3 değerine kadar azaltmayı başarmışlardır [49].

Samanta et al. (2005) yaptıkları çalışmada bilezik arızalarını teşhis etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada çok katmanlı ağ, radyal tabanlı ağ ve olasılık sinir ağlarının performanslarını karşılaştırmışlardır. Normal ve arızalı bileziklerle dönen makineyi çalıştırmışlar ve vibrasyondan zaman domeninde parametreleri çıkarmışlardır. Elde edilen parametreleri yapay sinir ağlarına uygulamışlardır. Sınıflandırıcıların karakteristik parametrelerini seçmede ve giriş özelliklerini seçmede genetik algoritma kullanmışlardır [50].

Bu çalışmanın amacı alternatörlerde gerçek zamanlı olarak arıza tespiti yapmaktır. Alternatörler taşıtların elektrik ihtiyacını karşılamak ve rüzgâr enerjisinden elektrik üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Arıza büyümeden tespit edildiği için yedek parçadan tasarruf sağlanmaktadır. Bu sistem ile arızanın nedeni ve nerede meydana geldiği önceden tespit edilebilmektedir. Bu sayede alternatörlerin arızalanması sonucunda yapılan onarım ve bakım süreleri azalmakta iş ve enerjiden tasarruf sağlanmaktadır.

Tezin ikinci bölümünde elektrik makinelerinde meydana gelen arızalar ve arıza teşhis yöntemleri konusunda yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir. Üçüncü bölümde arıza teşhisinde yaygın olarak kullanılan yapay zeka teknikleri hakkında bilgi verilmektedir. Dördüncü bölümde alternatörler, alternatörlerin kullanım alanları, çalışma prensibi, denklemleri, alternatör parçaları, alternatörlerde meydana gelen arızalar açıklanmaktadır.

Beşinci bölümde arıza teşhisi için oluşturulan test düzeneği, test düzeneğinin bileşenleri verilmektedir. Gerçekleştirilen sisteme ait verilerin toplanması ve arızalı alternatör sinyalleri bu bölümde verilmektedir. Tezin altıncı bölümünde Matlab'de



yapay zeka teknikleri ile alternatörlerde arıza teşhisi anlatılmaktadır. Bulanık mantık, ileri beslemeli sinir ağı ve olasılık sinir ağı ile gerçekleştirilen modeller açıklanmaktadır. Bu tekniklerden olasılık sinir ağı ile gerçek zamanlı arıza teşhisinin nasıl yapıldığı açıklanmaktadır.

Son bölümde arıza teşhisinde kullanılan yapay zeka teknikleri karşılaştırılmaktadır. Gerçek zamanlı çalışma sonuçları verilmektedir. Ayrıca alternatörlerde arıza teşhisi konusunda yapılacak çalışmalar hakkında öneriler sunulmaktadır.

## BÖLÜM 2

### ELEKTRİK MAKİNELERİNDE ARIZA TEŞHİSİ VE TESPİTİ

Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren, elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren veya enerji transferi sağlayan cihazlara elektrik makineleri denir. Elektrik makinelerinin sınıflandırılmasında: duran tip, dönen tip, enerji üreten tipi enerji transfer eden tip vb. gibi sınıflandırılırlar. Elektrik makineleri generatörler, motorlar, transformatörler ve redresörler olmak üzere dört grupta incelenebilir.

Generatörler mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren cihazlardır. Dinamolar ve alternatörler generatörler altında sınıflandırılabilir. Dinamolar mekanik enerjiyi doğru akım (DA) elektrik enerjisine çeviren makinelere denir. Sabit manyetik alan içerisinde bulunan iletken akım geçirilirse iletken hareket eder prensibiyle çalışırlar. Alternatörler mekanik enerjiyi alternatif akım (AA) elektrik enerjisine çeviren elektrik makineleridir. Alternatörlerdeki rotorun döndürülmesi sonucu döner bir manyetik alan oluşur. Döner manyetik alan içerisinde bulunan stator sargılarında AA gerilim indüklenir.

Motorlar elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren cihazlardır. Motorlar doğru akım motorları, step motorlar, servo motorlar, asenkron motorlar ve senkron motorlar olarak beş grupta sınıflandırılabilir. Doğru Akım Motorları DA elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren cihazlardır. Sabit manyetik alan içerisinde bulunan iletken akım geçirilirse iletken hareket eder prensibine göre çalışırlar. Bir motora elektrik darbeleri uygulanınca mekaniksel bir hareket yapabiliyorsa bu tip motorlara step motor denir. 1 dev/dk lık hız bölgesinin altında bile kararlı çalışan hız- moment kontrolü yapan yardımcı motorlara veya akımı bilezikler üzerinde devresini tamamlayan motorlara servo motorlar denir. Stator devri ile rotor devri arasında kayma olan motorlara asenkron motorlar denir. Stator devri ile rotor devri aynı olan motorlara senkron motorlar denir. Transformatörler elektrik enerjisinin yalnız akım

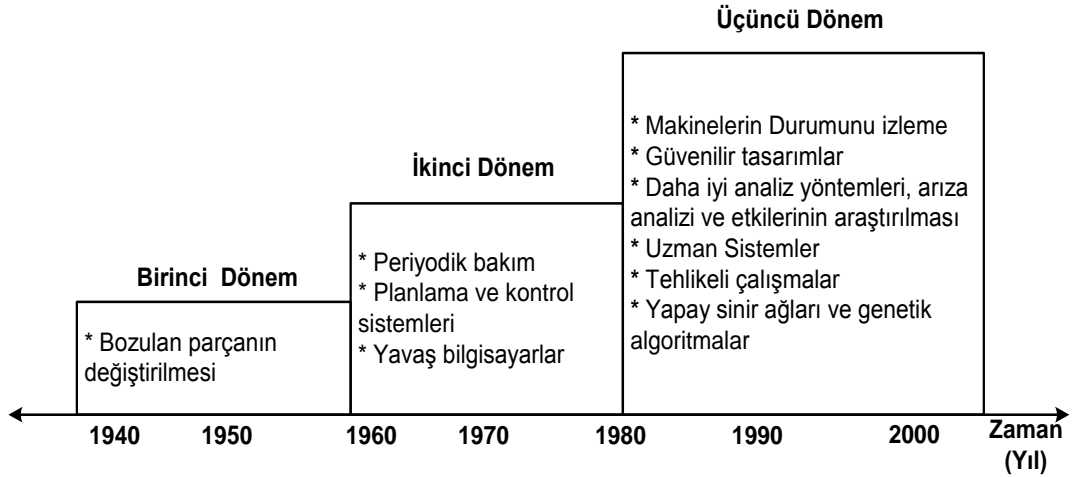
ve gerilim bileşenlerini değiştirerek enerji transferi sağlayan cihazlardır. Redresörler AA elektrik enerjisini DA elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Redresörler; yaygın olarak enerji yedeklemesi, güvenlik ve acil aydınlatma sistemlerinde kullanılır.

Elektrik makineleri, gündelik hayatta ve endüstriyel alanda kullanımı giderek yayılan ve olmazsa olmaz haline gelmiş olan elektrikli cihazlardır. Dünya üzerinde kullanılan elektriğin önemli bir kısmını harcayan elektrik makineleri, günümüzde azalan fosil yakıtların da daralan kullanım hacmine istinaden gün geçtikçe giderek artan bir kullanım hacmine sahip olmaya devam etmektedirler. Ulaşımından endüstriye, ev aletlerinden iş makinelerine kadar geniş kullanım yelpazesine sahip elektrik motorları temelde besleme kaynağına ve kullanılan enerjinin formuna göre DA ve AA makineler olarak ikiye ayrılırlar

Elektrik makinelerinin durumunun izlenmesi mühendislik alanında büyük kabul görmekte ve birçok üretim endüstrisi içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Günümüzde üretim alanlarının, haftanın yedi günü ve günde 24 saat çalışması istenmektedir. Elektrik makinelerinin beklenmedik bir zamanda arızalanması ciddi üretim kayıplarına ve yüksek maddi kayıplara neden olmaktadır. Üreticiler, üretimin başarılı bir şekilde sürdürülmesini sağlamak için, makine sistemlerinin arızalarını tespit edip, durumunun izlenmesine imkân sağlayan sistemlerin geliştirilmesi talebinde bulunmuştur.

Elektrik makinelerinin durumunun izlenmesi bu ihtiyaçtan doğmuştur. Makine durumunu izlemenin başlangıcı 1950 sonları ve 1960'ların başı sayılabilir. Ancak ilk çalışmalar ikinci dünya savaşı sırasında yapılmıştır. Elektrik makinelerinde durum izlemenin tarihi gelişimi Şekil 2.1'de yaklaşık olarak çizilmiştir [51].

Elektrik makinelerinde oluşan elektriksel arızalara, mekanik arızalardan daha çok rastlanır. Mekanik arızaların tamamına yakını rulmanlarda oluşan arızalarla ilişkilidir. Bunları da, titreşim ölçüm teknikleri veya diğer izleme teknikleri örneğin rulman sıcaklıklarının ölçülmesi ile ve hatta yeni oluşmaya başlayan rulman arızalarının tespiti bile mümkündür [52].



Şekil 2. 1. Elektrik makinelerde durum izlemenin tarihi gelişimi.

Arızanın ne olduğunun bilinmesi ve önceden teşhis edilmesinin tarihi elektrik makineleri kadar eskidir. Elektrik makine üreticileri ve kullanıcıları başlangıçta arızaları önlemek için basit önlemler alırdı. Örneğin aşırı akım, aşırı gerilim, topraklama arızası, vb önlemek için özel devre elamanları üretilmiştir. Bu elemanlar, emniyetli ve güvenilir çalışmalar yapmak için kullanılmaktadır. Ancak elektrik makinelerin yaptığı işler giderek karmaşık hale gelmekte ve fabrikalarda hayati önem arz eden yerlerde kullanılmaktadır. Örneğin askeri uygulamalar, nükleer santraller, vb. Bu nedenden dolayı arıza teşhisi alanındaki araştırmalar artmaktadır. Çünkü hayati önem arz eden makinenin zamansız bozulması, hem büyük mali kayıplara, hem de arıza teşhis edilip gerekli tedbir alınmadığından makinenin zamanından önce yenilenmesine neden olacaktır.

Birçok uzman ve araştırmacı dikkatlerini erken arıza teşhisi ve erken bakıma vermiştir, bu şekilde arıza meydana gelmeden önlenmektedir. Meydana gelen arızalar elektriksel, mekaniksel veya kimyasal olabilmektedir. Arıza teşhisi için müdahalesiz ve müdahaleli birçok yöntem geliştirilmiştir. Müdahalesiz yöntemler kolayca erişilebilir, ucuz maliyetli ölçümlerle ve elektrik makinesinin yapısını bozmadan elektrik makinesinin durumu hakkında tahmin yapma imkânı verebilir. Bu tipler gerçek zamanlı izleme ve arıza tespiti için çok uygundur. Ekonomik ve zararlı olmamasından dolayı uzmanlar müdahalesiz yöntemleri tercih etmektedirler. Birçok erken arıza teşhis sistemi pahalı donanıma gerek duymadan, mikroişlemcileri kullanarak, çevrimiçi müdahalesiz yöntemi uygulamaktadır. Doğru izleme ve arıza

tanıma teknikleriyle arızalar erkenden teşhis edilebilmektedir. Bu yüzden bakım ve arıza süresi masrafları azaltılırken aynı zamanda güvenlik iyileştirilmektedir.

Günümüzde elektrik makinesi erken teşhis işlemi uzman ve araştırma gerektirir. Özel bir sistemi anlamak ise dikkate değer bir derecede zaman gerektirir. Uzmanlar ve araştırmacılar bilgi ve deneyimlerini kullanarak sistemde izlenecek değişkenleri, tasarım yapısını, arıza teşhis sistemini ve görevlerine göre doğru parametre ayarlarını belirlerler. Sonuç olarak araştırmacılar arıza teşhis sistemi için arka planda makine teorisi, sistem teorisi kullanacaklardır, erken teşhis sistemi şeffaf olmayacak ve diğer insanlar tarafından anlaşılır olmayacaktır [37].

Günümüzde hala çoğu arızayı erken teşhis edebilecek genel bir teori, uygun yöntem mevcut değildir. Dilsel açıklamaların noksanlığı ve farklı elektrik makinesi sistemlerine uydurma esnekliğinden dolayı, motor erken arıza teşhisi ve yayınlaması zordur. Bu yüzden bu alandaki bilginin büyümesi yavaş olmaktadır.

Genel olarak karşılaşılan elektrik makineleri arızaları aşağıdaki gibidir.

- Stator sargılarının bir veya daha fazlasının açık veya kısa devre olması
- Stator sargılarının uygun bağlanmaması
- Düzensiz statik ve/veya dinamik hava boşluğu
- Eğilmiş mil (dinamik eksantrik mil) bunların sonucunda stator ve rotorun birbirlerine sürtmelerine, stator göbeğine ve sargılarına ciddi zararların verilmesine neden olabilir
- Kısa devre olmuş rotor sargıları
- Rulman ve dişli kutusu arızaları

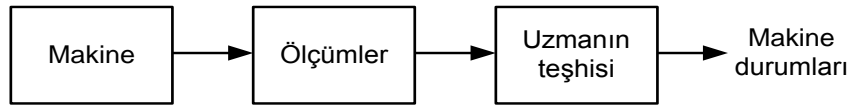
Bu arızalar sonucunda elektrik makinelerinde ve çalışmasında bir veya daha fazla değişiklikler gözlemlenir. Bu değişikliklere örnek vermek gerekirse;

- Düzensiz hava boşluğu gerilimleri ve akımları oluşur.
- Torkta darbelerin artmasına neden olur.
- Torkun ortalamasının düşmesine neden olur.
- Aşırı ısınmaya neden olur.

Elektrik makinelerinde arızaları bulan ve önceden teşhis edebilen, değişik bilimsel metotlar ve teknolojiler içeren farklı arıza teşhis yöntemleri vardır [51]. Bunlar;

- Elektromanyetik alanın izlenmesi
- Sargıların araştırılması
- Elektrik makinesi mili etrafına sarılan sargılar ile eksensel akı ilişkisinin görülmesi
- Sıcaklık ölçümü
- Kızıl ötesi tanıma
- Radyo frekans yayılımının izlenmesi
- Gürültü ve vibrasyon izleme
- Kimyasal analiz
- Akustik gürültü ölçümü
- Elektrik makinesi akımının analizi
- Yapay zeka ve yapay sinir ağı tabanlı teknikler.

Bu yöntemlere ek olarak model tabanlı yöntemler ve insan tabanlı yöntemler vardır. Her arıza teşhis sisteminin bazı üstünlük ve sakıncaları vardır. Bazı teknikler çok pahalı donanım gerektirmektedir. Elektrik makinesi sahipleri ve uzmanlar ucuz ve güvenilir teşhis sistemlerini tercih ederler. Parametre hesabı ve diğer model tabanlı teknikler gibi ucuz ve müdahalesiz birçok teknik vardır. Model tabanlı arıza teşhis sistemlerinde sistemin matematiksel hesabı yapılmaktadır. Ancak her makine için bir matematiksel model oluşturmak mümkün olmayabilir.



Şekil 2. 2. Uzmanın arıza tespit ve teşhis işlemi.

Her ne kadar doğru matematiksel model gerektirse, sistem dinamiklerine dayanan sistem parametrelerini en iyi şekilde ifade etmek gerekse de parametre hesaplama tekniği yaygın olarak hata teşhisinde kullanılmaktadır. Parametre hesaplama

tekniğinde en zor kısım sistemin modelini oluşturmaktır. Birçok durumda denklemlerin elde edilmesi çok zor olmaktadır.

Deneyimli uzmanlar ya da bakım personeli makinenin çalışma çevresi ve ölçümlere göre makinenin durumunu anlayabilir. Bunu matematiksel modeli bilmeden de yapabilir. Yaklaşım basittir ve genellikle güvenilirdir. Şekil 2.2’de uzmanın arıza tespit işlemi şeması verilmektedir. Elektrik makinesi arıza durumları ve ölçümler arasındaki bağlantıyı kurabilmek uzmanın makine hakkındaki bilgisine bağlıdır.

Parametre hesaplama yaklaşımı gibi birçok model tabanlı arıza teşhis sistemleri arasında insan uzmanlığı yaklaşımının birçok üstünlüğü vardır. Genellikle deneyimli bir uzman elektrik makinesinin performansını gözlemleyerek sistem dinamiklerinin hepsini bilmeden veya anlamadan arızayı tespit ve teşhis eder. Deneyimli uzman yetiştirmek zor ve uzun zaman alan bir iştir. Otomatik izleme ve arıza tespit sistemleri deneyimli uzmanlardan daha cazip gelmektedir. Bu şekilde sürekli çevrimiçi izleme gerçekleştirilebilmektedir. Bununla birlikte bir uzman arıza izleme ve teşhis etme sistemine aktarılabilecek tüm bilgileri detaylı ve doğru bir şekilde veremeyebilir. Uzmanın her türlü bilgisi %100 doğrulukta otomasyona aktarılamayabilir. Araştırmacılar uzmanlardan aldıkları bilgileri matematiksel olarak ifade ederler. Arıza tespit ve teşhisi için kullanılan uzmanlık ve bilgi uzmanlar tarafından birbirlerine aktarılmaktadır.

Günümüzde ekonomiye ve üretim sonuçlarına bağlı olarak otomasyonlara olan talep hızla artmaktadır. Daha güvenilir, esnek, uygun maliyetli, erken bakım ve arıza teşhis sistemleri olması, otomasyon kullanmayı büyük bir üstünlük haline getirmiştir. Endüstride veri analizi, kontrol, sinyal işleme teknikleriyle yapılan erken arıza tespiti ve teşhisi önemli hale gelmektedir. Endüstride birçok arıza teşhis yöntemi yaygın olarak gelişmektedir. Bu teknikler yüksek derecede başarıya ulaşmış olabilirler fakat pahalı, kullanımı zor olabilir veya güvenilir olmayabilir. Arıza teşhisinin en önemli hedeflerinden biri bilgiyi doğru analiz edebilmek, güvenilir sonuçlar elde edebilmek için kabiliyetli teknolojiler geliştirebilmektir. Arıza teşhis yöntemlerinden yapay zeka teknikleri ile teknoloji alanında büyük başarılar elde edilmektedir. Yapay zeka teknikleri sinyal işleme ve kontrol arıza teşhisine de başarıyla uygulanmaktadır [37].

## BÖLÜM 3

### YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ

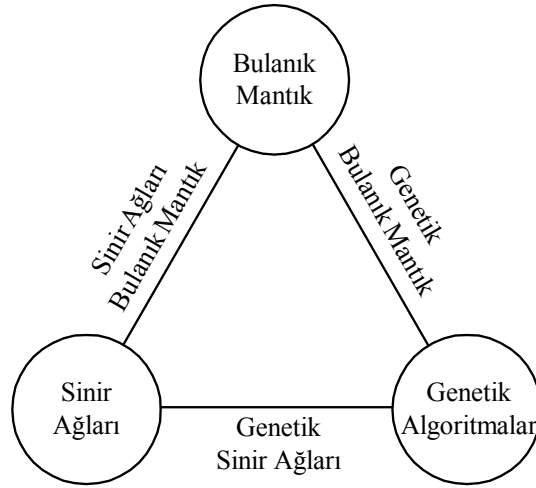
Yapay zeka terimi hem makinelerin zekası anlamında hem de makinelere zeka kazandırmaya çalışan bilgisayar bilim dalının adı olarak kullanılmaktadır. Yapay zeka çevresini algılayıp, uyum ve başarı şansını yükseltecek kararlarda bulunabilen sistemlerdir. YZ terimi ilk defa 1956 yılında kullanan ve terimin mucidi olan John McCarthy, yapay zekayı “Makineleri zeki yapan mühendislik ve bilim dalı” olarak tanımlamıştır.

Matematiksel olarak denklemleri kurulamayan ve çözülmesi mümkün olmayan problemler sezgisel yöntemler yolu ile bilgisayarlar tarafından çözülebilmektedir. Bilgisayarları bu özelliklerle donatan ve bu özelliklerinin gelişmesini sağlayan çalışmalar yapay zeka çalışmaları olarak bilinmektedir. İlk defa 1950’li yıllarda ortaya atılan yapay zeka terimi zaman içinde oldukça ilgi görmüş ve 40–50 yıllık bir zaman diliminde hayatın vazgeçilmez parçası olan sistemlerin doğmasına neden olmuştur. Bu araştırmalar hem araştırmacılar hem de ticari satıcılar tarafından zeki sistemler olarak adlandırılmaktadır [53].

Zeki sistemlerin en temel özellikleri olaylara ve problemlere çözüm üretirken veya çalışırken bilgiye dayalı olarak karar verebilme özelliklerinin olması ve eldeki bilgiler ile olayları öğrenerek, sonraki olaylar hakkında karar verebilmeleridir. Yapay zeka bilimindeki gelişmeler bu sistemlerde çeşitlenmeye neden olmaktadır. Bir taraftan donanım teknolojisi gelişmekte ve daha hızlı çalışabilen, daha çok bilgiyi saklayabilen, daha karmaşık sistemleri ve fonksiyonları yerine getiren bilgisayarlar ve bilgisayar sistemleri oluşturulmakta iken diğer taraftan yazılım teknolojisi gelişmekte ve bilgi yöntemleri ve bu yöntemlere dayalı yazılım sistemleri geliştirilmektedir. Bu gelişmeler ise zeki sistemlerin her geçen gün daha yaygın olarak bilinmesine ve gerçek hayatta insanların kullanımına alınmasına neden



olmaktadır. Yapay zeka teknolojileri değişik çalışmaların doğmasına neden olmuştur. Çünkü günlük olaylar ve problemler sürekli değişmektedir. Bilgisayarların insanların karar verme ve problem çözme mekanizmalarını taklit etmesinin sağlanması da farklı teknolojilerin doğmasına zemin hazırlamaktadır. Günümüzde 60'dan fazla yapay zeka teknolojisinden bahsedilmektedir. En çok kullanılan yapay zeka teknikleri ve birbiriyle olan ilişkileri Şekil 3.1'de verilmektedir. İnsan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer Şekilde, ğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme ve eniyileme gibi konularda başarılı bir Şekilde uygulanmaktadırlar. Örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturur ve daha sonra, benzer konularda benzer kararları verirler [51,53].



Şekil 3. 1. Yapay zeka teknikleri.

Yapay zeka programları, problemleri çözerken belirli bir algoritma yerine sembolik ve sezgisel kuralları kullanırlar. Genellikle, tam olarak ve matematiksel olarak formülize edilemeyen problemlerin çözülmesinde kullanılırlar. Problemleri özdkce tecrübe kazanarak olayları öğrenebilirler. Bu sistemler tamamen bilgiyi kullandıklarından, en fazla o bilgiyi sağlayan şahıs veya şahıslar kadar zeki olabilirler.

YZ tekniklerinin geleneksel programlardan en önemli farklılıklarından birisi de, bu sistemlerin yanlış yapabilme olasılıklarının olmasıdır. Eğer sağlanan bilgi doğru değil ise, yanlış bilgiyi kullanarak yanlış çözümler üretebilirler [53].

### 3.1. BULANIK MANTIK

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A.Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyuldu. O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir. Bilindiği gibi istatistikte ve olasılık kuramında, belirsizliklerle değil kesinliklerle çalışılır ama insanın yaşadığı ortam daha çok belirsizliklerle doludur. Bu yüzden insanoğlunun sonuç çıkarabilme yeteneğini anlayabilmek için belirsizliklerle çalışmak gereklidir.

Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki temel fark bilinen anlamda matematiğin sadece aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar. Bir kişi için 38,5 yaşında demektense sadece orta yaşlı demek birçok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgi indirgenmesi söz konusu olacak ve matematiksel bir tanımlama yerine daha kolay anlaşılabilen niteliksel bir tanımlama yapılabilecektir.

Bulanık mantıkta bulanık kümeleri kadar önemli bir diğer kavramda dilsel değişken kavramıdır. Dilsel değişken sıcak veya soğuk gibi kelimeler ve ifadelerle tanımlanabilen değişkenlerdir. Bir dilsel değişkenin değerleri bulanık kümeleri ile ifade edilir. Örneğin oda sıcaklığı dilsel değişken için sıcak, soğuk ve çok sıcak ifadelerini alabilir. Bu üç ifadenin her biri ayrı ayrı bulanık kümeleri ile modellenir. Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise insana özgü tecrübe ile öğrenme olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu nedenle doğrusal olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur.

Bulanık mantık konusunda yapılan araştırmalar Japonya'da oldukça fazladır. Özellikle Fuzzy Process Controller olarak isimlendirilen özel amaçlı bulanık mantık mikroişlemci çipinin üretilmesine çalışılmaktadır. Bu teknoloji fotoğraf makineleri,

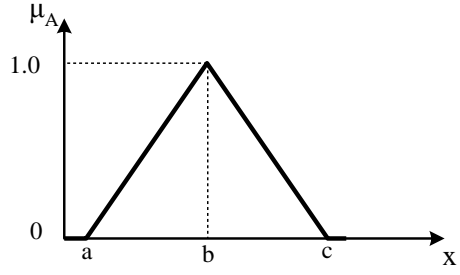
çamaşır makineleri, klimalar ve otomatik iletim hatları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bundan başka uzay araştırmaları ve havacılık endüstrisinde de kullanılmaktadır. TAI'de (Türk Uzay Kurumu) araştırma gelişme kısmında bulanık mantık konusunda çalışmalar yapılmaktadır.

Bulanık mantık adından anlaşılabilceği gibi mantık kurallarının esnek ve bulanık bir şekilde uygulanmasıdır. Klasik mantıkta bildiğiniz gibi, “doğru” ve “yanlış” ya da “1” ve “0” lar vardır, oysa bulanık mantıkta, ikisinin arasında bir yere de olan önermeler ve ifadelere izin verilebilir ki, gerçek hayata baktığımızda hemen hemen hiçbir şey kesinlikle doğru veya kesinlikle yanlış değildir. Gerçek hayatta önermeler genelde kısmen doğru veya belli bir olasılıkla doğru şeklinde değerlendirilir. Bulanık mantığa da zaten klasik mantığın gerçek dünya problemleri için yeterli olmadığı durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur.

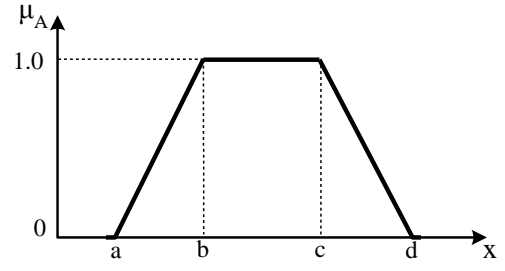
Bulanık mantığın sistemi şu şekildedir. Bir ifade tamamen yanlış ise klasik mantıkta olduğu gibi 0 değerindedir, yok eğer tamamen doğru ise 1 değerindedir. Ancak bulanık mantık uygulamalarının çoğu bir ifadenin 0 veya 1 değerini almasına izin vermezler veya sadece çok özel durumlarda izin verirler. Bunların dışında tüm ifadeler 0'dan büyük 1 den küçük reel değerler alırlar. Yani değeri 0,32 olan bir ifadenin anlamı %32 doğru %68 yanlış demektir.

### **3.1.1. Üyelik Fonksiyonları**

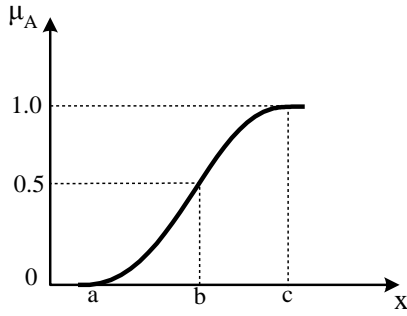
Bir bulanık küme, kendi üyelik fonksiyonu ile kolayca temsil edilebilir. Üyelik fonksiyonu, 0 ile 1 arasındaki her hangi bir değer alabilir. Bir değerin bir kümeye üyelik derecesinin, böyle bir üyelik fonksiyonu ile, “kesinlikle ait” veya “kesinlikle ait değil” arasında istenilen hassasiyette ayarlama yapmak mümkündür. Kesinlikle ait olma, bir (1) ile temsil edilirken kesinlikle ait olmama durumu sıfır (0) ile temsil edilir. Şekil 3.2'de en çok kullanılan Üçgen, yamuk,  $s$  ve  $\pi$  üyelik fonksiyonlarına ait şekiller verilmiştir. Üçgen üyelik fonksiyonuna ait denklem Eşitlik 3.1, yamuk üyelik fonksiyonuna ait denklem Eşitlik 3.2,  $s$  tipi üyelik fonksiyonuna ait denklem Eşitlik 3.3 ve  $\pi$  tipi üyelik fonksiyonuna ait Eşitlik 3.4 te verildiği gibidir [52].



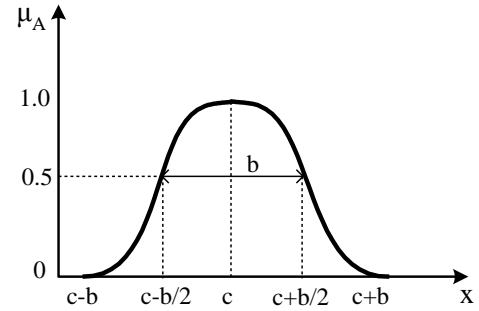
a. Üçgen üyelik fonksiyonu.



b. Yamuk üyelik fonksiyonu.



c. S üyelik fonksiyonu.



d.  $\pi$  üyelik fonksiyonu.

Şekil 3. 2. Üyelik fonksiyonu şekilleri.

