

**PLC DESTEKLİ KESTİRİMCİ BAKIMIN
KARDEMİR SİNER FABRİKASINDA
UYGULANMASI**

**2012
YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

Mustafa YILMAZ

**PLC DESTEKLİ KESTİRİMCİ BAKIMIN KARDEMİR SİNER
FABRİKASINDA UYGULANMASI**

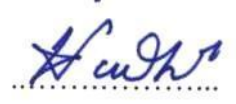
Mustafa YILMAZ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2012**

Mustafa YILMAZ tarafından hazırlanan “PLC DESTEKLİ KESTİRİMCİ BAKIMIN KARDEMİR SİNER FABRİKASINDA UYGULANMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK
Tez Danışmanı, Bilgisayar Mühendisliği



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28 / 06 / 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

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



Üye : Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Naci KURGAN (KBÜ)



..... / / 2012

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“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.”

Mustafa YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PLC DESTEKLİ KESTİRİMCİ BAKIMIN KARDEMİR SİNER FABRİKASINDA UYGULANMASI

Mustafa YILMAZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK

Haziran 2012, 58 Sayfa

Endüstride kullanılan makinelerin çalışmalarını sürekli ve istenilen performansı gösterecek şekilde gerçekleştirmesi gerekir. Üretim hattında en basit bir makinede meydana gelebilecek çok küçük bir arıza bile bütün sistemin durmasına yol açabileceğinden beklenmedik arızaların, umulmadık zamanlarda meydana gelmesini önlemek için bakım sisteminin çok iyi organize edilmesi ve işletilmesi gerekmektedir. Makinelerin, endüstride üretim sürecinin her alanında aktif olarak kullanılması, bakım faaliyetlerini zorunlu hale getirmiştir. Bu yüzden herhangi bir endüstriyel teşebbüste daima bir bakım fonksiyonu vardır. Bakım faaliyeti, sistemlerin fonksiyonlarını en iyi performansla sürdürmeleri için işletmedeki bütün bölümlerin birlikte gerçekleştirdiği sistemli bir harekettir.

Bu çalışmada sinter fan motoru üzerinde bir çalışma gerçekleştirilmiştir. İzlemeye alınan motora ait veriler otomasyon sisteminde kullanılan PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol) cihazı ve SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)

sistemi üzerinden alındıktan sonra yapay sinir ağı ile işlenerek akım tabanlı makine performansı izlemesi yapılmıştır. Prosesin sağlıklı işlenmesi ve üretimin sürekliliği açısından işletme şartlarında en uygun yöntem olarak tavsiye edilen kestirimci bakım uygulamasını titreşim analizine alternatif olarak akımdaki değişimlerle yapabilmek için YSA (Yapay Sinir Ağı) kullanılmıştır. Yapay sinir ağını eğitmek için akımı etkileyen beş giriş parametresi belirlenmiş, bu parametrelere ait verilerle ağ eğitildikten sonra test yapılarak akım değeri yaklaşık %90 doğruluk oranıyla belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlarla, ISO-10816 titreşim standardı karşılaştırılarak motor durumu belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Kestirimci bakım, PLC ve YSA.

Bilim Kodu : 902.1.012

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

AN APPLICATION OF PLC BASED PREDICTIVE MAINTENANCE TO SINTER PLANT IN KARDEMİR

Mustafa YILMAZ

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. İlhami Muharrem ORAK

June 2012, 58 Pages

It is necessary for the machines used in industrial application to work continuously and in desired performance. A very simple failure which may occur in a production line may result in breakdown in complete system. The maintenance system has to be well organized and managed, in order to prevent any unexpected breakdown occurrence in a critical time period. Since machines are used in all aspects of the production process, maintenance services become vital importance in industry. Therefore maintenance function involves in any industrial application. Maintenance service is carried out by all the departments together in a company in order to achieve the system to work in best performance.

In this study, a work carried out on sinter fan motor. The data related to targeted motor are taken by PLC (Programmable Logic Controller) and SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) system and processed by ANN to monitor the machine performance in terms of current. An ANN is applied for identification of predictive maintenance based on the changes in current which is considered alternative to vibration analysis. As input parameters, 5 data having impact on

current are selected and the data for these inputs are used for training of ANN . The test results achieved with 90% correctness. These values are compared with the ISO-10816 standarts in order to identify the motor performance.