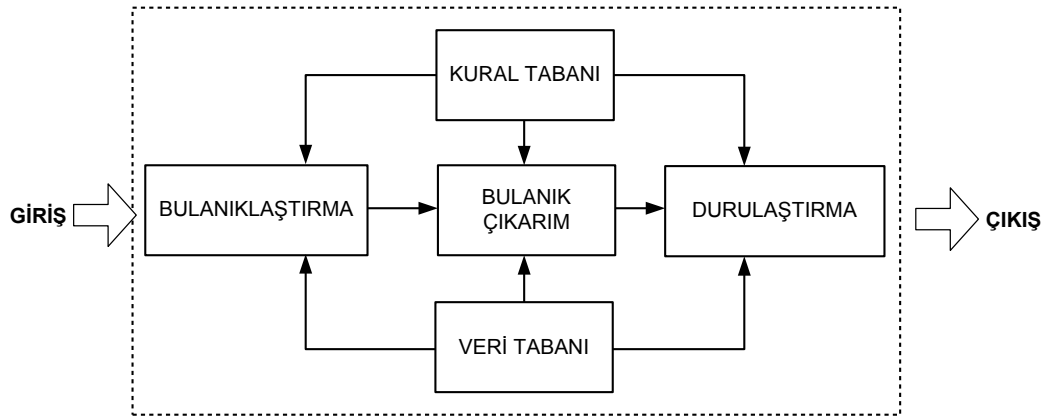
$$\text{Üçgen}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (3.1)$$

$$\text{Yamuk}(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c) & c < x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases} \quad (3.2)$$

$$\text{S}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ 2[(x-a)/(c-a)]^2 & a \leq x \leq b \\ 1-2[(x-c)/(c-a)]^2 & b \leq x \leq c \\ 1 & x > c \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\pi(x; b, c) = \begin{cases} S(x; c-b, c-b/2, c) & x \leq c \\ 1-S(x; c, c+b/2, c+b) & x \geq c \end{cases} \quad (3.4)$$

Şekil 3.3'te bulanık mantık sisteminin temel yapısı verilmektedir [56]. Bulanık mantık sistemine gelen giriş değişkenleri ilk önce bulanıklaştırılır. Bulanıklaştırma işlemi üyelik fonksiyonları kullanılarak gerçekleştirilir. Daha sonra kural tabanına göre bulanık çıkarım yapılır ve en son durulaştırma işlemi yapılarak sistemin çıkışı hesaplanmaktadır.



Şekil 3. 3. Bulanık mantık sisteminin temel yapısı

### 3.1.2. Bulanıklaştırma

Fiziksel giriş bilgilerinin, dilsel niteleyicilerle ifade edebileceğimiz bulanık bilgileri şekline çevirme işlemine bulanıklaştırma adı verilir. Ancak bu bilgilerin tamamı mutlaka kesin değildir. Bulanıklaştırma işlemi önemli ölçüde kesin olmayan bilgiyi de içine alır ve bulanıklaştırır. Bulanıklaştırma sonucu tüm giriş değişkenlerinin değerleri, üyelik derecesi olarak hesaplanır.

Bulanıklaştırma işlemi göreceli olarak bu kadar kolay olmasına karşın, bu işlemlerin yapılması büyük ölçüde deneyime dayanmaktadır. Operatörün sistemde çalışırken gösterdiği davranışlar, sistemin matematiksel modelinden daha önemlidir. Dolayısıyla bulanıklaştırma aşamasına gelinebilmesi için gerekli süre bazen çok uzun olabilir. Bununla birlikte kesin olmayan bilgileri kullanabilmesi, sürecin matematiksel bir modeline gereksinim duyulmaması ve uygulamaya çabuk

geçilebilmesi, bütün bunlardan sonra da yüksek derecede verim alınabilmesi bulanık mantığın önemini açıkça ortaya koymaktadır.

### 3.1.3. Dilsel değişkenler

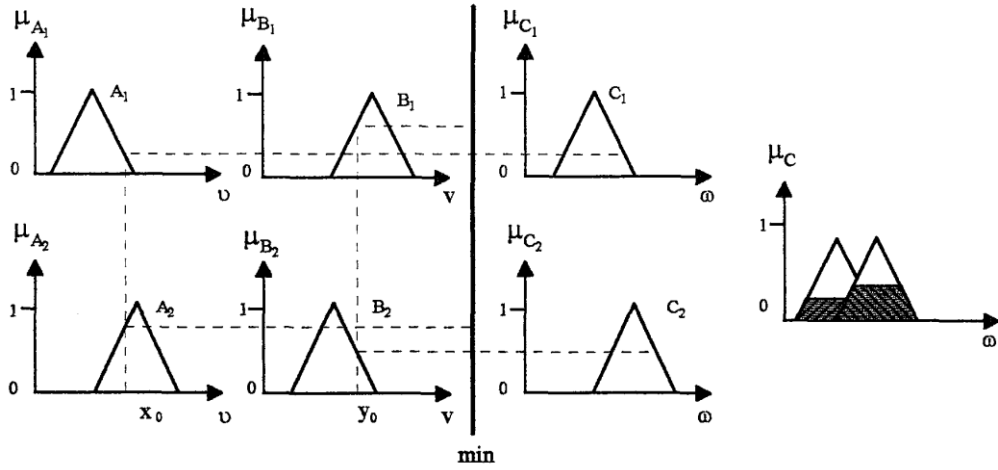
Bulanık kümeler genellikle üç, beş ya da yedi üyelik fonksiyondan oluşabilirler. Örneğin hız giriş değişkeni için; yavaş, az hızlı, orta hızlı; hızlı, çok hızlı şeklinde beş üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık kümesi oluşturabilir. Burada da olduğu gibi, tanımlar uzmanın söylemlerine göre geliştirilmiştir. Bunlar dilsel niteleyiciler olarak adlandırılırlar. Bunların fonksiyonel olarak elde edilmeleri ve uygulama aşamasına getirilmeleri büyük ölçüde sistemde daha önce elde edilmiş deneyimlere bağlıdır.

### 3.1.4. Bulanık çıkarım

Bulanık mantıkta da geleneksel mantıkta olduğu gibi bazı mantık işlemleri yer almaktadır. Ancak bu işlemin komutları AND, OR, NOT ve IF, THEN (VE, VEYA, DEĞİL, EĞER, ÖYLEYSE) ile sınırlı çok basit ve aynı zamanda da kullanışlıdır. Bu kurallar bütününe kurallar yada bulanık mantık denetleyicisi üzerinde kural tabanı denir. Örneğin hızı 'h' ve uzaklığı da 'u' ile gösterirsek, fren 'f' fonksiyonu  $f(h, u)$  şeklinde olacaktır.

Eğer değişkenler arasında VE (AND) kullanılmış ise buna bağlı olarak ortaya çıkacak fonksiyon minimum değer alacaktır. Yani,  $f(h) \text{ VE } (u) = \min(f(h), f(u))$  dır. Değişkenler arasında kullanılan bağlaç VEYA (OR) ise fren fonksiyonu,  $f(h) \text{ VEYA } (u) = \max(f(h), f(u))$  olacaktır. Fonksiyonda kullanılan DEĞİL (NOT) işlemi ise  $f(\text{DEĞİL}(h)) = 1 - f(h)$  anlamına gelmektedir. Buradaki tüm f değerleri,  $0 \leq f \leq 1$  şeklinde olacaktır [52].

Şekil 3.4'te kesin giriş  $x_0$  ve  $y_0$  değerleri için max-min yöntemi ile yapılan bulanık çıkarım görülmektedir. Burada A ve B giriş C ise çıkış değişkenlerini temsil etmektedir.  $\mu_A$ ,  $\mu_B$  ve  $\mu_C$  üyelik derecelerini temsil eder.



Şekil 3. 4. Max-Min yöntemi ile bulanık çıkarım

### 3.1.5. Durulaştırma

Bulanık mantık ile yaygın olarak kullanılan başlıca modellemeler; Mamdani ve Takagi –Sugeno tipi bulanık modellemelerdir.

Mamdani tipi bulanık model çok kolay oluşturulur, insan davranışlarına çok uygundur. Bu nedenle çok yaygın bir kullanıma sahiptir ve diğer bulanık mantık modellerin temelini oluşturur.

Takagi – Sugeno bulanık mantık yada Sugeno bulanık mantık ilk kez 1985 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Mamdani bulanık mantık yönteminin bir uyarlamasıdır. Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri Mamdani bulanık modelleme ile tamamen aynıdır. İki yöntem arasındaki fark çıktı üyelik fonksiyonlarındadır. Sugeno tipi bulanık modellemede çıktı üyelik fonksiyonları sadece lineer yada sabittir. Çıktı üyelik fonksiyonları sabit olduğu zaman, sıfırıncı derece, 1. derece doğru denklemi şeklinde olduğu zaman ise birinci derece Sugeno bulanık model olarak adlandırılırlar. Böylece Sugeno tipi bulanık model, Mamdani tipi bulanık modelden daha karmaşık ve gösterim açısından daha elverişlidir. Bu nedenle Sugeno tipi bulanık model uyarlanabilir tekniklerle birlikte kullanılabilir. Sugeno tipi bulanık model hesaplama için çok uygundur, optimizasyon ve uyarlanabilir tekniklerle birlikte iyi çalışır ve çıktı parametrelerini optimize ederek

sonuçları iyileştirir, çıktı uzayında sürekliliği garantiler, matematiksel analiz için uygundur.

Sugeno tipi bulanık modelin sakıncaları da vardır. Yüksek derecedeki Sugeno bulanık modelleme kullanıldığında oldukça karmaşık bir yapıya sahip olur, girdi ve alt küme sayılarının artması verilerin eğitilmesini zorlaştırır, sonuçların elde edilmesi için belirlenmesi gereken son parametrelerin sayısı artar, insan sezgilerine çok uygun değildir.

Bulanık küme çıkarımlarının, sistem üzerinde uygulanabilmesi için yeniden fiziksel ve kesin sayılara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işleme durulaştırma adı verilir. Bunun için çeşitli durumlara göre durulama yöntemleri geliştirilmiştir. Bulanık işlemciden elde edilen mantıksal çıkarımların üyelik işlevleri, bir ya da birden fazla olabilir. Bulanık çıkarım bu kümelerin bileşkesi olacaktır. Bulanık işlemcilerden elde edilen bulanık çıkarımlar, aslında ikiden çok daha fazladır ve üyelik işlevlerinin biçimleri bizim bilmediğimiz şekillerde de olabilir. Literatürde en çok kullanılan sekiz çeşit durulama yöntemi bulunmaktadır Bunlar;

- Üyelik fonksiyonunun en yüksek noktası
- Üyelik fonksiyonunun en düşük noktası
- Merkez yönetimi
- Ağırlık ortalama yöntemi
- Üyelik işlevinin en yüksek noktalarının ortalaması
- Toplamların ortası
- Geniş alan merkezi
- İlk (veya son) yükselti

Bunlardan sisteme en uygun olanı seçilmelidir. Hellendorn and Thomas, 1993 yılında uygun olanın seçilmesi için beş dayanak ortaya atmıştır. Bunlar; süreklilik, belirsiz olmama, uygunluk, hesapsal kolaylık ve ağırlaştırma yöntemidir. Ayrıca fiziksel sistemin yapısı ve kullanıcıların deneyimleri de durulama yönteminin seçilmesi için birer büyük dayanak noktası oluşturur.



### 3.2. YAPAY SİNİR AĞLARI

YSA insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri, herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir [53].

Yapay sinir ağları; insan beyninden esinlenerek, öğrenme sürecinin matematiksel olarak modellenmesi uğraşı sonucu ortaya çıkmıştır. Bu nedendir ki, bu konu üzerindeki çalışmalar ilk olarak beyni oluşturan biyolojik üniteler olan nöronların modellenmesi ve bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlamış, daha sonraları bilgisayar sistemlerinin gelişimine de paralel olarak birçok alanda kullanılır hale gelmiştir.

İnsan beyninin çalışma prensibini taklit ederek çalışan bu sistemler, bilgisayar teknolojisinin hızlı bir gelişim göstermiş olması ile işlem hızlarını nano saniyeler derecesine indirmiştir. Yapay sinir hızları ne kadar hızlı çalışsalar da insan beyninin işlevselliğinin henüz çok uzağındadır. İnsan beyninde yaklaşık  $10^{11}$  sinir hücresinin varlığından bahsedilmektedir. Bu sayının bilgisayar ortamında modellenmesi şu an için mümkün görünmemektedir. Karar hızı açısından insan beyni ile henüz yarışamaları bile, YSA'lar yapısalıkları ve hassas eşleştirmelerin başarı ile gerçekleştirebilmeleri sayesinde gün geçtikçe daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. YSA'lar, uygulanan ağ modeline göre değişik karakteristik özellikler göstermelerine karşın temel birkaç ortak özelliğe sahiptirler.

Birinci özellik; YSA'larda sistemin paralellığı ve toplamsal işlevin yapısal olarak dağılımıdır. YSA'lar birçok nörondan meydana gelir ve bu nöronlar eş zamanlı olarak çalışarak karmaşık işlevleri yerine getirir. Diğer bir deyişle karmaşık işlevler birçok nöronun eş zamanlı çalışması ile meydana getirilir. Süreç içerisinde bu nöronlardan her hangi biri işlevini yitirse dahi sistem güven sınırları içerisinde çalışmasına devam edebilir.

İkinci özellik ise genelleme yeteneği, diğer bir değişle ağ yapısının, eğitim esnasında kullanılan nümerik bilgilerden eşleştirmeyi betimleyen kaba özellikleri çıkarsaması ve böylelikle eğitim sırasında kullanılmayan girdiler için de, anlamlı yanıtlar üretebilmesidir.

Üçüncü olarak; ağ fonksiyonları doğrusal olmayabilmektedir. Yapı üzerinde dağılmış belli tipteki doğrusal olmayan alt birimler özellikle, istenen eşleştirimin denetim ya da tanımlama işlemlerinde olduğu gibi doğrusal olmaması durumunda işlevin doğru biçimde yerine getirilebilmesini matematiksel olarak olası kılarlar.

Dördüncü özellik ise; sayısal ortamda tasarlanan YSA'ların, donanımsal gerçekleştirilebilirlikleridir. Bu özellik beklide YSA'ların günlük hayatta daha da fazla yaşamımızın içine gireceğinin göstergesidir.

YSA'lar makine öğrenmesi gerçekleştirebilirler. Yapay sinir ağlarının temel işlevi zaten bilgisayarın öğrenmesini sağlamaktır. Olayları öğrenerek benzer olaylar karşısında mantıklı kararlar verebilirler.

Bilgi işleme yöntemleri geleneksel programlamadan farklıdır. Bu nedenle geleneksel programlamanın getirdiği birçok olumsuzluk ortadan kaldırılabilir. Bilgiler ağın tamamında saklanır. Geleneksel programlamada olduğu gibi bilgiler veri tabanları ya da dosyalarda belli bir düzende tutulmaz, ağın tamamına yayılarak değerler ile ölçülen ağ bağlantılarında saklanmaktadır. Nöronlardan bazılarının işlevini yitirmesi, anlamlı bilginin kaybolmasına neden olmaz.

Örnekleri kullanarak öğrenirler. YSA'nın öğrenebilmesi için örneklerin belirlenmesi, bu örneklerin ağa gösterilerek istenen çıktılara göre ağın eğitilmesi gerekmektedir. Ağın başarısı, seçilen örnekler ile doğru orantılıdır, ağa olay bütün yönleri ile gösterilemezse ağ yanlış çıktılar üretebilir.

Daha önce görülmemiş örnekler hakkında bilgi üretebilirler. YSA'lar eğitimleri sırasında kendilerine verilen örneklerden genellemeler çıkarırlar ve bu genellemeler ile yeni örnekler hakkında bilgi üretebilirler. Algılamaya yönelik olaylarda

kullanılabilirler. YSA'ların en başarılı oldukları alanlar, algılamaya yönelik uygulama alanlarıdır. Bu alanlarda başarıları kanıtlanmıştır.

Örüntü ilişkilendirme ve sınıflandırma yapabilirler. YSA'lar kendilerine örnekler halinde verilen örüntüleri kendisi veya diğerleri ile ilişkilendirebilir. Ayrıca kendisine verilen örneklerin kümelenmesi ile bir sonraki verinin hangi kümeye dâhil olacağını karar verilmesi konusunda kullanılabilirler. Örüntü tamamlama yapabilirler. Ağa eksik bilgileri içeren örüntüler verildiğinde eksik bilgilerin tamamlanması konusunda başarılıdır. Kendi kendine öğrenebilme ve organize etme yetenekleri vardır. YSA'lar çevrimiçi olarak öğrenebilirler ve kendi kendilerini eğitebilirler. Eksik bilgi ile çalışabilmektedirler. Geleneksel sistemlerin aksine YSA'lar eğitildikten sonra veriler eksik bilgi içerse dahi, çıktı üretebilirler. Bu durum bir performans kaybı yaratmaz, performans kaybı eksik bilginin önemine bağlıdır. Burada bilgilerin önem dereceleri eğitim sırasında öğrenilir.

YSA'lar arıza toleransına sahiptirler. YSA'ların eksik bilgilerle çalışabilmeleri ve bazı hücreleri bozulsa dahi çalışabilmeleri, onları arızalara karşı toleranslı yapar. Dereceli bozulma gösterirler. Bir ağ, zaman içerisinde yavaş ve göreceli bir bozulmaya uğrar. Ağlar problemin ortaya çıktığı anda hemen bozulmazlar. Dağıtık belleğe sahiptirler. YSA'larda bilgi ağa dağılmış bir şekilde tutulur. Hücrelerin bağlantı ve ağırlık dereceleri, ağın bilgisini gösterir. Bu nedenle tek bir bağlantının kendi başına anlamı yoktur.

YSA'ların bahsedilen pek çok üstünlüğün yanında bazı sakıncaları da vardır. Belli başlı sakıncaları;

Donanım bağımlıdır. YSA'ların en önemli sorunu donanım bağımlı olmalarıdır. YSA'ların en önemli özellikleri ve var oluş nedenlerinden birisi olan paralel işlem yapabilme yeteneği, paralel çalışan işlemciler ile performans gösterir.

Uygun ağ yapısının belirlenmesinde belli bir kural yoktur. YSA'larda probleme uygun ağ yapısının belirlenmesi için geliştirilmiş bir kural yoktur. Uygun ağ yapısı deneyim ve deneme yanılma yolu ile belirlenmektedir.

Ağın parametre değerlerinin belirlenmesinde belli bir kural yoktur. YSA’larda öğrenme katsayısı, hücre sayısı, katman sayısı gibi parametrelerin belirlenmesinde belirli bir kural yoktur. Bu değerlerin belirlenmesi için belirli bir standart olmamakla birlikte her problem için farklı bir yaklaşım söz konusu olabilmektedir.

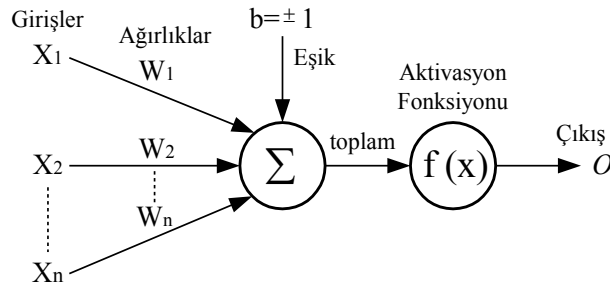
Öğrenilecek problemin ağa gösterimi önemli bir problemdir. YSA’lar nümerik bilgiler ile çalışabilmektedirler. Problemler YSA’lara tanıtılmadan önce nümerik değerlere çevrilmek zorundadırlar. Burada belirlenecek gösterim mekanizması ağın performansını doğrudan etkileyecektir. Bu da kullanıcının yeteneğine bağlıdır. Ağın eğitiminin ne zaman bitirilmesi gerektiğine ilişkin belli bir yöntem yoktur. Ağın örnekler üzerindeki arızasının belirli bir değerin altına indirilmesi eğitimin tamamlandığı anlamına gelmektedir. Burada optimum neticeler veren bir mekanizma henüz yoktur ve YSA ile ilgili araştırmaların önemli bir kolunu oluşturmaktadır.

Ağın davranışlarının açıklanamamaktadır. Bu sorun YSA’ların en önemli sorunudur. YSA bir probleme çözüm ürettiği zaman, bunun neden ve nasıl olduğuna ilişkin bir ipucu vermez. Bu durum ağa olan güveni azaltıcı bir unsurdur. Yapay sinir ağları birçok kullanım alanına sahiptir. Yapay sinir ağları başlıca; sınıflandırma, modelleme ve tahmin uygulamaları olmak üzere, pek çok alanda kullanılmaktadır. Başarılı uygulamalar incelendiğinde, YSA’ların çok boyutlu, gürültülü, karmaşık, kesin olmayan, eksik, kusurlu, arıza olasılığı yüksek algılayıcı verilerinin olması ve problemi çözmek için matematiksel modelin ve algoritmaların bulunmadığı, sadece örneklerin var olduğu durumlarda yaygın olarak kullanıldıkları görülmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş ağlar genellikle şu fonksiyonları gerçekleştirmektedirler;

- Muhtemel fonksiyon kestirimleri
- Sınıflandırma
- İlişkilendirme veya örüntü eşleştirme
- Zaman serileri analizleri
- Sinyal filtreleme
- Veri sıkıştırma
- Örüntü tanıma
- Doğrusal olmayan sinyal işleme

- Doğrusal olmayan sistem modelleme
- Optimizasyon
- Kontrol

YSA'lar günlük hayatımızda farkında olmadığımız pek çok alanda kullanılmaktadır. Gün geçtikçe uygulama alanları genişlemekte ve gelişmektedir. Temel bir yapay sinir ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel sinir hücresi modeli Şekil 3.5'te görülmektedir.



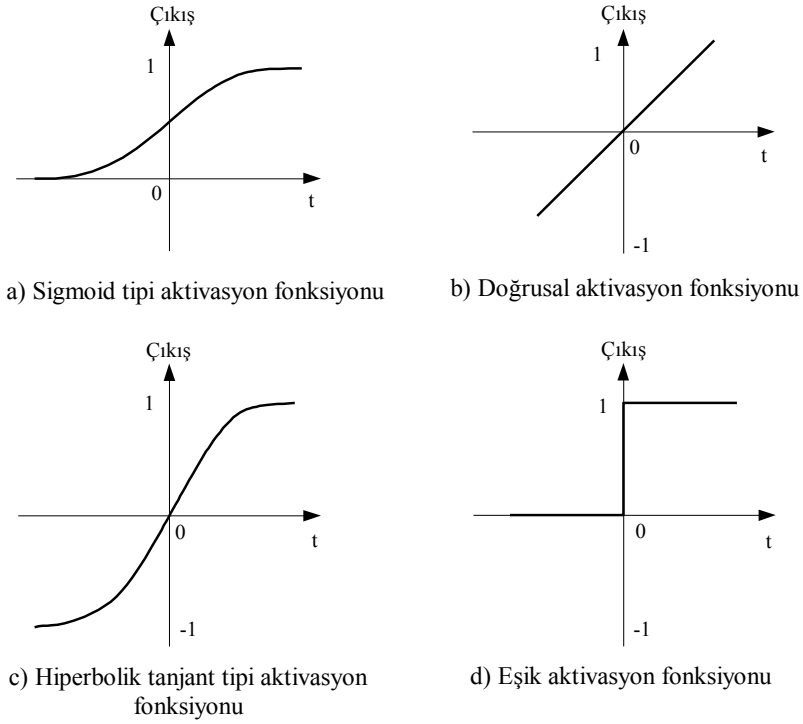
Şekil 3. 5. Temel yapay sinir ağı hücresi.

Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer sinir ağı hücrelerinden alınan veriler yani girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkışlar bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla sinir ağı hücrelerine bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar, net giriş, girişlerle bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Şekil 3.5'te görülen  $b$  bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır [51].

Nöron çıkışı ( $o$ ),  $o = f(W.X + b)$  eşitliğinden hesaplanır. Buradaki  $W$  ağırlıklar matrisi,  $X$  ise girişler matrisidir.  $n$  giriş sayısı olmak üzere;  $W = w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$   $X = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  şeklinde yazılabilir. Şekil 3.5'teki toplam değerini;

$$\text{toplam} = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \text{ ve } o = f(\text{toplam}) \text{ } o = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) \text{ şeklinde de yazılabilir.}$$

Eşiklikteki  $f(x)$  aktivasyon fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu girdi ve çıktı birimleri arasındaki eğrisel eşleşmeyi sağlar. Aktivasyon fonksiyonunun doğru seçilmesi, ağıın performansını önemli derecede etkiler. Şekil 3.6. a' da sigmoid transfer fonksiyonu görülmektedir. Lojistik fonksiyon olarak da adlandırılan bu fonksiyonunun lineer olmamasından dolayı türevi alınabilmektedir (Eş. 3.5). Böylece geri yayımlı ağılarda kullanmak mümkün olabilmektedir. Doğrusal aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir (Eş. 3.6). Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun lineer aktivasyon fonksiyonu olabildiğine dikkat edilmelidir (Şekil 3.6. b).



Şekil 3. 6. Aktivasyon fonksiyonları.

Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu da doğrusal olmayan türevi alınabilir bir fonksiyondur (Eş. 3.7). +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon lojistik fonksiyona benzemektedir (Şekil 3.6.c). Şekil 3.6.d'de eşik aktivasyon fonksiyonunun grafiği görülmektedir. Eşik aktivasyon fonksiyonu eğer net değeri sıfırdan küçükse sıfır, sıfırdan daha büyük bir değer ise net çıkışında +1 değeri verir (Eş. 3.8). Şekil 3.6'da verilen fonksiyonlar en genel aktivasyon fonksiyonlarıdır. Bu aktivasyon fonksiyonlarından başka fonksiyonlar da vardır. Yapay sinir ağında hangi

aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı probleme bağlı olarak değişmektedir [51].

$$\Psi(N) = \frac{1}{1 + e^{-N}} \quad (3.5)$$

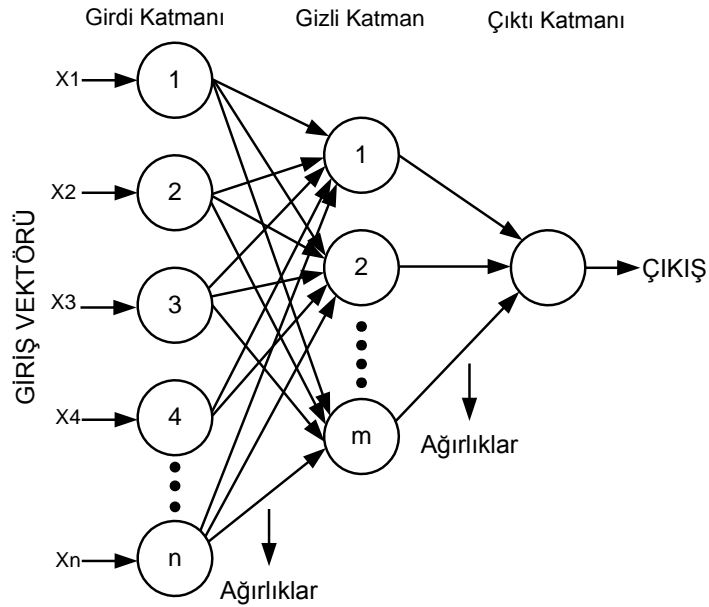
$$\Psi(N) = \alpha x, \quad \alpha \in \mathfrak{R} \quad (3.6)$$

$$\Psi(N) = \tanh(N) = \frac{e^N - e^{-N}}{e^N + e^{-N}} \quad (3.7)$$

$$\Psi(N) = \begin{cases} 0 & N \leq 0 \\ 1 & N > 0 \end{cases} \quad (3.8)$$

### 3.2.1. İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları

En basit hali ile çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı mimari yapısı Şekil 3.7'de verilmektedir.



Şekil 3. 7. Çok katmanlı ileri beslemeli sinir ağı.

Şekil 3.7'de de görüldüğü gibi çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı mimarisi üç kısımdan oluşur. Bunlar girdi katmanı, gizli katman (ya da katmanlar) ve

çıkıtı katmanıdır. Katmanlar, nöron (düğüm) adı verilen birimlerden oluşmaktadır. Mimarinin tam olarak belirlenmesi katmanlardaki nöron sayısına karar verilmesi ile gerçekleşir. İleri beslemeli ağlarda bağlantılar tek yönlü ve ileri doğrudur. Aynı katmanın birimleri arasında bağlantı yoktur.

Zaman serilerinin gelecek tahmininde en yaygın kullanılan türü üç katmanlı ileri beslemeli sinir ağıdır. Tek değişkenli zaman serileri için ağı girdileri geçmiş veya gecikmeli değişkenler, çıktısı ise tahmin değeridir.

Yapay sinir ağlarında ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan birçok öğrenme algoritması vardır. En yaygın kullanılan öğrenme algoritmalarından biri geri yayılım (back propagation) algoritmasıdır. Geri yayılım algoritması eldeki veri ile ağı çıktısı arasındaki farka dayalı olarak ağırlıkların güncellenmesini gerçekleştirir. Geri yayılım algoritmasında kullanılan öğrenme parametresi en uygun sonuca yeterli derecede yaklaşılmasında önemli rol oynar. Öğrenme parametresi sabit olarak alınabileceği gibi, algoritma içinde dinamik olarak da güncellenebilir.

### **3.2.2. Olasılık Sinir Ağı**

Olasılık Sinir Ağı (Probabilistic Neural Network - PNN) 1988 yılında Donald Specht tarafından geliştirilmiştir [55]. PNN sinir ağı sınıflandırma, haritalama gibi alanlarda kullanılmaktadır. Donald Specht'in 1988 yılında yaptığı çalışmanın temeli 1960 yılına dayanmaktadır. Bilgisayarların gelişmesi ve hafıza birimlerinin kullanılabilirliğinin artması gibi nedenlerden dolayı PNN sinir ağı tekrar gündeme gelmiştir. Specht sınıflandırmada Parzen yoğunluk fonksiyonlarını kullanır [56].

PNN sinir ağı sezgisel yaklaşımlardan çok istatistiksel ilkeler üzerine kurulmuştur. Sezgisel yaklaşımlar genellikle sistem performansını iyileştiren sistem üzerinde yapılan küçük iyileştirmelerdir.

PNN sinir ağının en büyük sakıncası eğitim vektörlerini depolamak zorunda olduğu ve bu yüzden büyük hafıza gerektirmesidir. Eğer PNN sinir ağı paralel donanımlı



makinelere çalıştırılırsa bu sorun da ortadan kalkar fakat bu sefer de maliyet artar [55].

PNN sinir ağının temelini teşkil eden fikir Parzen pencerelerini kullanarak bilinmeyen şart yoğunluklarını tahmin etmektir. Parzen'in tekniği verilen bir kategorinin her bir eğitim vektörü çevresinde n-boyutlu bir Gauss fonksiyonu merkezlemektir. Verilen kategorinin doğru olasılık yoğunluk fonksiyonlarının (OYF) bir tahmini olarak bu bireysel gauss serilerinin üstüne konan, ölçekleme ile ayrılır. n artırımlar ile, tahmin edilen OYF yaklaşımları doğru OYF'yi verir [57]. Matematiksel olarak, tahmin edilen OYF formülü eşitlik 3.9'daki gibidir. Eşitlik 3.10 A sınıfının olasılık yoğunluk fonksiyonunu vermektedir [55,58].

$$f(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} e^{-\left(\frac{d(x,y_i)}{p^\sigma}\right)^2} \quad (3.9)$$

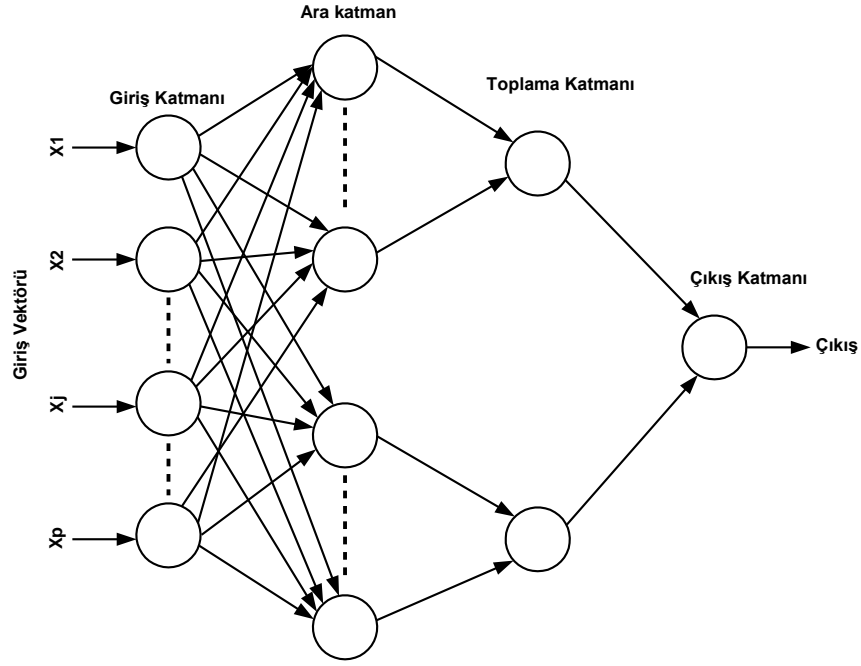
$$f_A(x) = \frac{1}{m(2\pi)^{p/2} \sigma^p} \sum_{i=1}^m \left( -\frac{(X - X_{A_i})^t (X - X_{A_i})}{2\sigma^2} \right) \quad (3.10)$$

Eşitlik 3.9 ve Eşitlik 3.10'da verilen denklemlerde  $f_A(x)$  A sınıfının OYF'si, X test giriş vektörü,  $X_{A_i}$  A sınıfından i. eğitim vektörü, p giriş vektörünün boyutu, m A sınıfındaki örneklerin sayısı,  $\sigma$  düzgünleştirme parametresini ifade etmektedir.

PNN sinir ağı parametrik olmayan bir yoğunluk hesaplayıcıdır. PNN sinir ağının en önemli üstünlüğü eğitimin önemsiz olmasıdır. Özel uygulamalar için daha az çaba harcayarak oluşturulabilen tatmin edici bir sinir ağıdır. Normalde sadece  $\sigma$  düzgünleştirme parametresi ayarlanır. Bu özelliği ile tatmin edici bir ağ elde edebilmek için defalarca denenmesi gereken diğer sinir ağları ile ters düşmektedir. PNN sinir ağında kullanılan olasılık yoğunluk fonksiyonu eşitlik 3.10'daki gibidir [55].

Şekil 3.8'de dört katmandan oluşan PNN sinir ağı verilmektedir. Birinci katman giriş katmanıdır. Bütün girdiler buraya sunulur. İkinci katman örüntü katmanıdır bu

katmanda örüntü birimlerine ait birçok grup bulunur. Her birinde özel bir örüntünün her bir birime olan olasılık yoğunluk fonksiyonunun etkisi hesaplanır. Üçüncü katman toplama katmanıdır burada her grubun sonucu toplanır. Dördüncü katman karar katmanıdır. Tüm grupların sonuçları karşılaştırılır. Maksimum sonuç veren grup kazanan gruptur.



Şekil 3. 8. PNN sinir ağının yapısı.

## BÖLÜM 4

### ALTERNATÖRLER

Alternatör motor veya rüzgar enerjisinden gelen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Şekil 4.1’de bir alternatör resmi verilmektedir. Milinden aldığı mekanik enerjiyi gerek bir fazlı gerekse üç fazlı alternatif gerilime dönüştürürler. Mekanik enerji motordan bir kasnak vasıtasıyla alınır ve rotor döndürülerek, stator sargılarında alternatif akım üretilmesi sağlanır. Bu alternatif akım diyotlar tarafından doğru akıma çevrilerek bataryaya gönderilir [59].

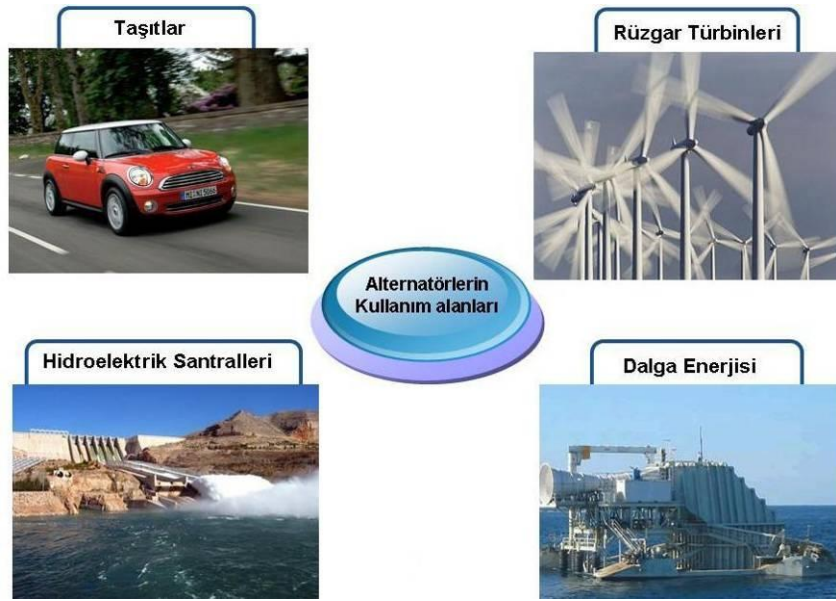


Şekil 4. 1. Alternatör.

Bir alternatör yüklendiğinde yükün cinsi ve miktarına bağlı olarak uç gerilim değişir. Bu durum elektrik santrallerinde paralel bağlı olarak çalışan alternatörlerin dengesiz yüklenecek santral veriminin düşmesine neden olur. Yük ile çevirici makinenin devir sayısı da değişmektedir. Bu nedenle yükü çok sık değişen bir alternatör ya da alternatör grubunun gerilim ve frekansında dalgalanmalar görülmektedir. Elektrikli cihazların karakteristiklerine uygun çalışabilmeleri için uygun kararlı gerilim ve

frekans ile beslemek gerekir. Buradan alternatörlerin gerilimini ve frekansını sabit tutma zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Ancak devir sayısı, devir regülatörleri yardımı ile kararlı bir şekilde tutularak gerilimin frekansında meydana gelebilecek değişimler önlenir. Bu regülatörler, alternatörlerin yüküne göre mekanik enerjiyi azaltıp çoğaltarak frekansını sabit tutabilirler.

Alternatörler genellikle elektrik enerjisinin şebekeden sağlanamadığı yerlerde kullanılır. Alternatör su türbinleri, rüzgâr, dizel motor gibi çeşitli çeviricilerle kullanılabilir (Şekil 4.2). Elektrik ihtiyacı olan çoğu yerde şebeke yedeği olarak yaygın olarak dizel motor ile tahrik edilen alternatörler kullanılır. Günümüzde fırçalı alternatörler yerini daha modern ve bakım gerektirmeyen fırçalı, gerilimin elektronik gerilim regülatörü ile sabitlendiği alternatörlere bırakmıştır.



Şekil 4. 2. Alternatörlerin kullanım alanları.

Alternatörlerin yaygın kullanım alanlarından biri olan rüzgâr türbinleri, kaynağını sürekli yenilenen rüzgârdan alan, temiz, maliyeti düşük, dış ülkelere bağımlılığı azaltan sistemlerdir. Bu özelliklerinden dolayı günümüzde rüzgâr türbinlerine olan ilgi artmaktadır. Rüzgâr türbinleri rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir. Rüzgâr türbini teknolojisi aerodinamik, mekanik, meteoroloji, elektrik gibi birçok disiplini içinde barındıran bir konudur. İlk kez 1891’ de Danimarkalı mühendis Paul LaCour’un rüzgâr türbininden

elektrik enerjisi elde etmesinden bu yana geçen süre içerisinde rüzgâr türbinlerinde farklı generatör tipleri kullanılmıştır. Bir rüzgâr türbini genel olarak kule, generatör, hız dönüştürücüleri (dişli kutusu), elektrik elektronik elemanlar ve pervaneden oluşur. Rüzgârın kinetik enerjisi rotorda mekanik enerjiye çevrilir. Rotor milinin devir hareketi hızlandırılarak gövdedeki generatöre aktarılır [60].

#### **4.1. RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE KULLANILAN GENERATÖRLER**

Temel olarak bir rüzgâr türbinine asenkron, senkron ve doğru akım generatörlerinden herhangi biri bağlanabilir [60].

##### **4.1.1. Asenkron Generatör**

Rüzgâr türbinleri içerisinde çok yaygın olarak kullanılan bir generatör tipidir. Sağlamlık, mekanik olarak basitlik, büyük tiplerde üretilebilmesi, fiyatının düşüklüğü gibi üstünlükleri vardır. En büyük sakıncası duran kısım statorun, reaktif mıknatıslanma akımına olan ihtiyacıdır. Ani rüzgâr artışlarında oluşan tork titreşimlerini azaltmada çok iyidir. Asenkron generatörler rotor yapılarındaki farklılığa göre ikiye ayrılırlar, rotoru sincap kafesli (kısa devre çubuklu) asenkron generatör ve rotoru bilezikli (sargılı) asenkron generatör [60].

##### **4.1.1.1. Sincap Kafesli Asenkron Generatör**

Sincap kafesli asenkron generatör (SKAG) hem sabit hızlı rüzgâr türbinlerinde hem de değişken hızlı rüzgâr türbinlerinde kullanılır. Manyetik sesleri azaltmak ve iyi kalkınma momenti elde etmek için rotor olukları mile paralel olarak değil meyilli olarak açılarak pres alüminyum döküm rotor sargısı elde edilir. Sincap kafesli asenkron makineler, fırçasız, güvenilir, ekonomik ve sağlam bir yapıya sahip olmaları nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadırlar. Sakıncaları; generatör parametrelerinin sıcaklık ve frekansla değişerek sistemin kontrolünü karmaşılaştırmasıdır. Moment-hız eğrisi doğrusaldır. Böylece rüzgâr gücündeki dalgalanmalar direkt olarak şebekeye iletilir. Bu geçişler özellikle rüzgâr türbininin şebeke bağlantısı sırasında kritiktir. Bu noktalarda nominal akımdan 7-8 kat daha

hızlı akım geçişi olur ki bu sistemin sakıncaları arasında yer alır [60].

#### **4.1.1.2. Rotoru Sargılı Asenkron Generatör**

Bir rotoru sargılı asenkron generatörde rotorun elektriksel özellikleri dışarıdan kontrol edilebilir ve böylece rotor gerilimi değiştirilebilir. Rotor sargı uçları rotorla beraber dönen bileziklere bağlıdır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile, rotor sargıları üç fazlı bir yol verici direncine ya da dış kaynağa bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırlandırıldığı gibi hız ayarı da yapılabilir. Sakıncaları ise pahalı olması ve sincap kafesli asenkron generatör kadar sağlam olmamasıdır [60].

#### **Çift Beslemeli Asenkron Generatör**

Çift beslemeli asenkron generatör stator sargıları direkt olarak sabit frekanslı 3 fazlı şebekeye bağlı bir rotoru sargılı asenkron generatör ile rotor sargılarına monte edilmiş iki yönlü IGBT dönüştürücüden meydana gelmiştir. Genellikle, rotor tarafındaki konverter kontrol sistemi, elektromanyetik torku regüle eder ve generatörün manyetizasyonunu sürdürebilmesi için reaktif güç sağlar. Şebeke tarafındaki konverter kontrol sistemi ise, DA linkini regüle eder. Çift beslemeli asenkron generatör değişik rüzgâr hızı uygulamalarına imkan sağlar, ancak sınırlıdır. Çift beslemeli asenkron generatörün üstünlükleri; deniz rüzgâr santrali uygulamaları gibi büyük güç sistemleri için uygun olmasıdır. Çift beslemeli asenkron generatörün en büyük sakıncası ise bilezik tertibatının düzenli bakıma olan ihtiyacıdır [60].

#### **OptiSlip® İndüksiyon Generatör**

OptiSlip® İndüksiyon Generatör rüzgârın ani ve sert esmesi sırasında rüzgâr türbinindeki yükleri çok hızlı güç elektroniği elemanları kullanarak minimuma indirmek için Danimarkalı Şirket Vestas® tarafından geliştirilmiştir. Optislip® generatör rotoru sargılı asenkron generatör ile şafta yerleştirilmiş ayarlanabilir harici rotor dirençlerinden oluşur. Herhangi bir bileziğe ihtiyacı yoktur. Generatörün kayması, rotor şaftına bağlı bir dönüştürücü aracılığıyla toplam rotor direncinin düzenlenmesi ile değiştirilir. Bu değişim rüzgâr hızına ve yüke bağlı olarak

elektronik devre ile %1 ile %10 arasında değişmektedir. Böylelikle ani rüzgâr artımlarında oluşan mekanik yükler ve güç dalgalanmalarının azaltılması hedeflenmiştir. Sakıncası ise reaktif güç kontrolünün zayıf olmasıdır [60].

#### **4.1.2. Senkron Generatör**

Senkron generatörler, aynı büyüklükteki asenkron generatörlere göre daha pahalı ve mekaniksel olarak daha karmaşıktır. Senkron generatör, harici bir yükü besleyen üç fazlı sargıların oluşturduğu bir stator ve manyetik alanı oluşturan bir rotordan meydana gelir.

Senkron generatörler sabit hızlı sistemler için daha uygundur. Bu nedenle sabit hıza bağlı olarak sabit frekansta çalışırlar. Rotorun oluşturduğu manyetik alan, ya sürekli mıknatıslardan ya da sargılardan akan doğru akımdan üretilir [60].

##### **4.1.2.1. Rotoru Sargılı Senkron Generatör**

Manyetik alan kutup sargısının bulunduğu makinenin hareketli parçası rotorda üretilir. Rotorda ki kutup sargısı doğru akımla beslenerek hava aralığında zamana göre değişmeyen genliği sabit manyetik alan meydana getirir. Bu manyetik alan rotorun döndürülmesi ile statora yerleştirilmiş sargının düzlemlerinden değişik açılarda geçer ve gerilimi indükler. Bu sargıda oluşan gerilim alternatiftir, zamana göre değişir. Rotoru sargılı senkron generatörün hızı, döner alanın frekansı ve kutup sayısına göre değişir. Stator tarafındaki konverter elektromanyetik torku, şebeke tarafındaki konverter ise bu sistemin oluşturduğu aktif ve reaktif gücü regüle eder. Elektromanyetik tork üretiminde stator akımının tamamı kullanıldığı için rotoru sargılı senkron generatörün verimi yüksektir. Rotoru sargılı senkron generatör kullanılmasının en büyük faydası, makinenin güç faktörünün doğrudan kontrolüne müsaade edilmesidir. Bunun sonucu olarak, stator akımı birçok işletim durumunda minimize edilebilir. Bu generatörlerin kutup eğimi indüksiyon makinelerine göre daha küçük olabilir. Bu durum dişli kutusunu ortadan kaldırabilir. Asenkron generatörlerin aksine senkron generatörlerin, reaktif güç kompanzasyon sistemine

ihtiyacı yoktur. Rotorda sargı devresinin bulunması daimi mıknatıslı senkron generatör ile kıyaslandığında bir sakıncadır [60].

#### **4.1.2.2. Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör**

Sürekli mıknatıslı senkron generatör (SMSG) herhangi bir enerji kaynağına gerek duymadan kendinden uyarımlı olması nedeniyle rüzgâr türbini uygulamalarında önerilmektedir. En büyük artısı herhangi bir hızda güç üretebilmesidir. Bakım maliyeti düşüktür. Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur. Generatör hızı herhangi dişli kutusuna gerek kalmadan kontrol edilebilir. SMSG' nin statoru sargılıdır ve rotoruna sürekli mıknatıslar yerleştirilmiştir. SMSG' nin çok yaygın kullanılan tipleri; radyal akılı, aksiyal akılı ve çapraz akılı SMSG'lerdir. SMSG'ler harekete geçme anında senkronizasyonda ve gerilim regülasyonunda bazı sorunlar çıkartabilir. Ayrıca sürekli mıknatısların fiyatları çok yüksektir. Bir diğer sakıncası ise mıknatısların manyetik özelliklerinin sıcaklıkla değişmesidir. Yüksek sıcaklıklarda ve kısa devre durumlarında mıknatısların manyetik özelliklerini kaybettikleri bilinmektedir. SMSG'lerin rotor sıcaklıklarının soğutma sistemleri ile kontrolünün sağlanması gereklidir [60].

#### **4.1.3. Doğru Akım Generatörü**

Doğru akım generatörleri (DAG), güvenilirliklerinin düşük olması ve bakım gerektirmesi gibi sakıncalarına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması nedeniyle rüzgâr enerjisi sektöründe kullanılmaktadır. DAG' ler küçük kapasiteli rüzgâr türbinlerinde, özellikle elektriğin şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı yerlerde tercih edilmektedirler.

Son yıllarda mekaniksel komütatörlü DAG' ların komütatörü elimine etmek için sürekli mıknatıslı olarak tasarlanmasına başlanmıştır. Bu tertibatta üretilen alternatif akım yarı iletken doğrultucular yardımıyla doğru akıma dönüştürülür. Fırçasız doğru akım makineleri olarak da isimlendirilen bu makineler, sürekli mıknatısların kapasitelerinin ve güçlerinin sınırlı olması nedeniyle, küçük güçlü rüzgâr türbinlerinde kullanılmaktadırlar [60].



#### **4.1.4. Anahtarlı Relüktans Generatör**

Son yıllarda anahtarlamalı relüktans generatör (ARG) iyi mekanik güvenilirlik, yüksek tork-güç oranı, yüksek verim ve düşük maliyetten dolayı rüzgâr enerjisi uygulamalarında tercih edilen generatördür. ARG' nin statorunda bulunan her çıkık kutuba çoklu sargılar yerleştirilmiştir. ARG uyartım ve üretim olmak üzere iki aşamada çalışır. ARG iki anahtar ve her faz başına iki diyottan oluşur.

Rüzgâr türbinlerinde kullanılacak olan generatörün seçiminde göz önüne alınacak en önemli kriter, rüzgâr türbininin yerleşeceği bölgenin rüzgâr özelliğinin belirlenmesidir. Seçilen generatör; farklı rüzgâr değişimlerinden minimum etkilenip, maksimum verimle çalışabilmelidir.

Değişken hızlı rüzgârlarda kullanılan generatörler frekans dönüştürücülere ve güç elektroniği elemanlarına ihtiyaç duyar. Fakat son yıllarda gerek güç elektroniğinde kaydedilen ilerlemeler, gerekse yarı iletken teknolojisinin maliyetinin her geçen gün azalması, rüzgâr güç sistemlerinde bu yapının kullanımını oldukça cazip hale getirmiştir [60].

#### **4.1.5. Generatör Arızaları**

Generatör arızaları; stator arızaları, rotor arızaları, mekanik arızalar ve dış arızalar olmak üzere dört grupta incelenebilir.

##### **4.1.5.1. Stator Arızaları**

Stator arızaları stator yalıtımının bozulması sonucu, sargı toprak ve sarım kısa devresi şeklinde oluşurlar. Stator arızaları ana akım taşıyan iletkenlerle ilgili olduğundan en kısa zamanda temizlenmelidir. Bu tür arızalarda arıza noktasındaki büyük ısı oluşması sonucu hasar fazladır.

Stator arızalarının onarımı uzun zaman alır ve onarım maliyeti fazladır. Toprak arızalarını sınırlamak için en genel uygulama topraklama direnci kullanmaktır.

Sargılar arası ve sargılardaki sarım kısa devresi, toprak arızalarına göre daha az oluşurlar.

#### **4.1.5.2. Rotor Arızaları**

Rotor arızaları, sargı yalıtımı üzerindeki aşırı termik ve mekanik zorlanma sonucu, sargı-toprak ya da sarım kısa devresi şeklinde oluşur. Normal olarak rotor sargısı topraksız çalıştırıldığından tek bir toprak arızası, arıza akımına neden olmaz. İkinci bir toprak arızası sargının bir bölümünü kısa devre edeceğinden simetrik olmayan bir besleme oluşur ve rotorda dengesiz kuvvet doğar. Böyle bir kuvvet yataklarda büyük basınç ve şaft distorsiyonu oluşturur.

#### **4.1.5.3. Mekanik Arızalar**

Mekanik arızalar hız, ikaz sisteminin devre dışı kalması ve vakum olarak özetlenebilir.

#### **4.1.5.4. Dış Arızalar**

Dış arızalar sistemin yanlış bağlanması sonucu meydana gelen arızalar, yükteki dengenin bozulması, hatlardaki kısa devreler, hatlardaki atmosferik veya başka sebeplerle meydana gelen çok yüksek gerilimler ve frekansta meydana gelen değişimler olabilir.

### **4.1.6. Generatör Arızalarından korunma yöntemleri**

#### **4.1.6.1. Diferansiyel Koruma**

Generatörlerde ana koruma, bu arızalardan korunmak üzere tesis edilen diferansiyel korunmadır. Generatörlerin faz-faz, faz-toprak ve faz-spir arızalarında en etkin korunmadır. Stator sargıları arasında bir yalıtım arızası sonucunda meydana gelen kısa devreler, en emin bir şekilde diferansiyel röle ve diferansiyel koruma tertibi tarafından tespit edilir ve kısa devrenin meydana getireceği zararın az olmasını

sağlama maksadı ile gerekli koruma kumandası verilir.

#### **4.1.6.2. Aşırı Akım Koruma**

Generatör ana korumasına ek olarak genellikle indüksiyon tip ters zamanlı bir aşırı akım rölesi kullanılır. Rölenin akım ve zaman ayar değerleri generatör empedansı, zaman katsayısı ve gerilim regülatörüne bağlı olarak değişen arıza akımı azalmasına göre seçilir.

#### **4.1.6.3. Aşırı Gerilim Koruma**

Aşırı gerilim koruma, bütün hidrolik ve gaz türbiniyle çalışan generatörler için önerilmektedir. Çünkü bu tip gruplarda yük kaybı halinde aşırı hızlanmalar nedeni ile aşırı gerilim yükselmeleri meydana gelebilir.

Aşırı gerilimler makine izolasyonunu zorladığından makine devre dışı edilerek, izolasyon zayıflaması önlenir.

#### **4.1.6.4. Stator Toprak Arızası Koruması**

Stator izolasyonundaki delinme ve sargıdan demir nüveye kaçak akımın meydana gelmesi, bir stator toprak arızası olarak tanımlanır.

#### **4.1.6.5. Rotor Toprak Arızası Koruması**

Rotor sargılarında veya ikaz DA bara sisteminde meydana gelecek direkt toprak arızalarında çalışan bir koruma rölesidir. Rotor sargıları toprak arızası veya açık devre ile hasara uğrarlar. Rotor sargılarında bir noktada meydana gelen toprak arızasında herhangi bir hasar olmaz. Fakat ikinci bir toprak arızasında, kutupların bir kısmı kısa devre olup servis harici olacağından sargı akımı artar ve dengesiz hava aralığı akısı meydana gelir. Buda vibrasyona neden olur, rotoru ısıtır. Vibrasyon nedeni ile yataklarda tahribatlar meydana gelir. Bu nedenle de rotor statora sürterek, statorda tahribatlar yapar.

#### **4.1.6.6. Negatif Bileşen Akımlara Karşı Koruma**

Normal senkron hızda, stator akımlarının dengesiz olması veya fazlardan birinin kopması yada kesici kontağının kapanmaması halinde statorda dolaşan akımın, negatif bileşen akımları meydana gelir. Bu negatif bileşen akımlar stator nominal akım değerinin % 10'undan daha fazla olursa, rotorda çok kısa zamanda ısınmalar meydana gelir. Bu dengesiz akımlar makinede ciddi vibrasyona da neden olabilir.

## **4.2. TAŞITLARDA KULLANILAN ALTERNATÖR ÇEŞİTLERİ**

Alternatörler yapılarına göre klasik tip ve kompakt alternatörler olarak sınıflandırılırlar.

### **4.2.1 Klasik Tip Alternatörler**

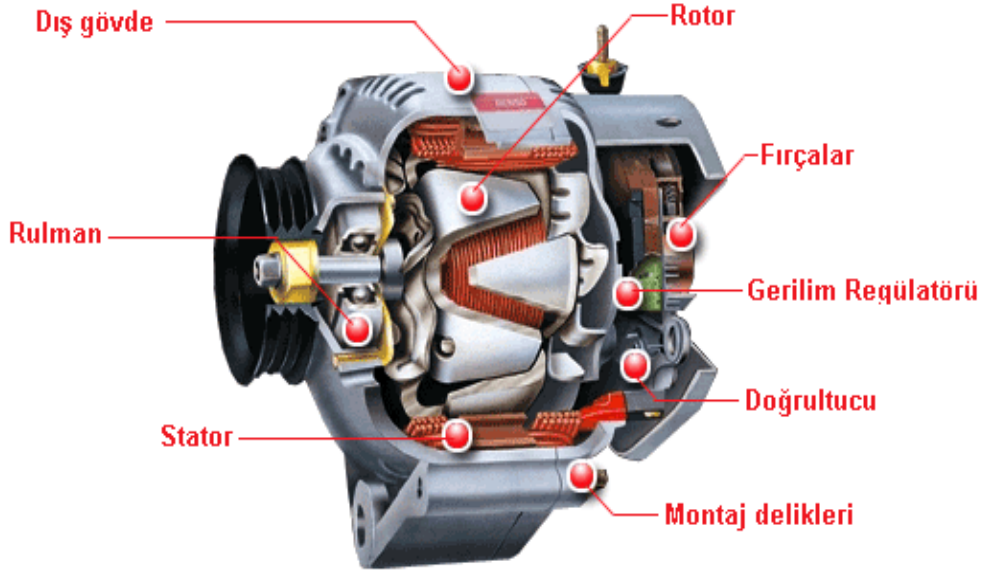
Mekanik enerji motordan bir kasnak vasıtasıyla alınır ve rotor döndürülerek, stator sargılarında alternatif akım üretilmesi sağlanır. Bu alternatif akım diyotlar tarafından doğru akıma çevrilerek bataryaya gönderilir. Alternatörün temel parçaları elektromıknatıslanmayı oluşturan rotor, elektrik akımını üreten stator ve akımı doğrultan diyotlardır. Bunlara ek olarak, aynı zamanda manyetik oluşturulması için rotora akım geçiren fırçalar, rotorun yumuşak bir şekilde dönmesini sağlayan rulmanlar ve rotoru, statoru ve diyotları soğutmak için bir fan bulunmaktadır. Tüm bu parçalar ön ve arka kapak tarafından birleştirilir [61].

### **4.2.2 Kompakt Alternatörler**

Entegre devre regülâtörlü bir kompakt (küçük ve hafif) alternatör, standart büyüklükteki bir alternatörden %17 daha küçük ve %26 daha hafiftir. IC regülâtörlü alternatör, standart ölçüdeki bir alternatörle aynı şekilde üretilir. Fakat şüphesiz IC regülâtörünün çalışması klasik platinli tip bir regülâtörün çalışmasından farklıdır. Kompakt alternatörler daha küçük ve daha hafiftir, fan ve motor birleştirilmiştir, servis kolaylığı arttırılmıştır, şarj sistemi basitleştirilmiştir [62].

### 4.2.3 Pençe Tipi Alternatörler

Pençe kutuplu alternatörlerin kutup başları birer yüzeyleri yalıtılmış sac levhaların paketlenmesinden yapılıdır. Pençe kutuplu alternatörlere çıkıntılı tip alternatör de denmektedir. Şekil 4.3'te pençe kutuplu alternatör verilmektedir [62].



Şekil 4. 3. Pençe tipi alternatör.

Rotor oluklarında bulunan sargılar kendi aralarında N-S-N-S oluşturacak şekilde bağlanırlar. Çıkıntılı kutuplu alternatörler çok kutuplu olarak yapılırlar. Bunların rotor çapları büyük, rotor açıları ise küçüktür. Bu alternatörler yüksek devirde kullanılmazlar. Çünkü rotorun yapısal şeklinden kaynaklanan santrifüj etki ile büyük gürültü ve rüzgar kayıplarının önüne geçilemez.

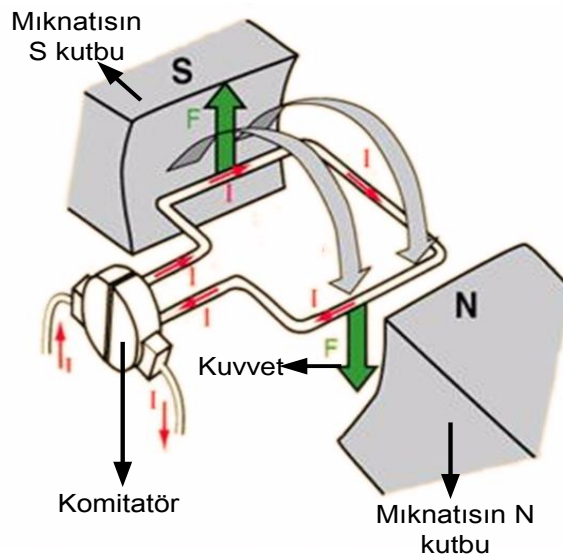
### 4.2.4. Yuvarlak Tip Rotoru Olan Alternatörler

Yuvarlak (silindirik) kutuplu alternatörler, yüksek devirli türbinlerde (buhar türbinlerinde) kullanılırlar. Genel olarak silindirik rotorların boyları uzun, çapları küçüktür. Silindirik rotorlarda kutup sargıları, mile paralel açılan oyuklara yerleştirilmiştir. Kutup sargısı uçları rotor mili üzerinde bulunan bileziklere bağlanır. İki veya dört milli olarak yapılırlar. Yatay milli olarak çalışırlar. Yuvarlak kutuplu

alternatörlerin rotordaki alan sargıları çıkıntılı kutuplu rotorlarda olduğu gibi kutuplar üzerine sarılmayıp oyuklar içine yerleştirilmiştir. Uçları ise rotordaki bileziklere bağlanmıştır [63].

### 4.3. ALTERNATÖRLERİN ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Alternatörler doğru akım üreteçleriyle aynı mantıkla çalışırlar. Bobin, bir manyetik alan içerisinde döndürüldüğünde elektrik üretir. Bu elektrik akımının tipi, akımın yönünü sabit bir şekilde değiştirdiği alternatif akımdır. Bu akımın doğru akıma çevrilmesi için bir komitatör (kollektör) ve kömürlerin kullanılmasına gerek vardır. Yani, her stator bobininde üretilen elektrikten doğru akımı elde etmek için Şekil 4.4'te verildiği gibi komitatörü olan bir endüvi, bobinlerin içinde döndürülmelidir. Bununla beraber, endüvinin yapısı karmaşık olacak ve yüksek hızlarda döndürülemeyecektir. Akımın komitatör ve kömürlerin üzerinden geçmesinden dolayı bir diğer sakınca daha olacaktır.

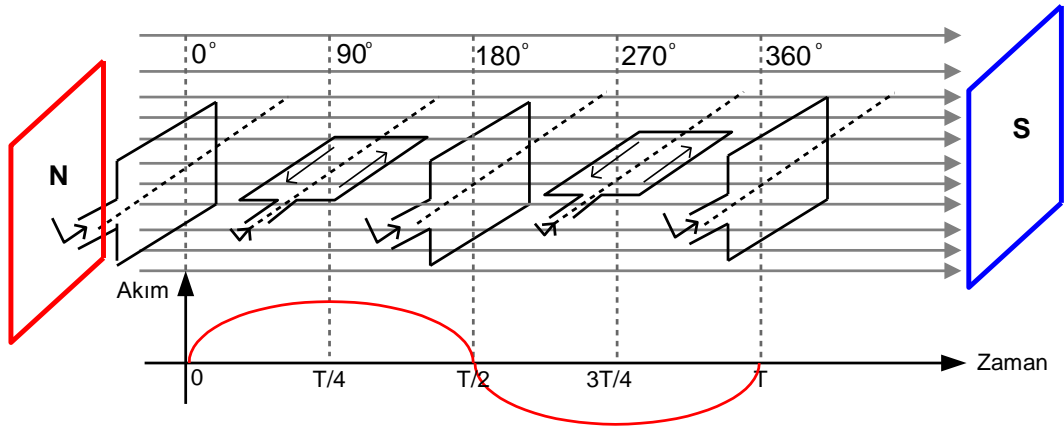


Şekil 4. 4. Komitatör

Arklara bağlı olarak daha kolay aşınacaktır. Bununla beraber, stator bobininde üretilen alternatif akım dışarı çıkmadan önce bir doğrultucuyla doğru akıma çevrilirse ve stator bobini döndürülmesi yerine, mıknatıs bobin içinde döndürülecek olursa, aynı şekilde bobin de elektrik üretebilir. Bobinde daha fazla elektrik üretilirse, geçen

akıma bağılı olarak, daha fazla ısı açığa çıkmasına neden olacaktır. Bu nedenle, eğer stator sargıları çevrede tutulup rotor sargıları içinde dönecek şekilde yapılırsa, daha iyi soğutma sağlanır [63].

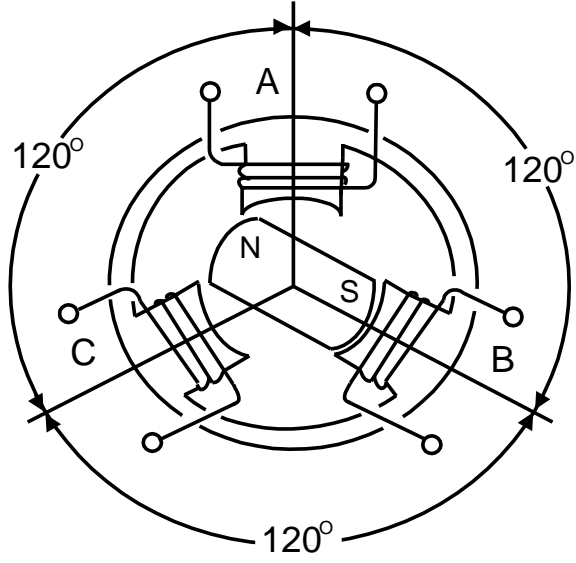
Bir bobin içinde bir mıknatıs döndüğünde, bobinin uçları arasında bir gerilim oluşacaktır. Bu alternatif akıma bir artış sağlar.



Şekil 4. 5. Alternatif akımın zamana bağlı olarak yön değiştirmesi.

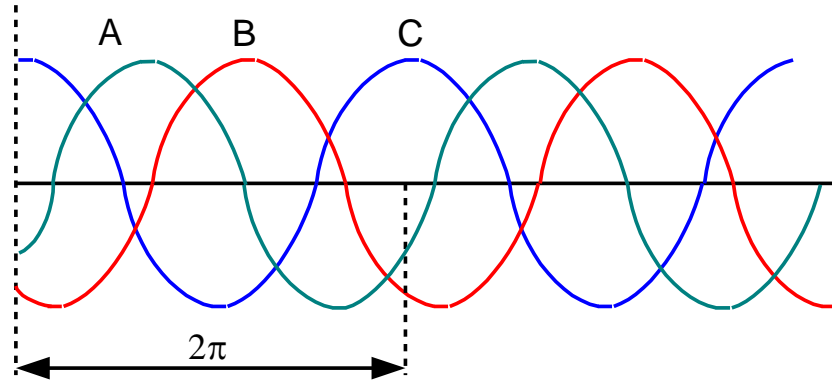
Şekil 4.5'teki magnetik alan içinde tel çerçeve dönerken bir tam devir için ( $360^\circ$ 'lik dönüş için) geçen süre  $T$  ise bu süre içinde akımın zamana bağlı değişimi, aşağıdaki şekildeki gibidir. Tel çerçevenin harekete başladığı an ile  $T/4$  zaman aralığında akım, en küçük değerinden maksimum değerine ulaşır.  $T/4$  ile  $T/2$  zaman aralığında akım maksimum değerinden en küçük değerine iner.  $T/2$  ile  $3T/4$  zaman aralığında akım ters yönde en küçük değerinden maksimum değerine ulaşır.  $3T/4$  ile  $T$  zaman aralığında ise akım ters yönde maksimum değerinden başlangıç konumuna döner. Böylece tel çerçeve  $360^\circ$  dönmüş olur. Akım bu esnada iki kez yön değiştirir.

Daha verimli şekilde elektrik üretmek için, otomobil alternatörleri Şekil 4.6'da gösterildiği gibi yerleştirilen üç bobin kullanır. Her bobin A, B ve C,  $120^\circ$  lik aralıklarla dizilirler. Mıknatıs bunların arasında döndüğü zaman her bobinde alternatif akım üretilir. Şekil 4.6'da üç alternatif akım ve mıknatıs arasındaki ilişki gösterilmektedir. Bunun gibi üç alternatif akıma sahip elektrik "Üç fazlı alternatif akım" olarak anılır. Otomobil alternatörleri üç fazlı akım üretirler.



Şekil 4. 6. Üç bobinli alternatör.

I. faz sargısında oluşan gerilim Şekil 4.7’de görüldüğü gibidir. II. faz sargısı I. faz sargısından  $120^\circ$  sonra yerleştirilmiştir. Şekil 4.7’de bu durum görsel olarak ifade edilmektedir.



Şekil 4. 7. Fazların oluşumu.

I. Faz sargısındaki maksimum gerilim oluştuğu noktadan  $120^\circ$  sonra II. faz sargısında tepe gerilimi oluşacaktır. Aynı durum III. faz sargısı ile II. faz sargısı için de geçerlidir. II. faz sargısında maksimum tepe gerilimi oluştuktan  $120^\circ$  sonra III. faz sargısında tepe gerilimi oluşur. Böylece alternatörün çıkış gerilimi daha kararlı olmaktadır. Üç faz akımı ayrı ayrı kullanılabilirdiği gibi istenirse aralarında müşterek



bağ kurularak ek üstünlükler de elde edilir. Bunlar yıldız (Y) ve üçgen ( $\Delta$ ) bağlantılardır [63].

#### 4.3.1. Yıldız Bağlantı

AB faz hatları arasındaki  $E_{AB}$  gerilimi,  $E_{AO}$  ve  $E_{OB}$  faz gerilimlerinin vektörel toplamına eşittir. Şekil 4.8'de Yıldız bağlantı ve vektör poligonu verilmiştir. Şekil 4.9'da yıldız bağlı stator sargısı görülmektedir.



Şekil 4. 8. Yıldız bağlı statorun yapısı.

$$E_{AB} = E_{AO} + E_{OB} \quad (4.1)$$

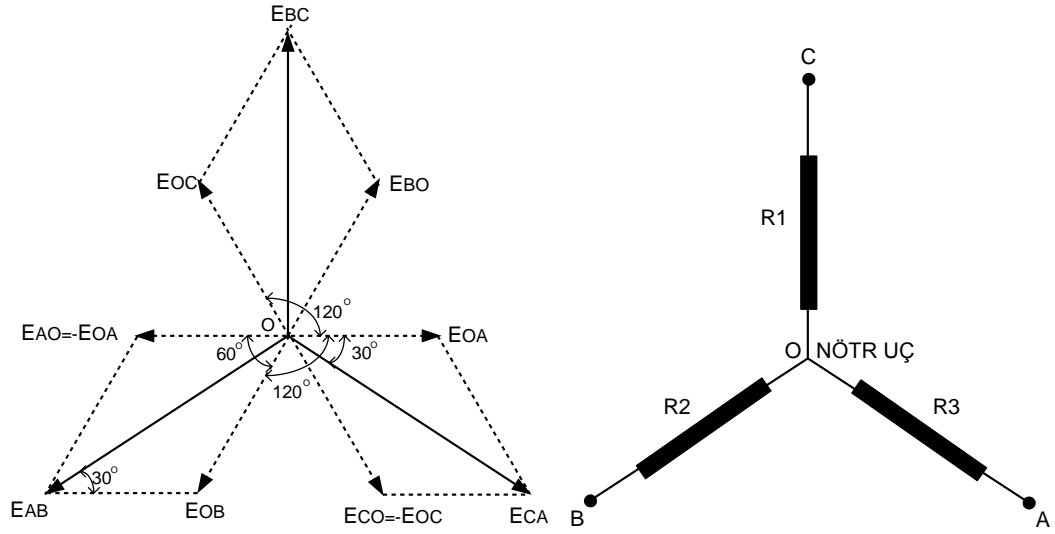
$E_{AB}$ ,  $E_{BC}$  ve  $E_{CA}$  fazlar arası gerilimlerinde (hat gerilimlerinin) arasında 120'şer derecelik faz farkı vardır.  $E_{AB}$  vektörünün mutlak değeri şekildeki vektör diyagramından hesaplanabilir.

$$|E_{AB}| = 2 \cdot |E_{OB}| \cos 30 = 2 \cdot |E_{OB}| \quad (4.2)$$

$$|E_{AB}| = \sqrt{3} |E_{OB}| \quad (4.3)$$

Faz gerilimleri birbirine eşit olduğu için fazlar arası gerilimlerde birbirine eşittir.

$E_{AB} = E_{BC} = E_{CA} = E$  Fazlar arası gerilim faz geriliminin  $\sqrt{3}$  katına eşittir.



Şekil 4. 9. Yıldız bağlantı ve vektör poligonu.

Bağlantıların omik dirençleri birbirine eşit olacağından ( $R_1=R_2=R_3$ ) her fazdan çekilen  $I_{OA}$ ,  $I_{OB}$  ve  $I_{OC}$  faz akımları birbirine eşittir. Yük omik olduğu için her faz akımını kendi fazının elektromotor kuvveti (EMK) ile aynı fazdadır. Faz EMK' ları  $120^\circ$ 'şer derece faz farklı olduklarına göre, faz akımları arasında  $120^\circ$ 'şer derece faz farkı vardır.

$$|I_{OA}| = |I_{OB}| = |I_{OC}| = I_F \quad (4.4)$$

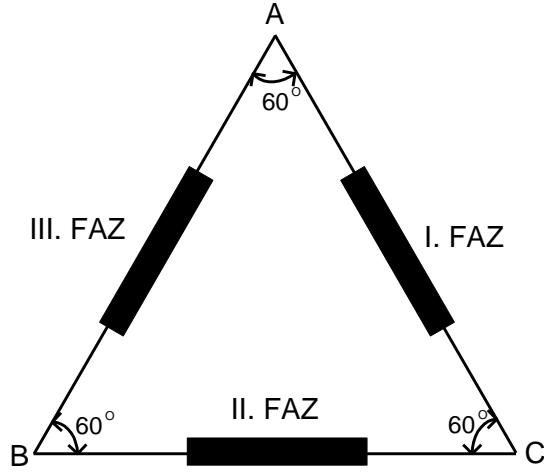
$$I_{\text{hat}} = I_{\text{faz}} \quad (4.5)$$

#### 4.3.2. Üçgen Bağlantı

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi sargıların üçgen şeklinde bağlanmasıyla elde edilir. Bu bağlantı şeklinde toplam akım,  $\sqrt{3}$  .Faz akımı kadar artar. Toplam gerilimde bir değişiklik meydana gelmez. 100 A'den büyük akım kapasiteli alternatörde uygulanan bağlantı şeklidir [6].

$$\text{Toplam akım} = \sqrt{3} \cdot \text{Faz akımı} \quad (4.6)$$

$$\text{Toplam gerilim} = \text{Faz gerilimi} \quad (4.7)$$

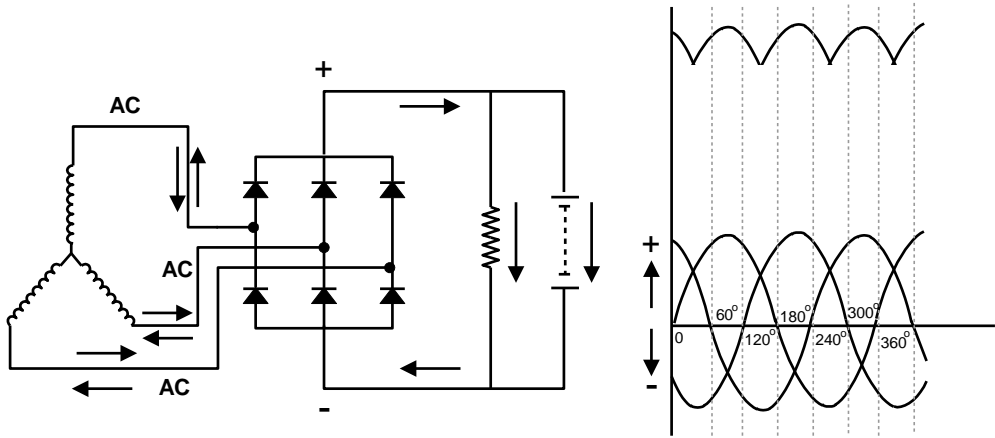


Şekil 4. 10. Üçgen bağlantı.

Yıldız bağlantıda aynı uç gerilim elde etmek için daha az sargı yeterlidir (Örneğin üçgende 100 sarım yapmak gerekirse yıldızda 100/  $\sqrt{3}$  spir yeterlidir). Yıldız bağlantıda topraklama daha kolay yapılabilir, fazlar arası çıkış gerilimi daha sinüsoidaldır [63].

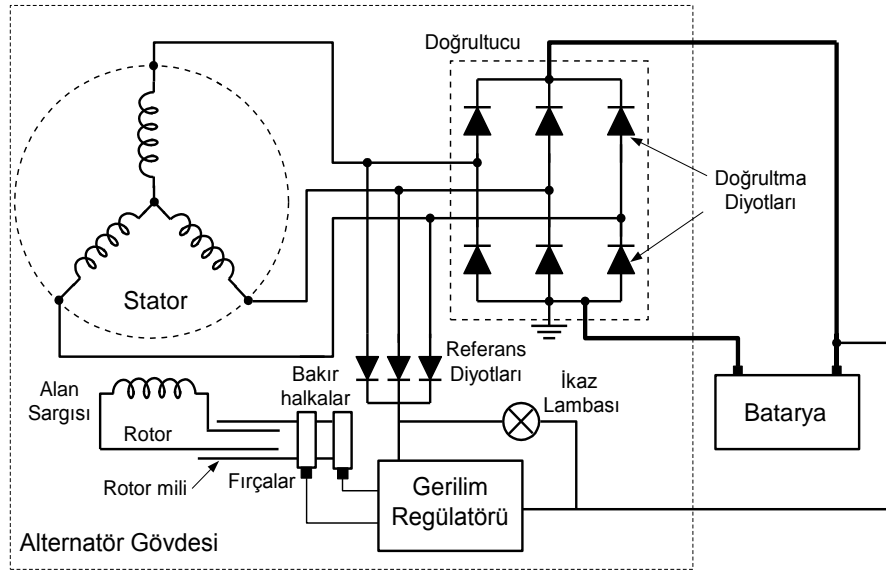
#### 4.3.4. Alternatif Akımın Doğrultulması

Alternatörlerde alternatif akımın doğrultulması için altılı diyot köprüsü kullanılır. Doğrultma Şekil 4.11’de gösterildiği gibi diyot kullanıldığında, üç fazlı alternatif akım doğru akıma, tam dalga boyu doğrultma ile çevrilir. Otomobil alternatörleri kendinden diyotlu üretildiklerinden elektrik çıktısı doğru akımdır [64].



Şekil 4. 11. Üç fazlı AA akımın doğrultulması.

Doğrultma sırasında A ve C sargılarındaki gerilim A ucundan doğrultucu diyotlara geçer. Bundan sonra akım geçmesine imkân verecek şekilde düzenlenen diyottan geçmektedir. Akım bu diyottan alternatörün çıkışına oradan da bataryayı dolaşarak geriye gelmektedir. Şekil 4.12’de taşıtlardaki mevcut şarj sistemi ve alternatörün açık şeması verilmektedir. Alternatörün çıkışı diyotlarla doğrultularak sisteme uygulanmaktadır. Aynı zamanda bu çıkış regülatöre uygulanarak rotor sargısına uygulanacak gerilime karar verilmektedir.



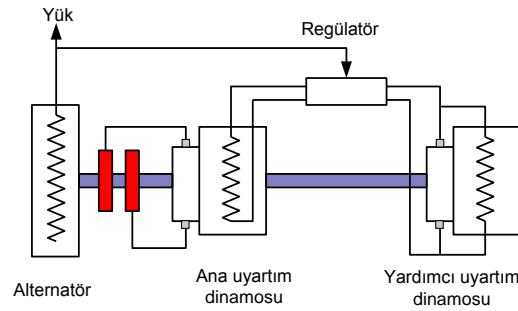
Şekil 4. 12. Taşıtlardaki en temel alternatör ve şarj sistemi.

Alternatörün çıkışı diyotlarla doğru gerilime dönüştürülür. Üretilen gerilim regülatör olmaksızın çok yüksek değerde olmaktadır. Bu yüksek gerilim akünün aşırı şarj olmasına ve sistemdeki elektrik donanımların bozulmasına neden olur. Regülatör şarj sisteminde akünün aşırı şarj olmasını veya şarjsız kalmasını önlemek için gerekli gerilim ayarlamalarını yapar. Rotor sargısındaki akımın değişmesi yaklaşık 100ms ve daha fazla zaman almaktadır. Bu süre yüksek stator kayıplarına neden olmaktadır. Dolayısıyla alternatörün verimini ve çıkış gücüne etki etmektedir [62]. Otomobillerde kullanılan alternatörler aracın motoru çalışırken aküyü şarj eder ve diğer tüm elektrik sistemlerine enerji sağlar. Alternatörler, doğru akım elde etmek için gereken çeviriciye sahip olmadıklarından doğru akım üreteçlerine göre daha basit, hafif ve dayanıklıdır. Bu dayanıklılıkları sayesinde daha yüksek hızlarda çalışabilirler, böylece otomobillerdeki alternatörler motor hızının iki katı hızda

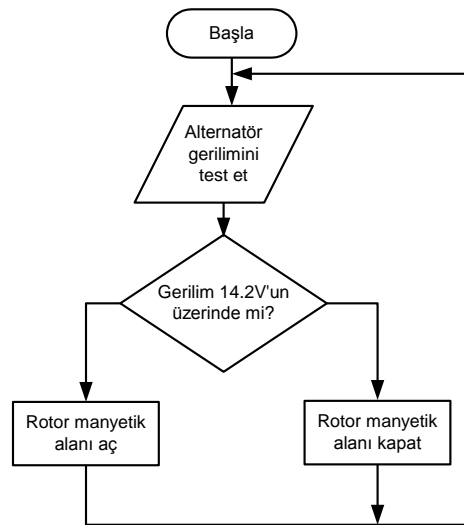
dönebilir, bu da alternatörün çıkış gücünü artırır.

#### 4.3.5. Gerilim Regülatörü

Alternatör gerilimini yük durumuna göre ayarlayan düzeneklere gerilim regülatörleri denir. Regülatörün çalışma prensibi alternatörün uyarımını sağlayan uyarım dinamosunun kutup sargılarına seri olarak bir direncin girip çıkması şeklindedir. Şekil 4.13'teki prensip şemada regülatör, alternatör çıkış gerilimine göre yardımcı uyarım dinamosunun gerilimini, yardımcı uyarım dinamosu ise ana uyarım dinamosunun gerilimini, ana uyarım dinamosu ise alternatör gerilimini düzenleyecektir [62]. Şekil 4.14'te gerilim regülatörünün görev akış şeması verilmektedir [6].



Şekil 4. 13. Gerilim regülatörü çalışma prensibi

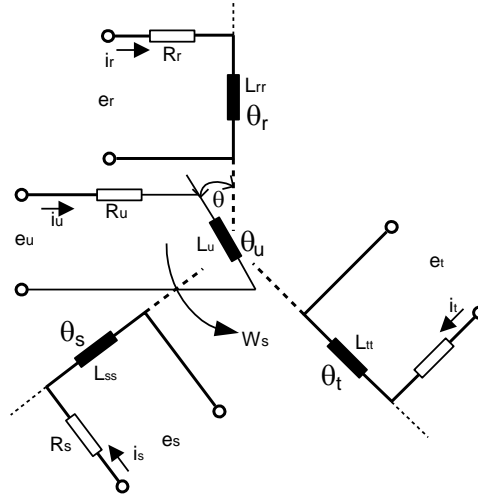


Şekil 4. 14. Gerilim regülatörünün görevi

### 4.3.6. Alternatörün Matematiksel Hesaplamaları

#### 4.3.6.1. Senkron Makinelerin Parametreleri ve Temel Bağlıları

Senkron makineler yuvarlak kutuplu veya çıkık kutuplu olarak yapılırlar. Bu iki tip makinenin rotor ve statorları arasındaki hava aralığının farklılığından dolayı bazı parametre ve bağıntılarında farklılıklar vardır. Bu durum çıkık kutuplu makinelerde daha karmaşık işlemler yapmayı gerektirir. İzlenecek yol bakımından fazla bir fark olmadığından burada, yuvarlak kutuplu makineler üzerinde durulmuştur. Ayrıca senkron makineler, için elde edilen bağıntılar alternatörler içinde geçerlidir [66].



Şekil 4. 15. Üç fazlı bir senkron makinenin parametreleri

Senkron makinelerin çalışma özellikleri döner alan esasına göre açıklanabilir. Ancak, matematiksel inceleme enerji dönüşümü teorem ve sonuçları yardımı ile yapılır. Şekil 4.15'te üç fazlı bir senkron makinenin parametreleri verilmektedir. Stator ve uyarım devrelerinin dönemindeki devre denklemleri, Eşitlik 4.8, Eşitlik 4.9, Eşitlik 4.10, Eşitlik 4.11'de verildiği gibi yazılabilir. Statorun bir fazı ve uyarım devresi için bu bağıntılar, endüktanslar ve akımlar cinsinden elde edilen faz bağıntısından yazılabilmektedir.

$$e_r = R_r \cdot i_r + \frac{d\theta_r}{dt} \quad (4.8)$$

$$e_s = R_s \cdot i_s + \frac{d\theta_s}{dt} \quad (4.9)$$

$$e_t = R_t \cdot i_t + \frac{d\theta_t}{dt} \quad (4.10)$$

$$e_u = R_u \cdot i_u + \frac{d\theta_u}{dt} \quad (4.11)$$

Eşitlik 4.8, Eşitlik 4.9, Eşitlik 4.10 ve Eşitlik 4.11 bağıntılarındaki toplam akılar, öz ve karşıt akılar cinsinden Eşitlik 4.12 ve Eşitlik 4.13'teki denklemler elde edilir.

$$\theta_r = \theta_{rr} + \theta_{rs} + \theta_{rt} + \theta_r \quad (4.12)$$

$$\theta_u = \theta_{uu} + \theta_{ur} + \theta_{us} + \theta_{ut} \quad (4.13)$$

Fazların birbirlerine göre karşıt endüktansları aralarındaki faz açısına bağlıdır. Bu açı  $120^\circ$  olduğundan karşıt endüktansları negatif işaretle gösterilmiştir. Stator ve uyartım devreleri arasındaki karşıt endüktanslar ve akımlar cinsinden manyetik akılar Eşitlik 4.14 ve Eşitlik 4.14'teki gibi bulunur.

$$\theta_r = L_{rr} \cdot i_r - L_{rs} \cdot i_s - L_{rt} \cdot i_t + L_{ru} \cdot i_u \cdot \cos \theta \quad (4.14)$$

$$\theta_u = L_{uu} \cdot i_u - L_{ur} \cdot i_r - L_{ut} \cdot i_t \cdot \cos \theta + L_{us} \cdot i_s \cdot \cos(\theta - 120) + L_{ut} \cdot i_t \cdot \cos(\theta - 240) \quad (4.15)$$

Bu bağıntılar Eşitlik 4.8 ve 4.11 de yerine yazılırsa Eşitlik 4.16 ve 4.17 elde edilir.

$$e_r = R_r \cdot i_r + L_{rr} \frac{di_r}{dt} - L_{rs} \frac{di_s}{dt} - L_{rt} \frac{di_t}{dt} + \frac{d}{dt} (L_{ru} \cdot i_u \cdot \cos) \quad (4.16)$$

$$e_u = R_u \cdot i_u + L_{uu} \frac{di_u}{dt} + \frac{d}{dt} (L_{ur} \cdot i_r \cdot \cos \theta + L_{us} \cdot i_s \cdot \cos(\theta - 120) + L_{ut} \cdot i_t \cdot \cos(\theta - 240)) \quad (4.17)$$

Diğer fazlar için Eşitlik 4.14 ve Eşitlik 4.16 bağıntılarında  $\theta$  açısını 120 şer derece faz farkı almak ve ilgili faz parametrelerini yazmak yeterlidir. Matrissel olarak endüktansların  $\{L_{sr}\}$ , akımları  $\{i_{sr}\}$  olarak tanımlanan ve doğrusal kabul edilen yuvarlak kutuplu makine için moment bağıntısı Eşitlik 4.18'deki gibidir.

$$M_d = -\frac{1}{2} \{i_{sr}\}^t \cdot \frac{\partial \{L_{sr}\}}{\partial \theta} \cdot \{i_{sr}\} \quad (4.18)$$

Alternatör olarak çalışan senkron makine için momentin genel denklemini de Eşitlik 4.19'da verildiği gibidir [66].

$$M_d = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + f \frac{d\theta}{dt} - \frac{1}{2} \{i_{sr}\} \cdot \frac{\partial \{L_{sr}\}}{\partial \theta} \cdot \{i_{sr}\} \quad (4.19)$$

#### 4.3.6.2. Senkron Makinelerin Eşdeğer Devresi ve Endüklenen EMK

Alternatörün Sürekli sinüzoidal çalışma durumundaki eşdeğer devresini ve endüklenen EMK ifadesini elde edebilmek için Eşitlik 4.20 bağıntısında aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

Stator sargılarının; dirençleri birbirine eşit ve  $R$ , öz endüktansları  $L$ , birbirine göre karşıt endüktansları  $M$  ve uyarım devresine göre karşıt endüktansları  $M_1$  alırsa Eşitlik 4.20 yazılabilir.

$$e_r = R \cdot i_r + L_r \frac{di_r}{dt} - M \frac{di_s}{dt} - M \frac{di_t}{dt} + M_1 \cos \theta \frac{di_u}{dt} - M_1 i_u \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \quad (4.20)$$

Üç faz akımının ani değerleri toplamı sıfır ve uyarım akımı sabit ise endüklenen gerilim Eşitlik 4.21'deki gibi bulunur.

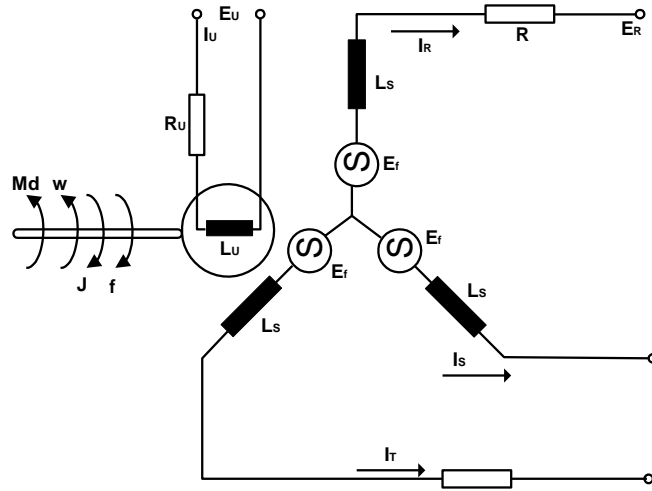
$$e_r = R \cdot i_r + (L + M) \cdot \frac{di_r}{dt} - M_1 \cdot i_u \cdot w \cdot \sin \theta \quad (4.21)$$

Senkron öz reaktans ( $L_s=L+M$ ) olarak tanımlarsa, Eşitlik 4.22 elde edilir.



$$e_r = R \cdot i_r + L_s \frac{di_r}{dt} - M_1 \cdot i_u \cdot w \cdot \sin \theta \quad (4.22)$$

Eşitlik 4.22 incelenirse eş değer devrenin; stator devresinde bir direnç ve senkron öz endüktans ile dönmeden dolayı oluşan endükleme EMK, uyarım devresinde ve öz endüktans olduğu görülecektir. Sürekli çalışma durumunda transformasyon gerilimleri bulunmayacaktır.



Şekil 4. 16. Üç fazlı senkron makinenin sürekli çalışma durumundaki devresi.

Şekil 4.16'da üç fazlı senkron makinenin sürekli çalışma durumundaki devresi verilmektedir.

Eşitlik 4.22 bağıntısında endükleme EMK'nın tepe değeri Eşitlik 4.23'teki gibi olacaktır.

$$E_{1m} = M_1 \cdot i_u \cdot w \quad (4.23)$$

Endüvi akımı sıfır olan bir alternatör için manyetik akı ve karşıt endüktans Eşitlik Eşitlik 4.24 ve Eşitlik 4.25'teki gibi yazılabilir.

$$\theta = \frac{N_u \cdot i_u}{R_m} \quad (4.24)$$

$$M_1 = \frac{N_s \cdot N_u}{R_m} \quad (4.25)$$

Bu bağlantılardan endükleme EMK'nın etkin değeri de Eşitlik 4.26'daki gibi bulunur.

$$E_f = 4.44 \cdot f \cdot \theta \cdot N_s \quad (4.26)$$

### 4.3.6.3. Alternatörün Yüklü Çalışma ve Vektör Diyagramı

Bütün elektrik enerjisi üreteçlerinde olduğu gibi alternatörler de yüklendiklerinde uç gerilimler değişir. Yük akımının faz açısına göre alternatif akımda üç çeşit yük vardır;  $\varphi = 0$  için omik yük,  $\frac{\pi}{2} < \varphi < 0$  için endüktif yük,  $\frac{\pi}{2} > \varphi > 0$  için kapasitif yüküdür.

Bir alternatörün sürekli çalışma karakteristiklerinin çoğu vektör diyagramlarından çıkarılabilir. Bu diyagramların çiziminde eşdeğer devre ve gerilim bileşenleri kullanılır. Yuvarlak kutuplu bir alternatör için bir faza ait gerilim Eşitlik 4.22 bağıntısı ile belirlenmişti. Stator faz akımlarının genlikleri eşit ve Eşitlik 4.27 ile Eşitlik 4.28 de verildiği gibidir.

$$i_r = I_A \cdot \cos(\theta - \psi) \quad (4.27)$$

$$\theta = \omega \cdot t \quad (4.28)$$

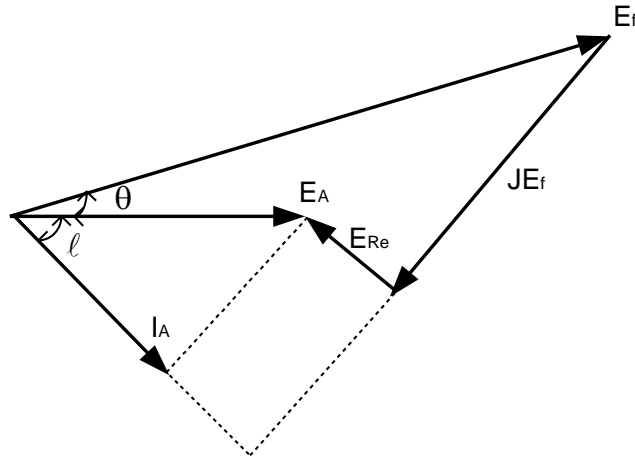
Bu bağıntılar 4.29'da yerine yazılırsa Eşitlik 4.29 elde edilir.

$$e_r = R \cdot I_A \cdot \cos(\omega t - \psi) - \omega \cdot L_s \cdot I_A \cdot \sin(\omega t - \psi) - M_1 \cdot i_u \cdot \omega \cdot \sin \omega t \quad (4.29)$$

Endükleme gerilimi başlangıç alınarak kompleks büyüklükler olarak ifade edildiğinde Eşitlik 4.30 elde edilir [66].

$$\dot{E}_A = \dot{E}_{Re} + J\dot{E}_x + \dot{E}_f \quad (4.30)$$

Eşitlik 4.30 senkron motor için geçerlidir. Omik ya da endüktif yük ile alternatör olarak çalışma durumunda endükleme gerilim uç gerilimden daha fazla olacaktır. Endüktif yüklü bir alternatörün vektör diyagramı Şekil 4.17 de çizilmiştir.



Şekil 4. 17. Endüktif yüklü alternatörün sürekli çalışma vektör diyagramı

Vektör diyagramından da görüldüğü gibi yüklü çalışan bir alternatör gerilimi, stator etkin direnci ve senkron reaktansından dolayı değişmektedir. Bu değişimin miktarı faz açısının değerine ve yönüne bağlı olmaktadır.

#### 4.3.6.3. Alternatörün Frekans Hesabı

Alternatörlerde frekans(f) değeri kutup sayısı ile devir sayısının çarpımının 60'a bölünmesiyle oluşur [65]. Burada f, frekans(Hz), d, alternatör hızı (dev/dk) np, kutup çifti sayısıdır.

$$f = \frac{np \cdot d}{60} \quad (4.31)$$

$$V_p = 2 \cdot E_a \quad (4.32)$$

Faz geriliminin( $V_p$ ) değeri  $E_a$  (fazlar arası gerilim) ile 2 nin çarpılmasıyla elde edilir. Alternatörün statorunda yıldız bağlantı kullanılmasıyla bu formül elde edilmektedir.

#### 4.4. ALTERNATÖRLERDE MEYDANA GELEN ARIZALAR

Birçok insan araçlarında şarj sistemiyle ilgili problemlerle karşılaşmaktadır. Şarj sisteminde bir arıza meydana geldiğinde ikaz lambası yanmaktadır. Batarya şarj göstergesi bataryanın ölü olduğunu göstermektedir. Tüm bunların nedeni şarj sisteminin görevini yerine getirmemesidir. Aslında şarj sistemi arızalarının çoğunlukla asıl kaynağı alternatörün bozukluğundan kaynaklanmaktadır. Alternatörde elektriksel bir arıza tespitine geçmeden önce üç temel kontrol yapılmalıdır. Bunlar sırasıyla kayış gerginliği, batarya durumu ve kablo, sigorta, konektör durumlarıdır.

Şarjsızlık probleminin en temel nedenlerinden biri gevşek kayıştır. Bu sorun serpantin kayışlarla çözülmüştür. Serpantin kayışlar birçok V yivleriyle donatılmıştır bu yüzden standart V kayışlarından daha fazla yüzey alanına sahiptir. Kayışlar zamanla kırılabilir ve aşınabilir. Ölü batarya problemine neden olan tüm şarj sistemini kontrol etmeden önce kayışı kontrol etmek gerekmektedir.

Bir aracın bataryası hemen bitiyorsa alternatörü değiştirmekte problemi çözmeyecektir. Bu bir çözüm olabilir fakat böyle durumlarda birçok parça takma çıkarma gibi işlemi yapmadan önce batarya test edilmelidir. Bir bataryanın yeni olması onun iyi bir batarya olması anlamına gelmez. Batarya test edilirken kablo bağlantılarına da çok dikkat edilmelidir. Bir alternatör test edilirken ya da değiştirilirken bataryanın tam şarjlı olması gerekir. Bir aracı ölü bir batarya ve yeni bir alternatörle sürmeye çalışmak alternatöre zarar verir. Ayrıca bir eğer batarya gerçekten ölüyse (açık devre gerilimi 5V'un altındaysa) alternatör bataryayı devrenin bir parçası olarak kabul etmez. Bu bataryanın sistemden bağlantısının kesilmesiyle aynı anlama gelmektedir. Alternatör çıkış gerilimini bataryanın iç direncine göre dengelemelidir. Eğer elektriksel sistemde görünürde bir batarya yoksa alternatör gerilimi artar ve 20V'u aşar. Alternatörden gelen 20V araçtaki taşıttaki bilgisayar gibi elektronik parçalara zarar verir. Kablolar sigortalar, konektörler ve eriyebilir

bağlantılar da arıza nedeni olabilir. Bir alternatörün arızalı olduğuna karar vermeden önce her zaman alternatördeki kablolar, konektörler, gerilim regülatörü, ve batarya kontrol edilmelidir. Bir bağlantı dışarıdan bakıldığında bağlıymış gibi görülebilir fakat bu kesin problemsiz olduğu anlamına gelmez. Bu yüzden bağlantılar ölçü aletiyle kontrol edilmelidir.

Alternatör test edilirken ilk aşama alternatörün ne kadar elektriksel yük gerektirdiğinin bilinmesidir. Bu işlem yapılırken endüktif bir ampermetre probu bataryanın pozitif kablosuna bağlanır. Farlar açılır ve ampermetrenin negatif mi yoksa pozitif mi okuduğuna bakılır. Eğer negatif bir değer okunuyorsa ampermetre doğru bağlanmış demektir, eğer pozitif bir değer okunuyorsa ampermetre ters çevrilip yeniden takılmalıdır [59].

İkaz lambası açıkken, motor çalışmazken araçtaki elektriksel yükleri oluşturan tüm farlar, ısıtıcı, fren lambaları, teyp, çakmak vb. açılır. Ampermetrede okunan en büyük değer kaydedilir. Bu değer tüm elektriksel yükler tarafından çekilen akımı ifade etmektedir. Ampermetre negatif değer gösterir çünkü akım bataryadan çekilmektedir. İlk olarak motor çalıştırıldığında alternatör dengeyi sağlamak için okunan negatif amperin eşdeğerinde pozitif akım üretmelidir. Buna ek olarak bataryanın şarjını korumak için 5A daha akım üretmelidir. Hesaplanan toplam akım değeri alternatörün hem bataryayı şarjlı tutması hem de tüm elektriksel yükleri besleyebilmesi için gereken toplam akım değeridir. Bu testler yapıldıktan sonra tüm elektriksel yükler kapatılır ve motor çalıştırılır. Motor devri 2000'de sabitlenir ve tüm elektriksel yükler tekrar açılır. Eğer şarj sistemi çalışması gerektiği gibi çalışıyorsa ampermetre pozitif değer okur, alternatörün tüm elektriksel donanım ve batarya şarjı için yeteri kadar akım üretebildiğini doğrular. Ek olarak bu test yapılırken bataryanın geriliminin iyi olup olmadığına bakılır. Motor çalışırken alternatörün içindeki diyotlar AA gerilimi DA'ya çevirirken bataryanın alternatöre doğru deşarj olmasını engeller. Eğer alternatörün içindeki 6 diyottan biri bozulursa bataryadan yaklaşık 4A çekilmesine neden olur ve birkaç saat içinde batarya biter. Şekil 4.18'de alternatörlerin testi için oluşturulan bir test cihazı görülmektedir. Bu cihazlar Northwest Regulator firması tarafından üretilmektedir [59].



Şekil 4. 18. Alternatör test cihazı.

Alternatörde oluşabilecek arızalar aşağıdaki gibidir.

- Akü arızası
- Kısa devre arızası
- Gergin kayış arızası
- Gevşek kayış arızası
- Doğrultma diyotu arızası
- Gevşek fırça arızası
- Tridiyot arızası
- Regülatör arızası
- Açık devre arızası
- Stator sargısı arızası

Şarj sisteminde kısa devre arızası meydana geldiğinde aküden çekilen akım artacaktır ve bu da şarj sisteminde ısınmaya, bazı elemanların yanmasına neden olacaktır.

Motor ile alternatör arasındaki kayışın aşırı gergin olması durumunda alternatör devri

normalden hızlı bir şekilde artacaktır. Motor ile alternatör arasındaki kayışın gevşek olması durumunda ise alternatör motor tarafından yeterli miktarda döndürülemeyeceğinden devri düşük olacaktır. Buna bağlı olarak ta alternatör de üretiminde düşüş gerçekleşecektir.

Alternatörde bulunan doğrultma diyotlarının arızalanması durumunda stator tarafından üretilen alternatif akım doğru akıma dönüştürülemez ve alternatör tarafından gerilim üretilemez. Redresördeki 6 diyottan bir veya daha fazlasının bozulmasına daha sık rastlanır. Eğer bir diyot yanar ve devrelerden birini açarsa, bir bobin bozulmuş gibi sorun çıkarır. Alternatör azalmış bir çıkış verir. Ancak, diyotlardan birisi kısa devre yapar ve akımı ters yönde geçirirse, başka problemler meydana gelir. Kısa devre olmuş bir diyot AA akımın otomobilin elektrik sisteminden geçmesine izin verir, bu da bilgisayarlı algılayıcı ve işlemcilerle ilgili problemlere neden olur. Bu durum, aracın beklenmedik şekilde davranmasına ve birçok probleme neden olur.

Alternatörde bulunan fırçaların arızalanması durumunda rotora akım geçirilemeyecektir, dolayısıyla alternatör gerilimi ve üretilen gerilim düşecektir.

Tridiyot uçlarının kopması durumunda alternatör tarafından üretilen gerilim regülâtöre ulaşamayacak ve akü şarj olmayacaktır. Tridiyotun kısa devre olması durumunda kısa devreden dolayı alternatörün geriliminde bir düşüş olacaktır ayrıca üretilen gerilim regülâtöre ulaşamayacağından akü şarj olmayacaktır.

Regülâtörün arızalanması durumunda alternatör tarafından üretilen gerilim belirli bir seviyede tutulamayacaktır. Devir arttırılsa bile üretilen gerilimde düşüş olacaktır. Gerilim regülâtörü, aracın elektrik sistemini korumak amacıyla alternatörün çıkış gerilimini 14,5 volt ve altında sınırlamak için tasarlanmıştır. Eğer regülâtör bozulursa ve kontrolsüz gerilim bırakılmasına izin verirse, lambanın ve diğer elektrikli parçaların çalışmadığını görülür. Bu tehlikeli ve masraflı bir problemdir. Birçok bozukluk gerilim ve akım düşüşüne neden olur.

Rotor sargılarında kısa devre oluşması durumunda oluşturulacak anyetik alan

olmayacağından sargılar alternatörün gerilimi düşecektir.

Stator sargılarından birinin kopması durumunda alternatör tarafından üretilen gerilimde biraz düşüş meydana gelecektir. Devire bağlı olarak gerilimin artma oranında azalma oluşacaktır. Stator sargılarından ikisinin kopması durumunda alternatör tarafından üretilen gerilimde büyük bir düşüş olacaktır. Alternatör devri arttırılsa bile üretilen gerilimde yükselme çok az olacaktır [62].

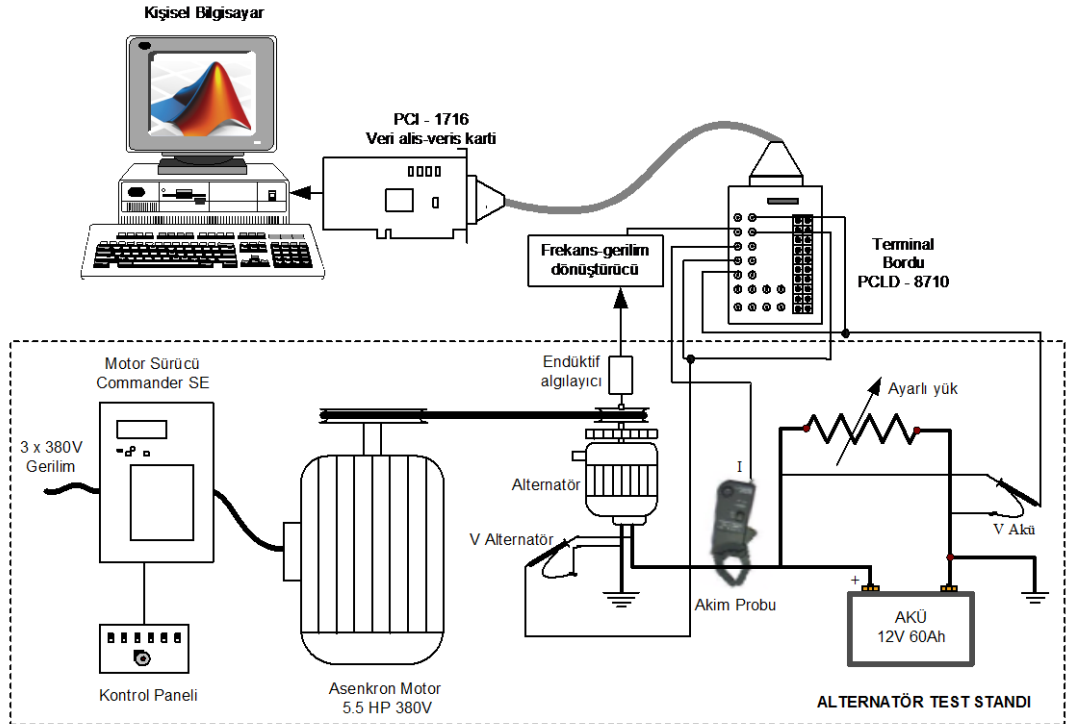


## BÖLÜM 5

### ALTERNATÖR ARIZALARININ ÖLÇÜMÜ

#### 5.1. ALTERNATÖR ARIZALARININ ÖLÇÜMÜ VE ARIZA TEŞHİSİ İÇİN TEST DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI

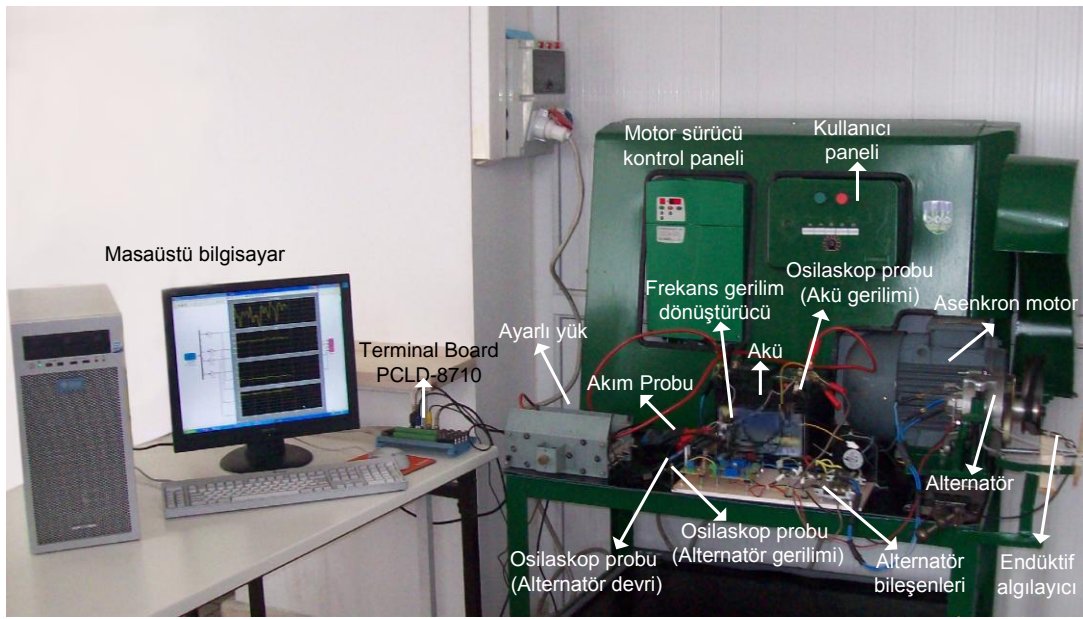
Alternatörlerin testi için bir alternatör test standı oluşturulmuştur. Bu test düzeneğinde 5,5 HP 380 V Asenkron Motor, Commander SE Motor Sürücü ve Kontrol paneli, akü, ayarlı yük ve pençe tipi alternatör yer almaktadır. Test düzeneğine ait blok diyagram Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5. 1. Deney düzeneğinin blok diyagramı.

Akünün akımı, gerilimi, alternatörün gerilimi, alternatörün devri ölçülmekte ve sistemde giriş parametreleri olarak kullanılmaktadır. Akım ölçmede akım probu,

gerilim ölçmede osilaskop probu, devir bilgisi ölçmede temassız endüktif algılayıcı ve frekans gerilim dönüştürücü kullanılmaktadır. Giriş parametreleri Advantech PCI-1716 veri alış veriş kartı ile bilgisayara aktarılmakta ve verilere uygun yapay zeka teknikleri ile denenmektedir. Alternatörlerin test ve kondisyonunun izlenmesinde mekanik enerji elde etmek için deneysel çalışmalarda asenkron motor kullanılmaktadır. Bu motor ve sürücüsü ile alternatörün istenilen devirde çalışması sağlanabilmektedir. Şekil 5.2’de alternatör test standındaki bileşenler gösterilmektedir.

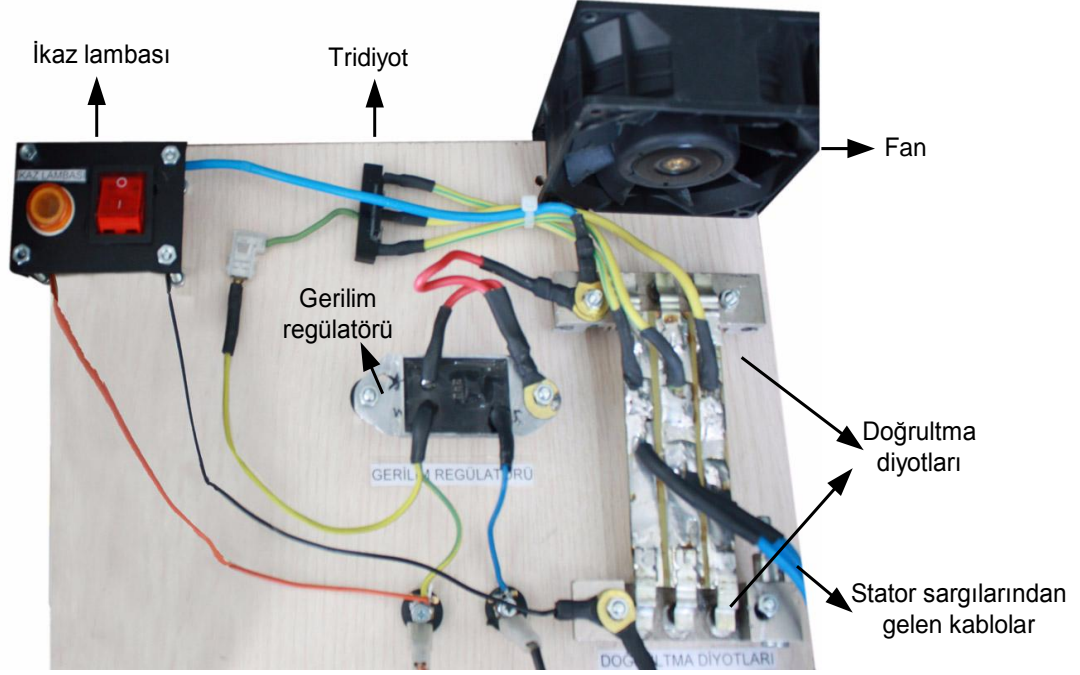


Şekil 5. 2. Alternatör test standı.

Alternatör testlerinde arızaları meydana getirebilmek ve ölçüm yapabilmek için alternatör bileşenleri dışarıya çıkartılmaktadır. Burada ikaz lambası, tridiyot, gerilim regülatörü, doğrultma diyotları ve fan bulunmaktadır. Şekil 5.3’te alternatör bileşenlerine ait resim verilmektedir.

Matlab yazılımı Advantech PCI-1716 veri alış veriş kartını desteklemektedir. Gerçek zamanlı uygulamalarda başarıyla kullanılmaktadır [67]. Matlab yazılımında yapay zeka teknikleri ile sistemin modellenmesi yapılmakta ve veri alış veriş kartı ile bilgisayara aktarılan girdi parametrelerine göre arıza teşhisi yapılmakta, eğitim seti verileri elde edilmektedir. Sistemde; bulanık mantık, olasılık sinir ağları, ileri

beslemeli ağlar denenerek ve en iyi performansı gösteren ağ ile sistem gerçek zamanlı olarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5. 3. Alternatör bileşenleri.

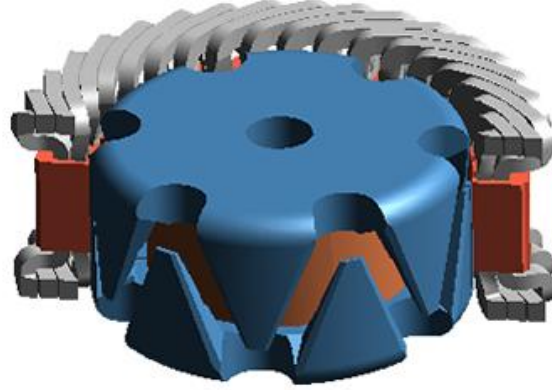
## 5.2. TEST DÜZENEĞİ BİLEŞENLERİ

### 5.2.1. Alternatör

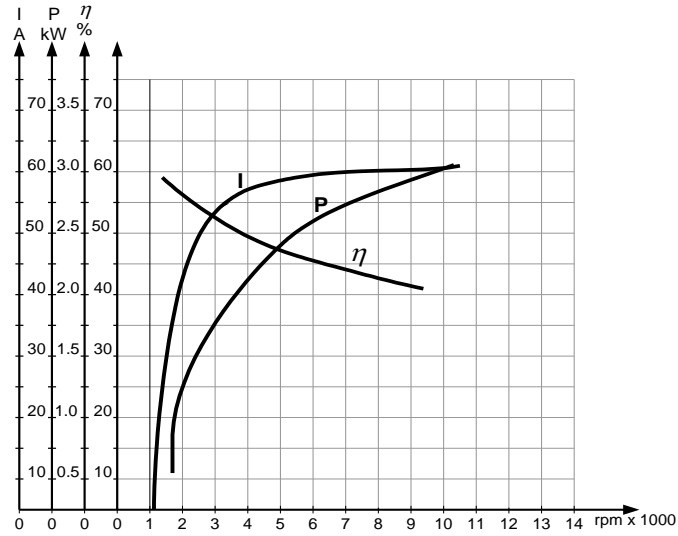
Deneylede pençe tipi alternatör kullanılmaktadır. Bu alternatör 14V çalışma gerilimine sahip dâhili elektronik gerilim regülatörü ve 45 A çalışma akımına sahip 9 diyotlu redresör içermektedir. Harici soğutmalıdır. 14000 dev/dk maksimum sürekli çalışma devri ve 15000 dev/dk geçici çalışma devrine sahiptir. Şarj başlangıcı  $900 \pm 50$  dev/dk'dır. Alternatörün dönüş yönü, pervane kanatçık eğimine göre saat yönünde veya yönünün tersine dönmesi, gibi özellikleri barındırmaktadır.

Şekil 5.4'te bir pençe kutuplu alternatör örneği verilmektedir. Alternatör üreticileri alternatörleri için karakteristik eğrileri vermektedir. Bunlar farklı şartlarda alternatörlerin özelliklerini gösterirler. Eğriler (gerilim dengede iken) alternatörün dev/dk ve giriş gücü (dev/dk) ile çıkış akımı şeklinde çizilmektedir. Şekil 5.5'te deneylede kullanılan pençe kutuplu alternatöre ait performans grafiği verilmektedir.

Gerilim dengede iken alternatörün devir (dev/dk), giriş gücü (kW), çıkış akımı (A) eğrileri şekilde gösterildiği gibidir [64].



Şekil 5. 4. Pençe tipi alternatör.



Şekil 5. 5. Pençe tipi alternatör performans grafiği.

### 5.2.2. Asenkron Motor

Testlerde modeli Gamak AGM 132 S 2a olan bir asenkron motor kullanılmaktadır. Bu motor 0,01 kW-400 kW anma gücüne, 380 V çalışma gerilimine sahiptir. Dıştan soğutmalıdır. 3 fazlıdır. Dakikada 3000 devire kadar çıkabilmektedir. %70 verimle çalışmaktadır. Şekil 5.6'da çalışmada kullanılan asenkron motora ait resim verilmektedir [68].



Şekil 5. 6. Asenkron Motor.

### 5.2.3. Motor Sürücü

Bu çalışmada modeli Commander SE olan bir motor sürücü kullanılmaktadır. Commander SE açık döngülü vektör güç merkezidir. Az yer kaplamaktadır, kolay kullanabilmekte ve kolay yüklenebilmektedir. Dayanıklı bir tasarıma sahiptir. Motor sürücü Modbus RTU protokolü ile RS485 seri iletişim, PC/dizüstü bilgisayar için Windows tabanlı yapılandırma aracı, kontrol için gerekli menüler ve esnekliğe sahiptir. 380-400V AA gerilim ile beslenmektedir. 3 fazlıdır. 10 bit analog giriş çözünürlüğü, ayarlanabilir analog ve dijital giriş çıkış portları, dâhili, bağımsız oransal integral türev (proportional integral derivative - PID) kontrol özelliklerine sahiptir. Şekil 5.7'de testlerde kullanılan motor sürücü verilmektedir [69].



Şekil 5. 7. Motor sürücü.

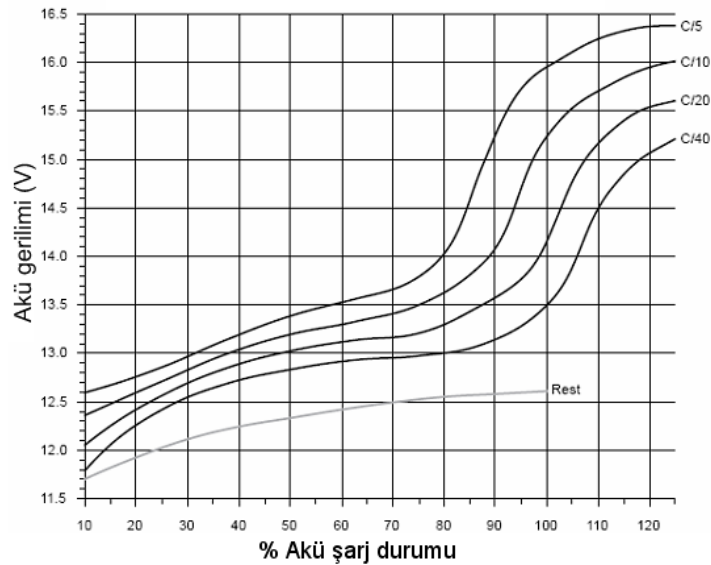
### 5.2.4. Akü

Enerjiyi depolamak için farklı materyaller kullanılabilir ve aküler genellikle o akünün yapısında aktif olarak kullanılan materyalle tanımlanırlar. (Nikel/kadmium,

nikel/demir veya lityum/demir) Diğer akülerse elektrotlarda bulunan diğer tip materyallerle ve kullanılan elektrolit tipine göre adlandırılırlar. En yaygın olanları kurşun asit aküleridir. Kullanılan aktif materyal, hücrelerin voltajını belirler ve hücrelerin sayısı da akünün toplam voltajını belirler. Bir kurşun asit akünün 2 V. civarında nominal voltajı vardır. Bir çok araba aküsü bu tip 6 hücreden oluşmaktadır. Bu yüzden 12 V. lik bir voltaja sahiptirler. Çalışmada 12V 60Ah 420A özelliklerinde kurşun asit bir akü kullanılmaktadır. Şekil 5.8'de aküye ait resim ve Şekil 5.9'da aküye ait performans eğrileri verilmektedir.



Şekil 5. 8. 12V 60Ah 420A akü.

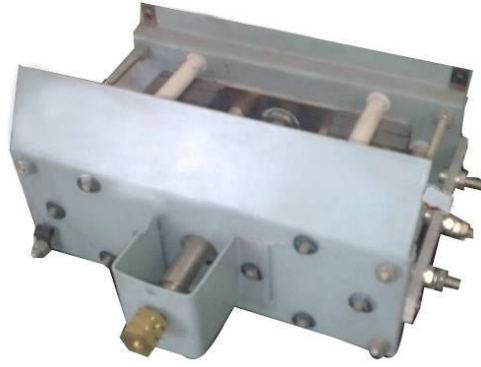


Şekil 5. 9. 12V Kurşun asit akü performans eğrileri.

### 5.2.5. Ayarlı Direnç

Deney düzeneğinde akım çekmek için Şekil 5.10'daki ayarlı karbon direnç kullanılmaktadır. Direncin değeri eşitlik 5.1'de verildiği gibi kesit alanıyla ters orantılıdır. Kesit artırıldığında direnç düşmekte, azaltıldığında artmaktadır. Burada R direnç ( $\Omega$ ), L iletkenin uzunluğu (m), S dik kesit alanı ( $m^2$ )  $\rho$  ise öz direncidir.

$$R = \frac{L \cdot \rho}{S} \quad (5.1)$$



Şekil 5. 10. Ayarlı direnç.

### 5.2.6. Veri Alış Veriş Kartı

Sistemde ölçülen parametrelerin bilgisayar ortamına aktarılması için PCI 1716 veri alış veriş kartı kullanılmaktadır.



a) PCI 1716 veri alış veriş kartı.

b) Advantech PCLD-8710 terminal bordu.

Şekil 5. 11 Veri alış veriş kartı ve terminal bordu.

PCI 1716 çok işlevli yüksek çözünürlüklü bir veri alış veriş kartıdır. 250 kS/s örnekleme oranı, 16 bit analog/sayısal dönüştürücü ve A/D dönüştürücü için onboard FIFO (first in first out) 1Kb belleğe sahiptir. Kart 16'ya kadar tek, 8 diferansiyel A/D giriş kanalı ya da bu ikisinin birleşimi şeklinde kullanılabilir. İki 16 bit D/A çıkış kanalı, 16 sayısal giriş çıkış kanalı ve bir 10 Mhz 16 bit sayıcı kanalına sahiptir [70]. Algılayıcılardan gelen bilgilerin karta aktarılması için Advantech PCLD-8710 terminal bordu kullanılmaktadır. Bu boardlar Advantech'in PCL ve PCI (peripheral component interconnect) serisi gibi ürünlerin analog ve sayısal bağlantı noktalarına bağlanabilirler. Şekil 5.11 a'da PCI 1716 veri alış veriş kartı ve Şekil 5.11 b'de PCLD-8710 terminal bordu verilmektedir [71].

### 5.2.7. Endüktif Algılayıcı

Alternatörün devir bilgisini elde etmek için endüktif temassız algılayıcı kullanılmaktadır. Alternatörün kayış kasnağına yerleştirilen metal parça sayesinde devir bilgisi okunmaktadır. Endüktif temassız algılayıcıdan gelen sinyaller Seneca Z111 frekans gerilim dönüştürücüsüne gönderilmekte ve elde edilen gerilim çıkışına göre devir bilgisi hesaplanmaktadır. Şekil 5.12'de endüktif temassız algılayıcı verilmektedir.



Şekil 5. 12. Endüktif temassız algılayıcı.

### 5.2.8. Frekans Gerilim Dönüştürücü

Çalışmada endüktif temassız algılayıcıdan gelen frekans bilgisini gerilime dönüştürmek için Seneca Z111 frekans gerilim dönüştürücü kullanılmaktadır. Dönüştürücünün çıkışında 0-20/0-24mA akım, 0-5/1-5/0-10/2-10V gerilim



aralıklarında, %0,1 çözünürlüğünde, %0,3 doğruluk oranında ve 1Hz-10KHz frekans çevrim aralığında ölçüm yapılabilmektedir. Şekil 5.13'te deneyde kullanılan Seneca Z111 frekans dönüştürücüsü gösterilmektedir [72].



Şekil 5. 13. Seneca Z111 frekans dönüştürücü.

### 5.2.9. Akım Probu

Sistemde akım ölçümünde CIE CA60 akım probu kullanılmaktadır. Bu algılayıcı hall-effect prensibine göre çalışmaktadır. 10: 1 ve 100: 1 olmak üzere iki çeşit çevirme oranına sahiptir. Çıkışı 1mV/10mA, 1mV/100mA olarak seçilebilmektedir. 0-60A arası ölçüm yapabilmektedir. Maksimum çalışma gerilimi 240V AA ve 300 V DA'dir. Şekil 5.14'te deneylerde kullanılan akım probu gösterilmektedir [73].

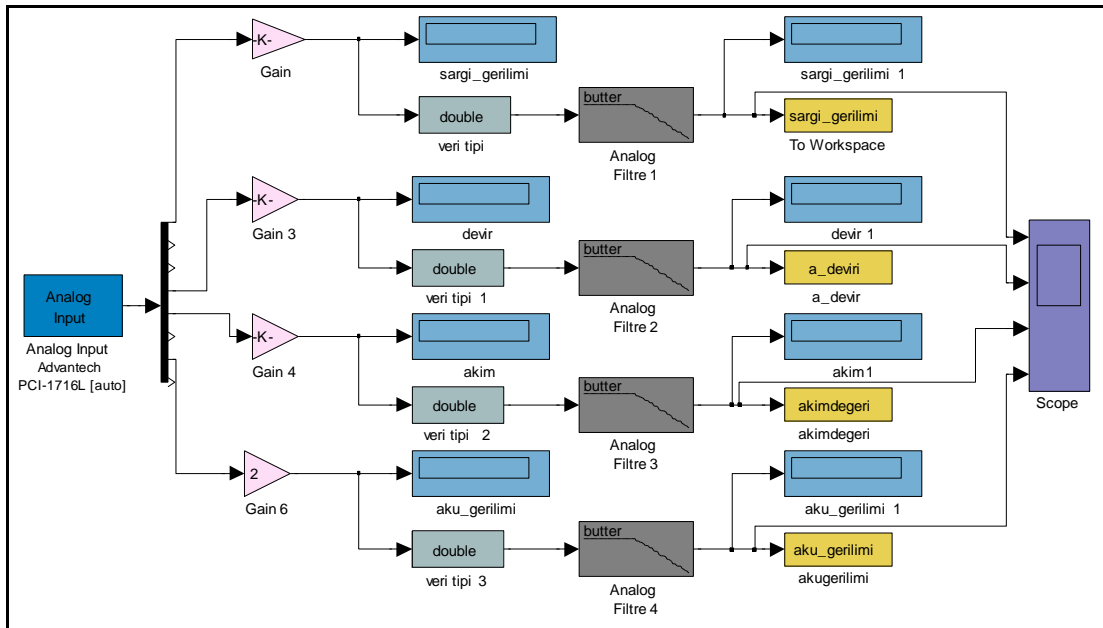


Şekil 5. 14. Akım probu.

## 5.3. ARIZALI ALTERNATÖRLERİN ÖLÇÜMÜ

Bu çalışmada alternatör gerilimi, akü akımı, alternatör devri, akü gerilimi verileri ölçülerek terminal board ile Advantech PCI 1716 karta aktarılmakta ve Matlab'de

işlenmektedir. Sistemde akım ölçmede akım probu, gerilim ölçmede osilaskop probu, devir ölçmede endüktif temassız algılayıcı ve frekans gerilim dönüştürücü kullanılmaktadır. Terminal boarda direk bağlanan osilaskop problemleri 0-10 V arasında ölçüm yapabilmektedir. Daha yüksek gerilimleri algılayabilmek için gerilim bölücü veya zayıflatıcı kullanılmaktadır. Sistemde alternatör gerilimini karta aktarmak için zayıflatıcı, akü gerilimini aktarmak için ise gerilim bölücü kullanılmaktadır. Ölçülen gerilim zayıflatıcı ile 20 kat, gerilim bölücü ile 2 kat azaltılmaktadır. Advantech PCI 1716 veri alışveriş kartı ile Matlab'e aktarılan akü gerilimi değeri 2 ile alternatör gerilimi değeri 20 ile çarpılarak gerçek değerler elde edilmektedir. Sistemde kullanılan akım probu 1A için 10mV gerilim üretmektedir. Bu değer oluşturulan modelde 100 ile çarpılarak gerçek akım değeri elde edilmektedir. Frekans gerilim dönüştürücünün çıkışından ölçülen gerilime göre devir başına kaç V gerilim üretildiği hesaplanmaktadır. Ölçümün doğruluğunu test etmek için takometre kullanılmaktadır. Bu değer hesaplandıktan sonra Matlab'de formülize edilerek ile devir bilgisinin gerçek değeri elde edilmektedir.



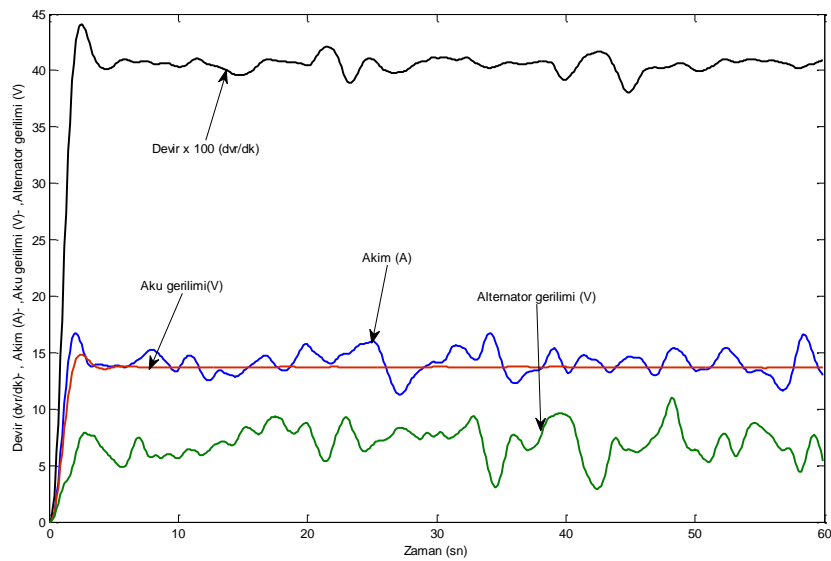
Şekil 5. 15. Verilerin toplanması.

Şekil 5.15'te verilerin toplanması için oluşturulan Matlab modeli görülmektedir. Alternatörde çeşitli arızalar oluşturulmaktadır. Arıza anındaki parametre değerleri bir dakika boyunca 0,1 sn örnekleme hızıyla kaydedilmektedir. Bu şekilde her arıza için

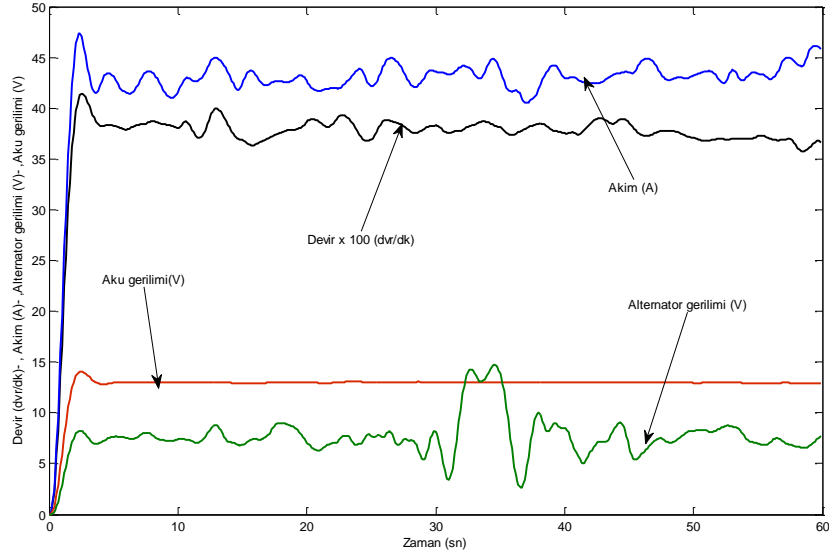
bir veri seti elde edilmektedir. Ölçülen verilerin ani sıçrama değerlerinde arıza teşhisi yanlış olabilmektedir. Verilerde meydana gelen parazitleri önlemek için alçak geçiren filtre blokları kullanılmaktadır. Ölçüm süresi boyunca parametrelere ait eğriler scope bloğu ile grafiksel olarak gözlemlenebilmektedir. Ölçümler bittikten sonra kaydedilen verilerin grafikleri tekrar çizdirilip gözlemlenebilmektedir.

Alternatör arızalarını teşhis etmek için çeşitli arızalar meydana getirilmekte ve bu arızalar oluşturulduğunda akım, gerilim, devir bilgilerine ait grafikler çizdirilmektedir. Eğriler alternatörün normal çalışma eğrileriyle ve üretici firmanın performans grafiğiyle karşılaştırılmakta ve yorumlanmaktadır. Alternatörün yaklaşık 4000 devirde iken normal çalışma eğrileri Şekil 5.16'daki gibidir. Alternatör normal çalışırken ortalama akım 13-16 A arasında, akü gerilimi 13-14V arasında, alternatör gerilimi 7-9 V arasında değişmektedir.

Alternatörde kısa devre arızası meydana geldiğinde aküden çekilen akım artmakta buna bağlı olarak akü gerilimi de düşmektedir. Kısa devre arızasında devir, akü gerilimi, alternatör gerilimi ve akü akımı eğrileri Şekil 5.17'deki gibidir. Alternatör yaklaşık 4000 devirde çalışırken aşırı akım arızasında aküden çekilen ortalama akım 16A değerinin üstündedir, akü gerilimi 12V-13V arasında, alternatör gerilimi 7,5V civarındadır.

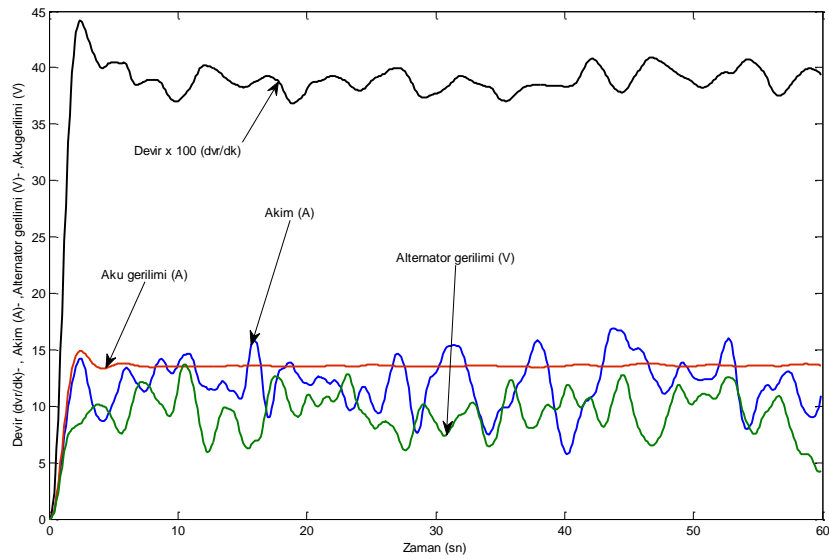


Şekil 5. 16. Alternatörün normal çalışma eğrileri.

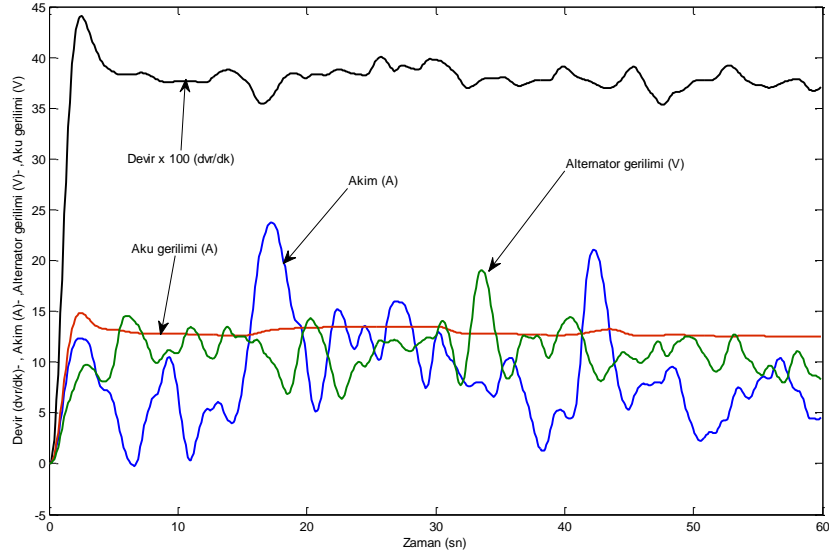


Şekil 5. 17. Kısa devre arızası.

Alternatördeki doğrultma diyotlarında arıza oluştuğunda doğrultma diyotları görevini yerine getiremez, Alternatörde tek diyot arızalandığında alternatörün ürettiği gerilim miktarında çok fazla kayıp olmaz fakat iki veya daha fazla diyot arızalandığında alternatörün ürettiği gerilim değeri düşer ve akü şarj edilemez. Alternatördeki doğrultma diyotlarından biri arızalandığında alternatörün devir, akü gerilimi, alternatör gerilimi ve akü akımı eğrileri Şekil 5.18, iki diyot arızalandığında Şekil 5.19'deki gibi olmaktadır.

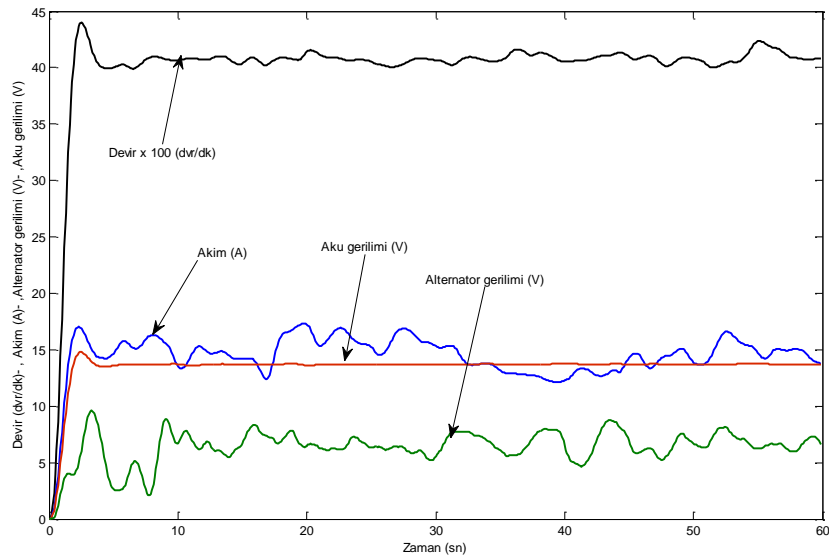


Şekil 5. 18. Tek doğrultma diyotu arızası.



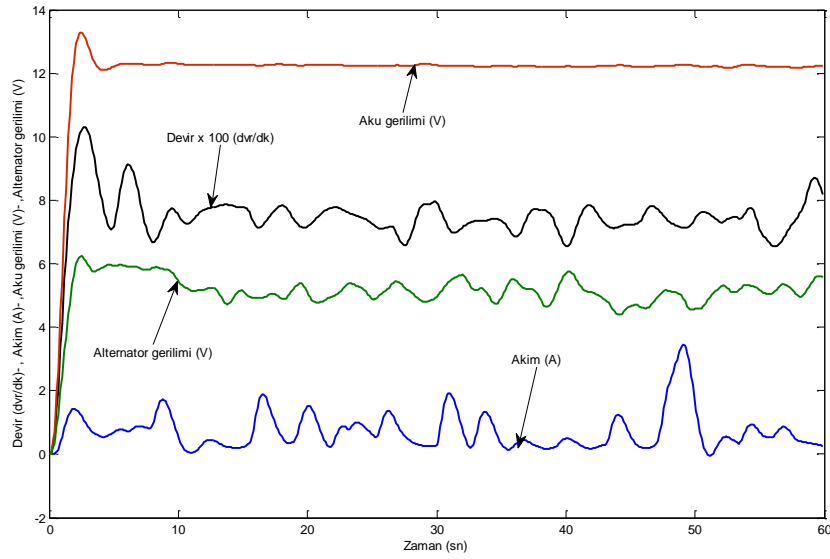
Şekil 5. 19. Çift doğrultma diyotu arızası.

Alternatör kayışı normalden daha fazla gergin olduğunda alternatör bağlı bulunduğu motor hareketlerinden daha fazla etkilenmektedir. Kayışın çok gergin olması alternatör ve motorun kasmağında mekanik olarak bozulmaya aynı zamanda kayışın aşınmasına neden olmaktadır. Gergin kayış arızasında motorun devri diğer testlerdeki devriyle aynı olmasına rağmen alternatörün devri normale göre daha fazla olmaktadır. Buna bağlı olarak alternatörün ürettiği gerilim de artmaktadır. Şekil 5.20’de gergin kayış arızasına ait eğriler verilmektedir.

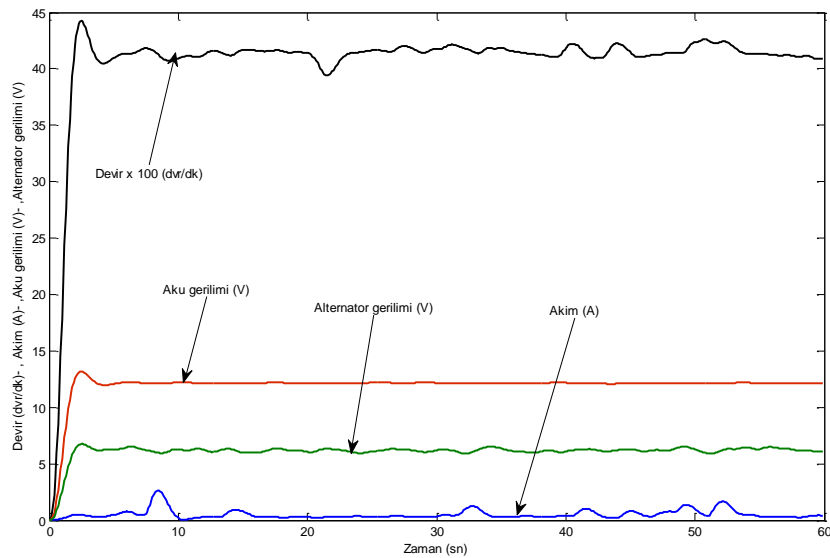


Şekil 5. 20. Gergin kayış arızası.

Alternatör kayışı gevşek iken motor dönse bile alternatör istenilen devire ulaşamadığından akü şarj edilmemekte ve ikaz lambası yanmaktadır. Gevşek kayış arızası olduğunda alternatörün devir, akü gerilimi, alternatör gerilimi ve akü akımı eğrileri Şekil 5.21'deki gibidir. Gevşek kayış arızasında alternatör devri, alternatör gerilimi ve akü akımı normal değerlerin altına düşmektedir. Alternatörün regülatörü arızalandığında aküye akım gitmemektedir. İkaz lambası yanmakta ve akü şarj olamamaktadır. Regülatör arızasına ait eğriler Şekil 5.22'deki gibidir.

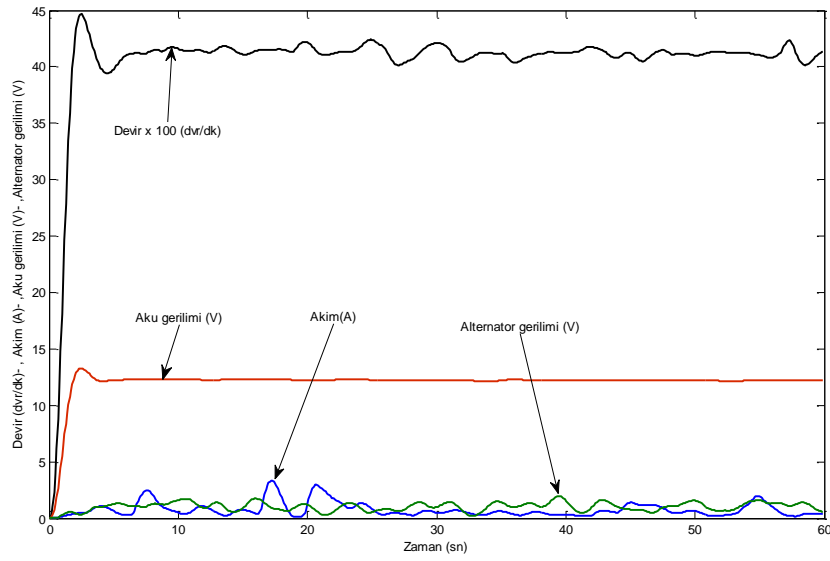


Şekil 5. 21. Gevşek kayış arızası.

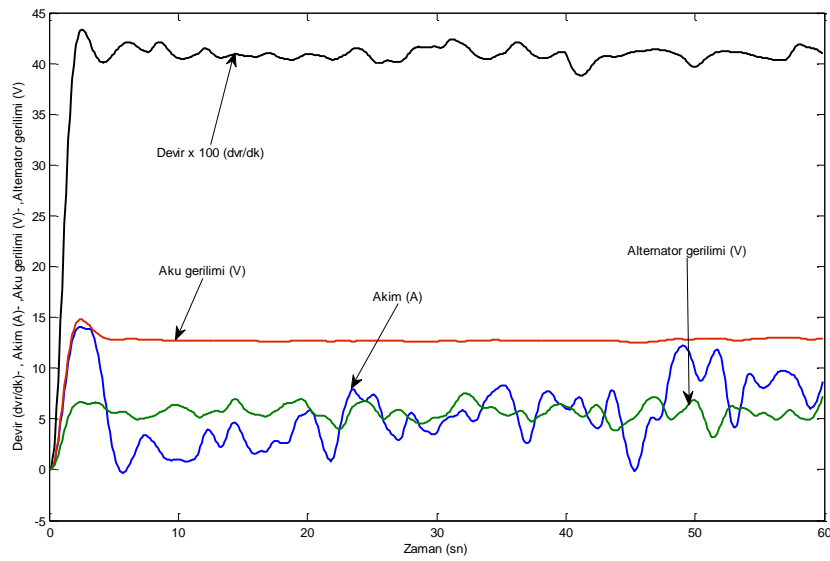


Şekil 5. 22. Regülatör arızası.

Alternatörün stator sargılarında açık devre olduğunda doğrultma diyotlarına akım gitmemektedir. Akü şarj edilememekte ve ikaz lambası yanmaktadır. Stator sargılarında açık devre arızası meydana geldiğinde alternatör devri, alternatör gerilimi ve akü akımı eğrileri Şekil 5.23'deki gibidir. Eğriler incelendiğinde akım ve alternatör gerilimindeki düşüş net bir şekilde görülmektedir. Gevşek fırça arızasında alternatör geriliminde akü geriliminde ve akımda düşüş meydana gelmektedir. Gevşek fırça arızasına ait eğriler Şekil 5.24'teki gibidir.

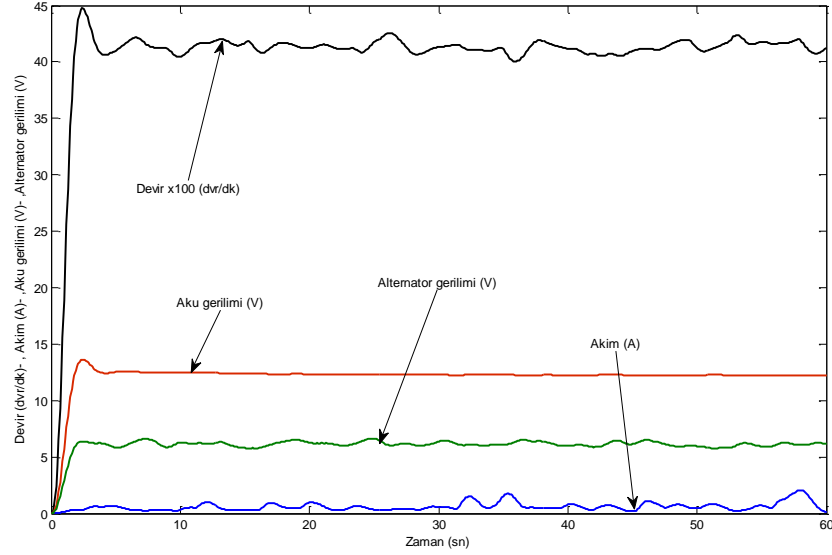


Şekil 5. 23. Açık devre arızası.



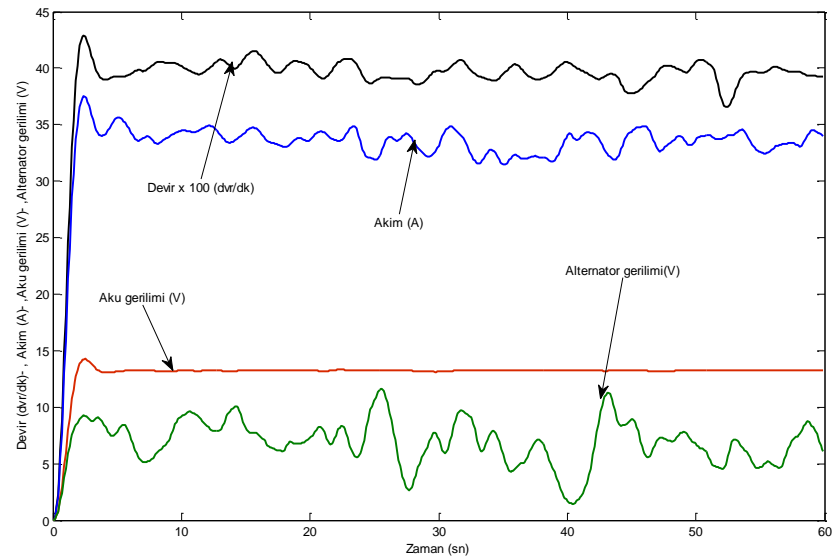
Şekil 5. 24. Gevşek fırça arızası.

Alternatörlerde tridiyot arızası olduğunda akım, akü gerilimi, alternatör gerilimi ve alternatör devir sayısı ölçümleri Şekil 5.25'teki gibidir. Tridiyot arızalandığında regülatöre gerilim iletilemeyeceğinden akü şarj edilememektedir. İkaz lambası yanmaktadır.



Şekil 5. 25. Tridiyot arızası.

Sistemde akü arızası olduğunda alternatör devri, alternatör gerilimi ve akü akımı eğrileri Şekil 5.26'daki gibi olmaktadır. Akünün şarjı az olduğunda akü fazla akım çekmektedir.



Şekil 5. 26. Akü arızası.



## BÖLÜM 6

### YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ KULLANARAK ARIZA TEŞHİSİ

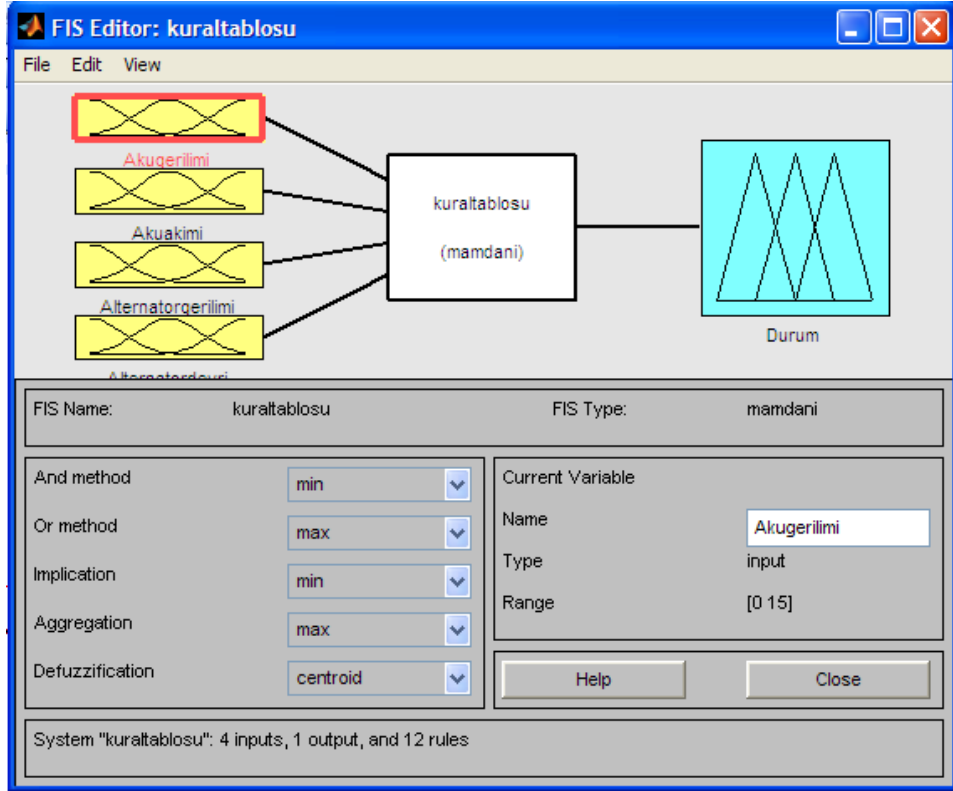
Alternatör arızaları için tüm veri setleri elde edildikten sonra sistem bulanık mantık, ileri beslemeli sinir ağı, ve olasılık sinir ağı ile test edilmektedir. İleri beslemeli sinir ağı ve olasılık sinir ağı için elde edilen veri seti normalize edilmektedir. Normalize işlemi ölçülen parametre değerinin en yüksek ölçülen parametre değerine bölünmesiyle yapılmaktadır. Sistemde denenen yapay zeka teknikleri ilk aşamada gerçek zamanlı olmadan çalıştırılmakta ve en iyi sonucu veren teknik gerçek zamanlı olarak kullanılmaktadır.

#### 6.1. BULANIK MANTIK KULLANARAK ALTERNATÖRLERDE ARIZA TEŞHİSİ

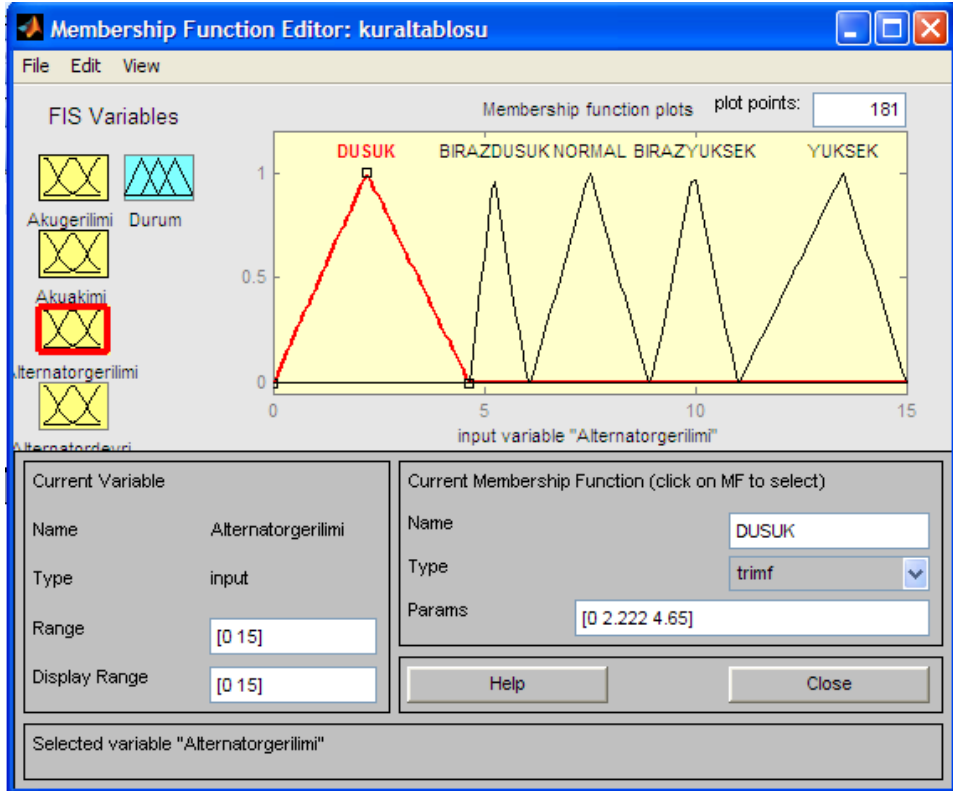
Matlab de bulanık mantık uygulamalarını gerçekleştirebilmek için oluşturulmuş bulanık mantık araç kutusu bulunmaktadır. Komut yazarak, grafiksel arayüzü kullanarak, simulink bloklarını kullanarak bulanık mantık uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir.

Matlab'de komut satırına fuzzy yazıldığında fis editör ekranı açılmaktadır. Burada bulanık mantık modellenmektedir. Bulanık mantık modeli tasarlanırken Şekil 6.1'deki 4 girişli bir çıkışlı bir sistem oluşturulmaktadır. Her arıza durumu için toplanan veriler incelenerek parametrelerin değer aralıkları belirlenmektedir [75].

Şekil 6.2'de alternatör gerilimine ait giriş değişkeninin üyelik fonksiyonları görülmektedir. Aynı şekilde akü gerilimi, akım ve devir giriş değişkenlerinin de üyelik fonksiyonları belirlenmektedir.



Şekil 6. 1. Bulanık mantık modeli.



Şekil 6. 2. Giriş değişkenleri.

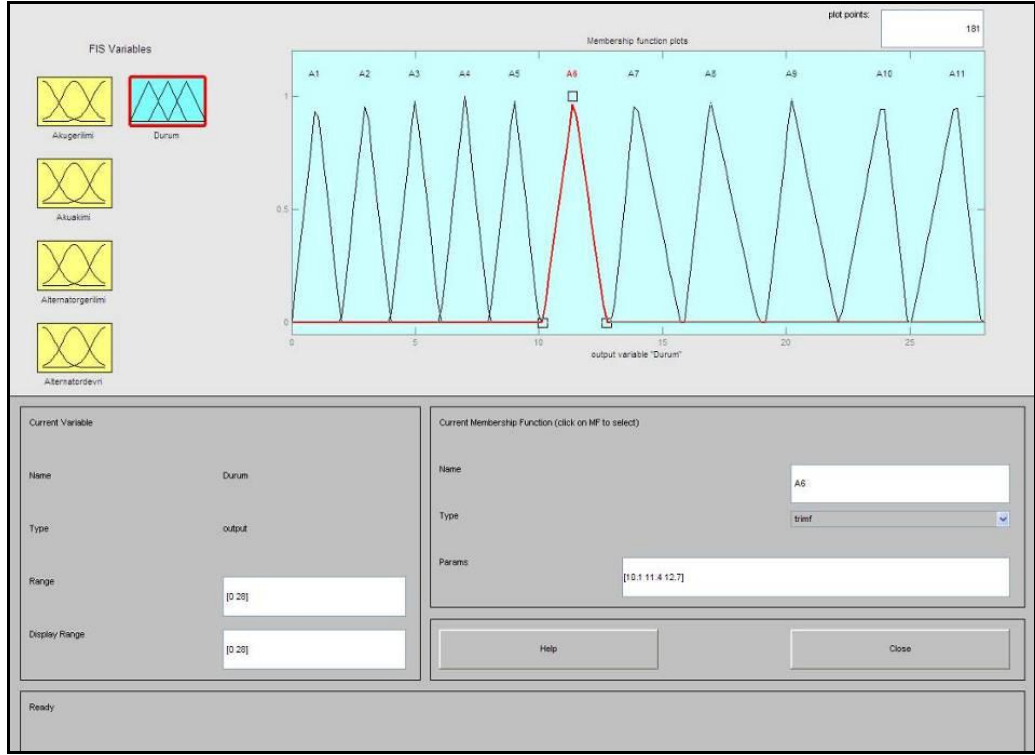
Sistemde 11 adet arıza durumu tespit edilmektedir. Her bir durum için bir üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Çıkış fonksiyonuna ait üyelik fonksiyonları Şekil 6.3'e verildiği gibidir. Burada A1'den A11'e kadar numaralandırılan her bir üyelik fonksiyonu bir çıkış durumunu temsil etmektedir. Numaralandırılan arıza çeşitleri Çizelge 6.1'de verildiği gibidir.

Şekil 6.4'te sistemin kural tabanı ve Şekil 6.5'te kural görüntüleyici ekranı görülmektedir. Sistemin kural tabanı, arızalı alternatörlerin ölçümü ile elde edilen verilerin ortalama değerlerine göre oluşturulmaktadır. Kural görüntüleyici ile bulanık kümelerin kesişimleri gözlemlenebilmektedir.

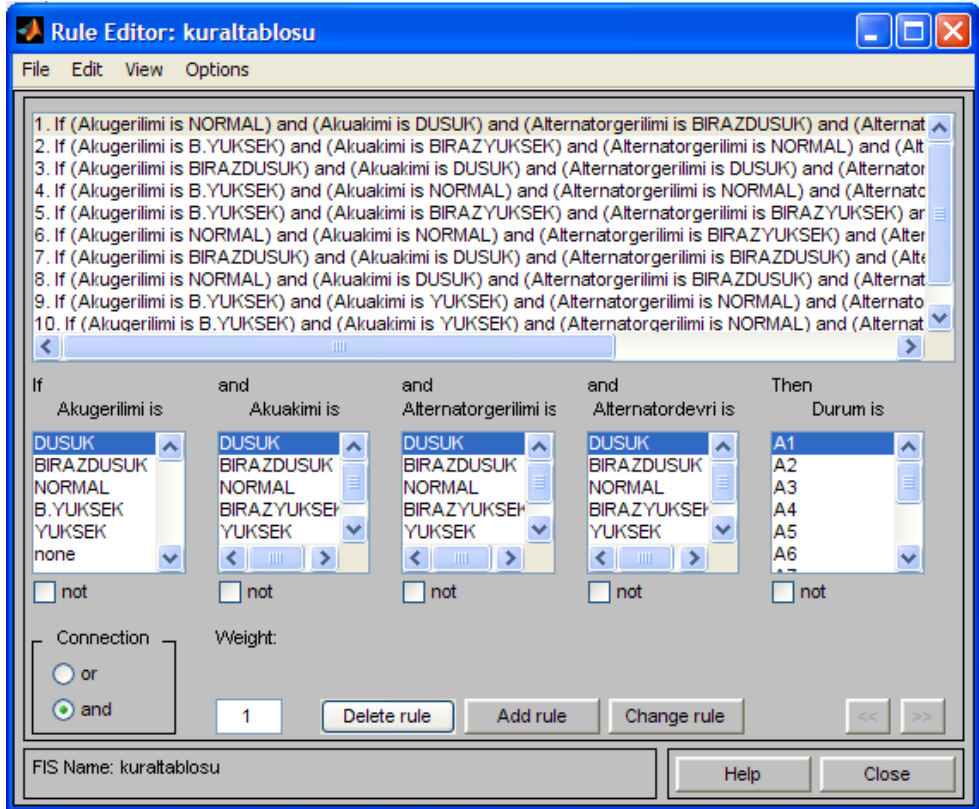
Çizelge 6.1. Teşhis edilen arıza tablosu.

<b>Sr.</b>	<b>Arıza Çeşidi</b>
<b>1</b>	Akü arızası
<b>2</b>	Kısa devre arızası
<b>3</b>	Gergin kayış arızası
<b>4</b>	Gevşek kayış arızası
<b>5</b>	Doğrultma diyotu arızası
<b>6</b>	Gevşek fırça arızası
<b>7</b>	Tridiyot arızası
<b>8</b>	Regülatör arızası
<b>9</b>	Açık devre arızası
<b>10</b>	Normal durum
<b>11</b>	Stator sargısı arızası

Çalışma ortamına aktarılan \*.fis uzantılı bulanık mantık dosyası yeni oluşturulan bir model dosyasında Simulink bulanık mantık araç kutusundaki bulanık mantık denetleyici bloğu içinden çağrılmaktadır.

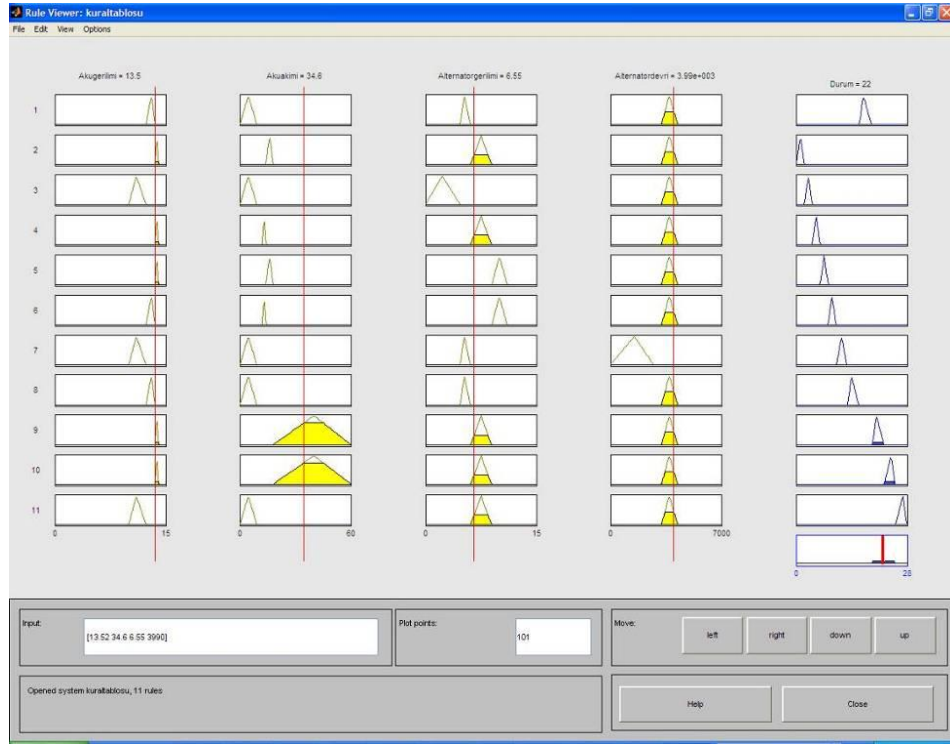


Şekil 6. 3. Çıkış değişkeni.

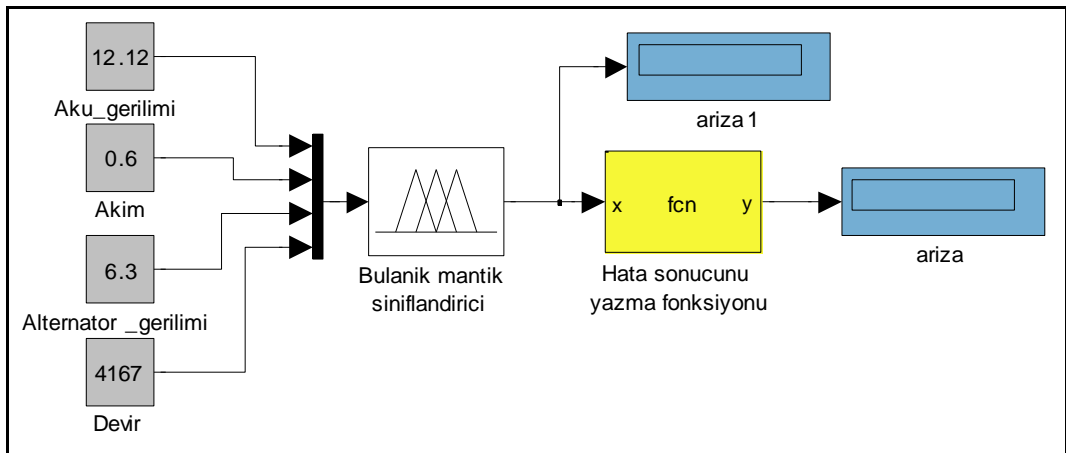


Şekil 6. 4. Kural tabanı.

Şekil 6.6’da bulanık mantık denetleyici modeli görülmektedir. Denetleyicinin çıkışındaki değere göre karşılaştırma bloğu ile arıza sınıflandırılması yapılmaktadır. Örneğin sisteme akü gerilimi 13,54V, akım 35,42A, alternatör gerilimi 8,67A ve alternatör devri 4049 dev/dk girildiğinde bulanık mantık denetleyici çıkışında 1 sayısını görülmektedir. Buradan sistemde akü arızası meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu çalışmada bulanık mantık arızaları % 65,85 doğrulukta teşhis etmektedir.



Şekil 6. 5. Kural görüntüleyici.



Şekil 6. 6. Bulanık mantık tahmin edici.

## 6.2. İLERİ BESLEMELİ SİNİR AĞI KULLANARAK ALTERNATÖRLERDE ARIZA TEŞHİSİ

Sistemde ileri beslemeli sinir ağı nntool (yapay zeka araçları) kullanılarak oluşturulmaktadır. Sistemde 2 gizli katmana sahip 4 katmanlı bir ağ kullanılmaktadır [74].

Gizli katmanda kullanılacak nöron sayısının bulunması formülize edilmiştir. Üç Katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağında  $m$  çıkış nöron sayısı,  $n$  giriş nöron sayısı ise gizli katmandaki nöron sayısı (GKNS);  $GKNS = \sqrt{m \cdot n}$  ' dir. Eğer gizli katman sayısı iki ise birinci gizli katmandaki nöron sayısı  $GKNS1 = mr^2$  eşitliğinden bulunur. İkinci gizli katmandaki nöron sayısı ise  $GKNS2 = mr$  'dir. Buradaki  $r$  değeri;  $r = \sqrt[3]{n/m}$  eşitliğinden elde edilir [51]. Kullanılan ağın giriş nöron sayısı 4, çıkış nöron sayısı 11 ve gizli katman sayısı iki olduğundan birinci gizli katmandaki nöron sayısı 6 ikinci gizli katmandaki nöron sayısı 16 olarak seçilmektedir.

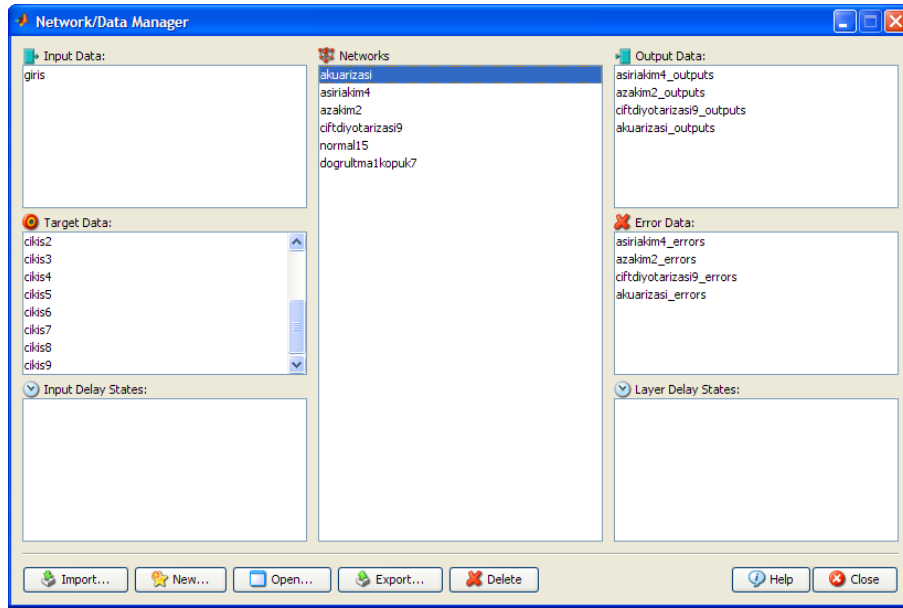
Ağın girişine uygulanan parametreler 0-1 aralığında ölçeklendirilmektedir. Bütün girdilerin ölçeklendirilmesi hem farklı ortamlardan gelen bilgilerin aynı ölçek üzerine indirgenmesine hem de yanlış girilen çok büyük ve küçük şekildeki değerlerin etkisinin ortadan kalkmasına neden olur. Çünkü bu durumda olası en büyük değer 1 değerini almakta ve ondan büyük değerlerde öğrenme setine 1 değerini alarak girmektedir. En küçük değere ise 0 değeri verilmekte ondan küçük değerlerde yine öğrenme setine 0 değerini alarak girmektedir.

Ölçeklendirme değişik şekillerde yapılmaktadır. Bazı araştırmacılar girdi vektörünü normalize etmektedirler. Yani her değeri girdi vektörünün değerine bölerek yeni değerleri bulmaktadırlar. Bu ise Eşitlik 6.1'de verilmektedir. Burada  $x$  girdi değerini,  $x'$  ölçeklendirilmiş yeni girdi değerini,  $|X|$  ise girdi vektörünün büyüklük (vektörel) değerini göstermektedir [51].

$$x' = \frac{x}{|X|} \quad (6.1)$$

Eğitimde her arıza çeşidi için 10’ar adet örnek alınmaktadır. Bazı arıza eşitleri için iki veya üç set 10’ar örnekli veri setleri kullanılmaktadır.

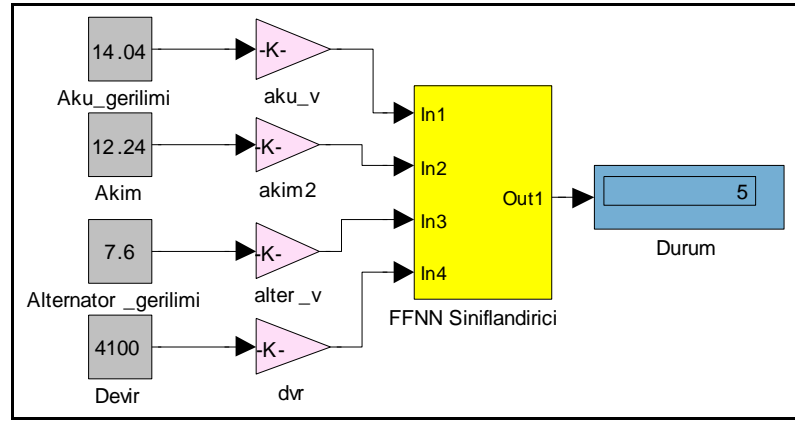
Matlab çalıştırılıp komut satırına nntool yazıldığında Şekil 6.7’de verilen Network/Data Manager penceresi açılmaktadır. Bu pencereden New butonuna tıklanıp data sekmesine gelindiğinde sisteme ait giriş ve hedef veriler girildikten sonra Network sekmesine gelinmektedir. Bu pencereden sistemde kullanılacak ağ çeşidi ileri beslemeli ağ olarak seçildiğinde bu ağa ait giriş ve hedef verileri, ağın kaç katmanlı olduğu ve her katmanda bulunan nöron sayıları, eğitim fonksiyonu seçimi ve transfer fonksiyonu seçimi gibi ayarlamalar yapılabilmektedir. Gereкли ayarlamalar yapılıp ağ oluşturulduktan sonra Network/Data Manager penceresinden ağın üzerine çift tıklanır. Ağın giriş ve hedef verileri seçilir. Eğitim için iterasyon sayısı, hedef arıza gibi parametre ayarlamaları yapıldıktan sonra ağ eğitilir. Eğitilen ağ Matlab alışma alanına aktarıldıktan sonra gensim(ağ adı) komutu ile modeli oluşturulur.



Şekil 6. 7. Nntool penceresi.

Şekil 6.8’de ileri beslemeli sinir ağıyla arıza teşhisi için oluşturulan model görölmektedir. Burada sistemin giriş parametreleri olan alternatör gerilimi, akü gerilimi, akım ve devir bilgileri elle değiştirilebilmektedir. Kazanç blokları ile Eşitlik

6.1’de verilen formüle göre normalize işlemi yapılmaktadır. Her arıza çeşidi için ileri beslemeli ağ eğitilmektedir. Tüm oluşturulan ağ blokları bir araya getirilmekte ve sistemin giriş parametreleri bütün bu ağların girişine uygulanmaktadır. Tüm ağlar 0-1 arasında çıkış vermektedir. Ağların sonucu karşılaştırma bloğu içinde karşılaştırılmakta ve en yüksek sonucu veren ağın çıkışı arıza teşhisinin sonucunu vermektedir.



Şekil 6. 8. İleri beslemeli sinir ağı modeli.

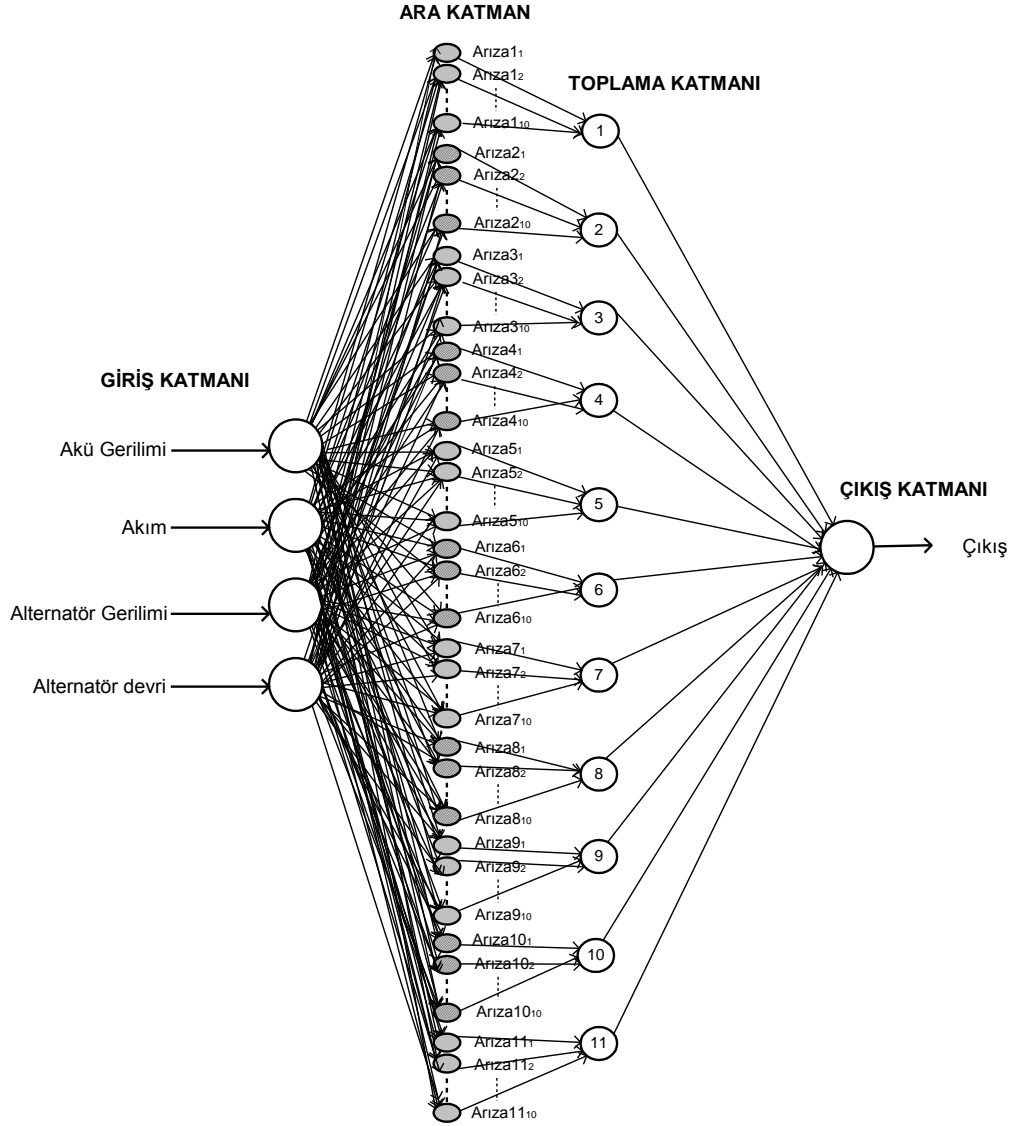
Arıza çeşitleri Çizelge 6.1 ‘de verildiği gibi 1-11 arasında numaralandırılmaktadır. Sınıflandırma bloğundan elde edilen 1-11 arasındaki çıkış ana modelde görüntülenmektedir. Örneğin akü gerilimi 14,04V, akim 12,24A, alternatör gerilimi 7,6V ve devir 4100 dev/dk iken sistem çalıştırıldığında durum ekranında 5 sayısı görüntülenmektedir. Buradan sistemde doğrultma diyotu arızası olduğu anlaşılmaktadır. İleri beslemeli yapay sinir ağı arızaları %87,08 oranında doğru teşhis etmektedir.

### 6.3. OLASILIK SİNİR AĞI KULLANARAK ALTERNATÖRLERDE ARIZA TEŞHİSİ

Olasılık sinir ağı sınıflandırma problemlerinde sıklıkla kullanılan bir ağıdır. Kurulması kolaydır. Bu sistemde olasılık sinir ağı ile arıza teşhisi için bir m-file dosyası yazılmıştır. Daha sonra bu kod Matlab gömülü kod bloğuna alınarak model dosyasında çalıştırılmaktadır. Şekil 6.9’da sistemde kullanılan olasılık sinir ağı yapısı görülmektedir. Ağın girişine normalize edilmiş akü gerilimi, akım, alternatör



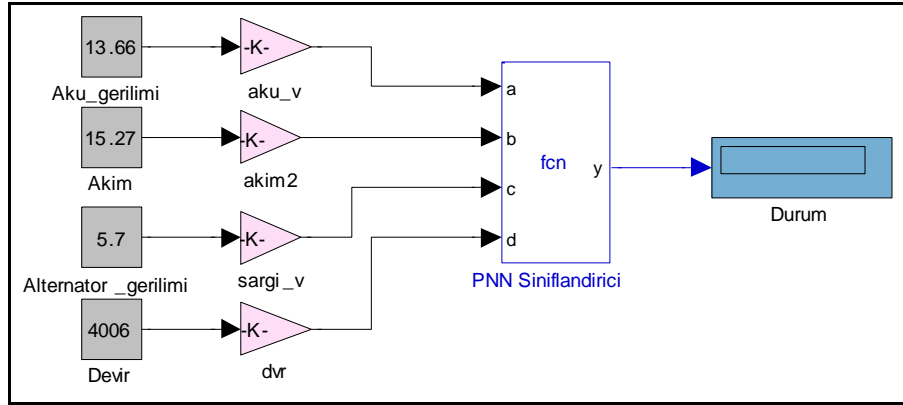
gerilimi, devir bilgileri uygulanmaktadır. Her arıza durumu için ara katmanda 10'ar adet veri seti bulunmaktadır. Toplama katmanında her arıza grubuna ait çıkışlar toplanmaktadır. Çıkış katmanında toplama katmanında en yüksek sonucu veren guruba sınıflandırma yapılmaktadır.



Şekil 6. 9. Olasılık sinir ağı yapısı.

Olasılık sinir ağında doğru sınıflandırma yapabilmek için düzgünleştirme parametresinin uygun seçilmesi gerekmektedir. Bu problem için düzgünleştirme parametresi 0,01 ve 0,09 değerleri arasında seçildiğinde uygun sonuçlar vermektedir. Bu değerler sistem denenerek tespit edilmiştir. Şekil 6.10'da olasılık sinir ağı modeli verilmektedir. Toplama katmanında 1'den 11'e kadar numaralandırılan arıza

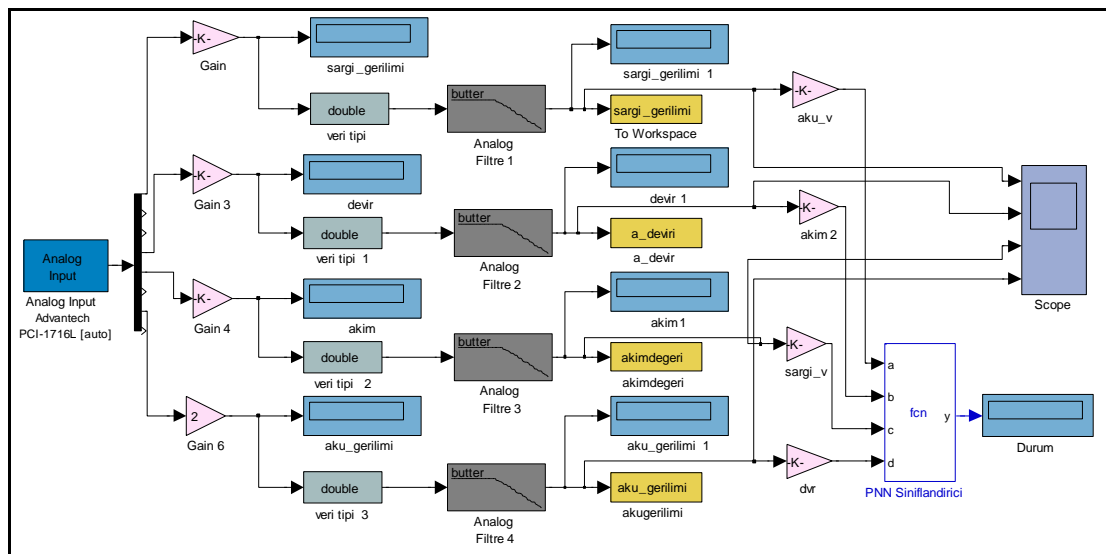
durumları Çizelge 6.1’de verilmektedir. Bahsedilen üç yapay zeka tekniği sistemde denenmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda olasılık sinir ağının bu problem için daha uygun olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 6. 10. Olasılık sinir ağı modeli.

#### 6.4. OLASILIK SİNİR AĞI KULLANARAK GERÇEK ZAMANLI OLARAK ALTERNATÖRLERDE ARIZA TEŞHİSİ

Sistemde üç yapay zeka tekniği denenmiştir. Bu yöntemler arasında olasılık sinir ağının daha başarılı olduğu görülmüştür. Olasılık sinir ağı hızlı örnekleme ile çalışabilmekte ve anında karar verebilmektedir.



Şekil 6. 11. Gerçek zamanlı olarak alternatörlerde arıza teşhisi modeli.

Şekil 6.11’de sistemin olasılık sinir ağıyla gerçek zamanlı olarak çalıştırılan modeli verilmektedir. Bu model Şekil 5.14’te verilen gerçek zamanlı olarak veri toplamak için oluşturulan model ile Şekil 6.10’da verilen olasılık sinir ağının testi için oluşturulan modelin birleştirilmesinden oluşturulmaktadır. Arızalar tek tek oluşturulmakta ve gerçek zamanlı olarak oluşturulan arızalar teşhis edilmektedir. Olasılık sinir ağı gerçek zamanlı olarak %92 oranında başarıyla arızaları teşhis etmektedir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Alternatörlerde arıza teşhisi üç yapay zeka tekniği kullanılarak 41 örnek seti ile test edilmiştir. Çizelge 7.1’de sistemde kullanılan üç yapay zeka tekniğine ait karşılaştırma tablosu verilmektedir. Her bir yapay zeka tekniği Çizelge 6.1’de verilen arızalar ile test edilmektedirler.

Çizelge 7.1. Arıza teşhisinde kullanılan YZ tekniklerinin karşılaştırılması.

Kullanılan Yöntem:			Bulanık Mantık	İleri Beslemeli Ağ	Olasılık sinir Ağı
Sr	Arıza çeşidi	Toplam Arıza Sayısı	Doğru teşhis edilen arıza sayısı		
1	Akü arızası	2	2	2	2
2	Kısa devre arızası	3	3	3	3
3	Gergin kayış arızası	3	0	0	3
4	Gevşek kayış arızası	3	3	3	3
5	Doğrultma diyotu arızası	6	3	6	6
6	Gevşek fırça arızası	3	2	3	3
7	Tridiyot arızası	2	2	2	2
8	Regülatör arızası	2	2	1	2
9	Açık devre arızası	6	3	4	6
10	Normal durum	5	3	3	5
11	Stator sargısı arızası	6	4	2	4
<b>Genel Toplam:</b>		41	27	36	39
<b>Başarı yüzdesi:</b>			%65,85	%87,08	%95,1

Bulanık mantık arıza teşhis sistemi uzman kişinin bilgisini kullanması uzmanın arızayı teşhis ederken takip ettiği mantığı yazılıma aktarması en önemli özelliğidir. Bu yöntemin arızayı önceden teşhis etme özelliğinin olmaması en büyük

sakıncasıdır. Bulanık mantığın doğası nedeniyle net sonuçlar vermemesi arızaların doğru teşhis edilme oranı en düşük olma nedenidir. Bu yöntemin uzman görüşüne bağlı olarak kural tabanın çok kolay değiştirilmesi bakım ve tamir atölyelerinde çok rahat bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bu çalışmada bulanık mantık 41 arızadan 27'sini doğru teşhis edebilmekte ve %65,85 doğrulukta çalışmaktadır.

İleri beslemeli sinir ağında doğru sınıflandırma yapma kabiliyeti yüksek olmasına karşılık ağın arıza teşhis etmesi için gerekli süre çok fazladır. Aynı zamanda ağın arızaları teşhis edebilmesi için eğitilmesi gerekir. Ağın yeni tip arızalar için bilgilerinin güncellenmesi, yeniden eğitilmesi gerekmektedir. Bu ise uzun bir zaman almaktadır. İleri beslemeli ağı bu çalışmada 41 arızadan 36'sını doğru teşhis edebilmekte ve %87,08 doğrulukta çalışmaktadır.

Olasılık sinir ağı ile alternatörlerde arıza teşhisi başarılı bir şekilde yapılabilmektedir. Öğrenmesiz ve hızlı teşhis yapabilmesi de en büyük üstünlüklerindedir. Hızlı cevap vermesi sayesinde alternatör arızalarının oluşmadan önce belirlenmesine imkân sağlamaktadır. Ağa yeni bir veri seti eklemek veya ağın yapısını değiştirmek çok kolaydır. Olasılık sinir ağı 41 arızadan 39'unu doğru teşhis edebilmektedir. %95,1 doğrulukta çalışmakta ve gerçek zamanlı uygulamada bu başarı %92 olmaktadır.

Bulanık mantığın %34,15 ileri beslemeli ağın %12,92 olasılık sinir ağının %4,9 hatalı sonuç vermesinin nedeni bazı arıza değerlerinin birbirine çok yakın olmasıdır. Örneğin normal durum ile gergin kayış arızası durumu değerleri birbirine yakın değerlerdir. Olasılık sinir ağı bu yakın değerleri bile sınıflandırabilmektedir. Bu yüzden gerçek zamanlı çalışmada olasılık sinir ağı tercih edilmiştir.

Alternatör arızalarının teşhisi konusunda yapılacak sonraki çalışmalarda olasılık sinir ağı ile arıza teşhisi için sayısal sinyal denetleyici işlemciler kullanılarak bir prototip cihaz gerçekleştirilebilir. Alternatörün durumu sürekli izlenerek arıza meydana gelmeden başlangıç aşamasında teşhis edilebilir. Ayrıca bu geliştirilen sistem tamir bakım atölyelerinde ve alternatör üreten firmaların kalite kontrol birimlerinde arıza teşhisi ve performans ölçümlerinde rahatlıkla kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

1. Kuppens, S. and Henneberger, G., “Numerical procedures for the calculation and design of automotive alternators”, *IEEE Transactions on Magnetics*, 33: 2022-2025 (1997).
2. Perreault, D. J. and Caliskan, V., “Automotive power generation and control”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 19: 618-630 (2004).
3. Naidu, M., Boules, N. and Henry, R., “A high-efficiency high-power-generation system for automobiles”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 33: 1535-1543 (1997).
4. Rivas, J., Perreault, D. and Keim, T., “Performance improvement of alternators with switched-mode rectifiers”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19: 561-568 (2004).
5. Bolenz, K., “Automotive electric/electronic systems”, 2<sup>nd</sup> ed., **Robert Bosch GmbH**, Stuttgart, Germany, 346-375 (1995).
6. Denton, T., “Automobile electrical and electronic systems”, 3<sup>rd</sup> ed., **London Butterworth-Heinemann**, Oxford, USA, 130-148 (2004).
7. Henneberger, G. and Kuppens, S. “Improvement of the output performance of claw-pole alternators by additional permanent magnets”, *Proceedings of the International Conference on Electrical Machines*, 2: 472-476 (1994).
8. Cai, W., “Comparison and review of electric machines for integrated starter alternator applications”, *IEEE Industry Applications Conference*, 1: 386-393 (2004).
9. David, J. P., Khurram, A. and Iftikhar A. K., “Automotive applications of power electronics power electronics handbook” Devices, circuits, and applications 2<sup>nd</sup> ed., **Elsevier Inc.**, 635-659 (2007).
10. Yang, W., Tavner, P. J. and Wilkinson, M., “Wind turbine condition monitoring and fault diagnosis using both mechanical and electrical signatures”, *IEEE/ASME International Conference on Advanced*, Xi’an, China, 1296-1301 (2008).
11. Rajeswari, R. and Kamaraj, N., “Diagnosis of inter turn fault in the stator of synchronous generator using wavelet based anfis”, *Pocceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 26: 680-686 (2007).

12. Bruzzese, C., Giordani, A. and Santini, E., "Static and dynamic rotor eccentricity on-line detection and discrimination in synchronous generators by no-load EMF space vector loci analysis", **2008 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation And Motion**, Ischia, Italy, 1-3: 1259-1264 (2008)
13. Canha, D., Cronje, W., Meyer, A. and Hoffe, S. J., "Methods for diagnosing static eccentricity in a synchronous 2 pole generator", **2007 IEEE Lausanne Powertech**, 1-5: 2162-2167 (2007).
14. Kim, D. H., Song, M. K., Park, J. S. and Lee, D. Y., "Assessment of air-gap flux variation to short-circuit current of generator excitation windings", **2007 International Conference on Electrical Machines And Systems**, Seoul, Korea, 1: 191-194 (2007).
15. Gaillard, A., Karimi, S., Poure, P. and Saadate, S., "Fault tolerant back-to-back converter topology for wind turbine with doubly fed induction generator", **International Review of Electrical Engineering-IREE**, 4: 629-637 (2007).
16. Scacchioli, A., Rizzoni, G. and Pisu, P., "Hierarchical model-based fault diagnosis for an electrical power generation storage automotive system", **2007 American Control Conference**, New York, USA, 1-13: 4202-4207 (2007).
17. Batzel, T. D., "Observer-based monitoring of synchronous generator winding health", **2006 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition**, Atlanta, GA, 1-5: 1150-1155 (2006).
18. Khan, M., Ozgonenel, O. and Rahman, M. A., "Diagnosis and protection of stator faults in synchronous generators using wavelet transform", **IEEE IEMDC 2007**, Proceedings of the International Electric Machines and Drives Conference, Antalya, 1-2: 184-189 (2007).
19. Khan, M. A., Ozgonenel, O. and Rahman, M. A., "Wavelet transform based protection of stator faults in synchronous generators", **Electric Power Components And Systems**, 625-637 (2007).
20. Liu, W., Huang, X. Y., Liu, Z. and Huang, D. R., "Intelligent fault diagnosis and fault tolerant control on nonlinear excitation system", **WCICA 2006: Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation**, Dalian, China, 1-12: 5787-5790 (2006).
21. Fang, H. W., Xia, C. L., Jin, X. F. and Xiu, J., "Analysis of synchronous generator internal faults based on fractal", **WCICA 2006: Sixth World Congress on Intelligent Control and Automation**, Dalian, China, 1-12: 7503-7507 (2006).
22. Sottile, J., Trutt, F. C. and Leedy, A. W., "Condition monitoring of brushless three-phase synchronous generators with stator winding or rotor circuit deterioration", **IEEE Tran. on Industry Applications**, 1209-1215 (2006).

23. Wan, S. T., Li, H. M., Li, Y. G. and Yi, W., "The diagnosis method of generator rotor winding inter-turn short circuit fault based on excitation current harmonics", *PEDS 2003*, Fifth International Conference On Power Electronics And Drive Systems, Singapore, 2: 1669-1673 (2003).
24. Kyriakides, E., Heydt, G. I. and Vittal, V., "On-line estimation of synchronous generator parameters using a damper current observer and a graphic user interface", *IEEE Transactions On Energy Conversion*, 499-507 (2004).
25. Batzel, T. D., Swanson, D. C. and Defenbaugh, J. F., "Predictive diagnostics for the main field winding and rotating rectifier assembly in the brushless synchronous generator", *IEEE International Symposium on Diagnostics For Electric Machines*, Power Electronics And Drives, Proceedings, Atlanta, GA, USA, 349-354 (2003).
26. Kulkarni, A. S., El-Sharkawi, M. A., Marks, R. J. Andexler, G. Xing, J. and Kerszenbaum, I., "Development of a technique for on-line detection of shorts in field windings of turbine-generator rotors: Circuit design and testing", *IEEE Transactions On Energy Conversion*, 1: 8-13 (2000).
27. Fausett, L., "Fundamentals of neural networks", *Prentice-Hall*, USA, 169-187, 289-334 (1994).
28. Wang, P., Propes, N., Khiripet, N., Li, Y. and Vachtsevanos G., "An integrated approach to machine fault diagnosis", *IEEE Annual Textile, Fiber and Film Ind. Technical Conf.*, Atlanta, GA, USA, 4-6 (1999).
29. Boltezar, M., Simonovski, I. and Furlan, M., "Fault detection in dc electro motor using continuous wavelet transform", *Meccanica*, Netherlands, 38: 251-264 (2003).
30. Lou, X., Loparo, K. A., Discenzo, F. M., Yoo, J. and Twarowski, A., "A wavelet – based technique for bearing diagnostics", *Int. Conf. on Acoustics, Noise and Vibration*, Montreal, Canada (2000).
31. Lee, D. and Morrison, R., "Multiresolution based pattern recognition approach for condition monitoring of switchgear", *Electrical & Computer Systems Eng. Dept. Monash Univ.*, Australia (1999).
32. Dalpiaz, G., Rivola A. and Rubini, R., "Gear fault monitoring: comparison of vibration analysis techniques", *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Acoustical and Vibratory Surveillance Methods Diagnostic Techniques*, Senlis, France, 2: 623-637 (1998).
33. Bhunia, S. and Roy, K., "Fault detection and diagnosis using wavelet based transient current analysis", *Design Auto and Test in Europe*, Paris, France, 1118 (2002).



34. Kim, K. and Parlos, A. G., "Induction motor fault diagnosis based on neuropredictors and wavelet signal processing", *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 7: 201-219 (2002).
35. Magnago, F. H. and Abur, A., "Fault locations using wavelets", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 113: 1475-1480 (1998).
36. Khurram, M. and Kaushik, R., "Fault detection and locations using  $I_{DD}$  waveform analysis", *IEEE Design & Test of Computers*, 42-49 (2001).
37. Chow, M. Y., "Methodologies of using neural network and fuzzy logic technologies for motor incipient fault detection", *World Scientific Pub.*, Singapore, 1-11, 99-135 (1997).
38. Gazdik, I., "Fault diagnosis and prevention by fuzzy sets", *IEEE Transaction on Reliability*, 382-388 (1985).
39. Wang, H. P. and Zeng, L., "Machine-fault classification: a fuzzy-set approach", *Int. Journal of Advanced Manufacturing Tech.*, London, 83-94 (1991).
40. Liu, T. I., Singonahalli, J. H. and Iyer, N. R., "Detection of roller bearing defects using expert system and fuzzy logic", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 10: 595-614 (1996).
41. Mechefske., C. K., "Objective machinery fault diagnosis using fuzzy logic", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 12: 855-862 (1998).
42. Emmanouilidis, C., Macintyre, J. and Cox, C., "Neurofuzzy computing aided machine fault diagnosis", *Proc of JCLS'98 The Fourth Joint Conference on Information Science*, North Carolina, USA, 1: 207-210 (1998).
43. Ayoubi, M. and Isermann, R., "Neuro - fuzzy systems for diagnosis", *Fuzzy Sets and Systems*, 89: 289-307 (1997).
44. Libelli, M. S., "Adaptive fuzzy monitoring fault detection", *International Journal of COMADEM*, 1: 31-37 (1998).
45. Pfeufer, T. and Ayoubi, M., "Application of hybrid neuro-fuzzy system to fault diagnosis of an automotive electromechanical actuator", *Fuzzy Sets and Systems*, 89: 351-360 (1997).
46. Jämsä-Jounela, S.-L., Vermasvuori, M., Endén, P. and Haavisto, S., "A process monitoring system based on the Kohonen self-organizing maps", *Control Engineering Practice*, 11: 83-92 (2003).
47. Çeşmeli, C. ve Günel, T., "Radarla uçak sınıflandırmada yapay sinir ağı yaklaşımı", *URSI-TÜRKİYE'2006 3. Bilimsel Kongresi Kitabı*, Ankara, 235-237 (2006).

48. Kashyap, K. H. and Shenoy, U. J., "Classification of power system faults using wavelet transforms and probabilistic neural networks", *In Proc. Int. Symp. Circuits and Systems*, Bangkok, Thailand, 423-426 (2003).
49. Mussa, R., Kwigizile, V. and Selekwa, M., "Probabilistic neural network application for vehicle classification", *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 132: 293-302 (2006).
50. Samanta, B., Al-Balushi, K. R. and Al-Araimi, S. A., "Artificial neural networks and genetic algorithm for bearing fault dedection", *Soft Comput*, 10: 264-271 (2006).
51. Bayır, R., "Yapay zeka teknikleri kullanılarak marş motorlarında hata teşhisi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-55 (2005).
52. Vas, P., Parameter Estimation, "Condition Monitoring and Diagnosis of Electrical Machines", *Clarendon Press*, New York, 307-344 (1993).
53. Öztemel, E., "Yapay sinir ağları", *Papatya Yayıncılık*, İstanbul, 13-35 (2003).
54. Kesler, S., "Bilezikli asenkron makinaların bilezikleri üzerinden bulanık mantık tabanlı hız denetiminin TMS320F2812 DSP ile gerçekleştirilmesi", Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 90-94, (2006).
55. Specht, D., "Probabilistic neural networks for classification, mapping or associative memory", *Lockheed Palo Alto Research Laboratories*, California, 525-532 (1988).
56. Specht, D., "Probabilistic neural networks", *Neural Networks*, USA, 3: 109-118 (1990).
57. Türkoğlu, İ., "Örüntü tanıma sistemleri", *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ders Notları*, Elazığ, 20-50 (2003).
58. Cheung, V., Cannons, K., "An introduction to probabilistic neural networks", *Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions*, 196-203 (2002).
59. Martin, T., "How to diagnose and repair automotive electrical systems", *Motorbooks*, USA, 72-84 (2005).
60. Dursun, E. ve Binark, A. K., "Rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörler", *VII. Ulusal Temiz E Enerji Semp., UTEs 2008*, İstanbul, 667-674 (2008).
61. Erşan, K., "Oto elektrik ve oto elektroniği dersi yardımcı ders notları", *Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Otomotiv Öğretmenliği Anabilim dalı, Ankara, 6-20 (2000).

62. Uçar, M., “Alternatör arızalarının zeki denetim teknikleri ile gerçek zamanlı olarak tespit edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 43-45 (2009).
63. Kurt, N., “Alternatör benzetimleri için yazılım tasarımı”, Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Karabük, 6-17 (2009).
64. Kaynaklı, M., “Pençe tipi alternatör ile sabit mıknatıslı alternatör performanslarının karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 24-27 (2010).
65. Ünlü, T. ve BAYIR, R., “Pençe tipi alternatörlerin mikrodenetleyici temelli kondisyon izleme ve arızalarının tespiti”, **5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, IATS'09**, Karabük, 1: 282-286 (2009).
66. Aktan, F., “Elektrik üretimi için kullanılan alternatörün performansının mikrodenetleyici ile denetimi”, Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi**, Karabük, 17-24 (2009).
67. “Real-time windows target user’s guide”, **The MathWorks Inc.**, 1: 1-7, A: 1-3 (2004).
68. “Gamak monofaze elektrik motorları”, **Yatiz Elk. San. Tic .A Ş.**, 1-2 (2008).
69. “Commander SE user’s guide”, **Control Techniques Drives Limited.**, 2-5 (2002).
70. “PCI-1716”, **Advantech Data Acquisition Boards**, 1-3 (2010).
71. “PLCD-8710”, **Advantech Data Acquisition Boards** (2008).
72. “Z111 frequency- current/voltage converter”, **SenecaUK**, West Yorkshire, UK, 1-4 (2009).
73. “CIE CA-60 AC/DC akım probu, NETES test ve ölçü aletleri kataloğu”, **Netes Mühendislik ve Dış Ticaret Ltd. Şti.**, 153 (2010).
74. “Neural network toolbox user’s guide”, **The MathWorks Inc.**, 3: 23-31 (2009).
75. “Fuzzy logic toolbox user’s guide”, **The MathWorks Inc.**, 1-7 (2001).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Emel KOÇAK 1986 yılında Karabük'te doğdu, ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2004 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesinde Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü Bilgisayar Öğretmenliği Programında lisans öğrenimine başladı. 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2008 yılında KBÜ Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği programında araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen KBÜ Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmakta ve yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Karabük Üniversitesi  
Teknik Eğitim Fakültesi  
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (0370) 4338200–1204  
E-posta : ekocak@karabuk.edu.tr