Key Word : Predictive maintenance, PLC, and ANN.

Science Code : 902.1.012

TEŞEKKÜR

Bu tez alışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yrtlmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında Őekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK'a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

lm kayıtlarını bu çalışma için paylaşan ve tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen KARDEMİR personeline, özellikle niversite-sanayi iŐbirlięi kapsamında çalışma ve desteklerinden dolayı Makine Mühendisi Dr. Emrullah ÇAYIR'a teşekkür ederim.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	8
ENDÜSTRİYEL BAKIM YÖNTEMLERİ.....	8
2.1. PLANSIZ BAKIM	9
2.2. PLANLI BAKIM	10
2.2.1. Koruyucu Bakım.....	10
2.2.2. Kestirimci Bakım.....	11
2.2.2.1. Kullanılan Yöntemler	13
2.2.2.2. Uygulama Alanları	14
2.2.2.3. Uygulama Aşamaları	16
2.2.2.4. Ölçümlerin Yorumlanması	17
2.2.3. Kestirimci Bakımın Faydaları	19
2.2.4. Bakım Stratejilerinin Karşılaştırılması.....	20
BÖLÜM 3.	21
PLC VE OTOMASYON SİSTEMİ... ..	21
3.1. YAPISI VE FONKSİYONLARI	21

	<u>Sayfa</u>
3.2. ÇALIŞMASI	21
3.3. KULLANILAN PLC’NİN ÖZELLİKLERİ	22
BÖLÜM 4.	24
SCADA SİSTEMLERİ	24
4.1. YAPISI	24
4.2. KULLANIM ALANLARI	25
4.3. SCADA EKРАН TİPLERİ	26
BÖLÜM 5.	30
YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA).....	30
5.1. YAPISI	30
5.2. YAPAY SİNİR AĞLARININ EĞİTİLMESİ VE ÖĞRENME	32
BÖLÜM 6.	35
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
6.1. OPG FAN MOTORU UYGULAMASI.....	35
6.2. SİNER FAN MOTORU UYGULAMASI.....	39
6.3. ÖLÇÜM PARAMETRELERİNİ BELİRLEME ÇALIŞMASI	46
BÖLÜM 7.	51
SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	PLC panosu	3
Şekil 2.1.	Kestirimci bakım uygulanmasında takip edilecek akış şeması	12
Şekil 2.2.	Veriye dayalı kestirimci bakım akış şeması	13
Şekil 2.3.	Termal kamera ile arızalı motorun görüntüsü	14
Şekil 2.4.	Kestirimci bakım uygulama aşamaları	16
Şekil 3.1.	S7-300 PLC ve donanımı	23
Şekil 4.1.	Sinter ünitesi ve SCADA ekranları	25
Şekil 4.2.	Genel görünüm ekranı	27
Şekil 4.3.	İşletme ekranı	27
Şekil 4.4.	Eğri ve trend ekranı	28
Şekil 4.5.	Sinter fan motoruna ait trend ekranı.....	29
Şekil 5.1.	Biyolojik sinir hücresi ve kısımları	30
Şekil 5.2.	Yapay sinir hücresi	31
Şekil 5.3.	Yapay sinir ağı modeli	31
Şekil 5.4.	İleri beslemeli denetimli bir yapay sinir ağı.....	33
Şekil 6.1.	Ölçüm yapılan OPG fan motoru.....	36
Şekil 6.2.	Akım değerlerinin grafik olarak gösterilmesi	37
Şekil 6.3.	1 numaralı kazan 2 numaralı OPG fanı motor ön tarafında eksenel yönde yapılan ölçümün dalga form grafiği	37
Şekil 6.4.	1 numaralı kazan 2 numaralı OPG fanı motor ön tarafında yatay eksende yapılan ölçümün dalga form grafiği	38
Şekil 6.5.	1 numaralı kazan 2 numaralı OPG fanı motor ön tarafında dikey eksende yapılan ölçümün dalga form grafiği	38
Şekil 6.6.	Sinter fan motoru.....	40
Şekil 6.7.	Fan motoru yol verme tek hat diyagramı	41
Şekil 6.8.	Uygulama için oluşturulan YSA modeli	43
Şekil 6.9.	Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasının performans, doğruluk oranı	44

Sayfa

Şekil 6.10. Eğitim, doğruluk ve test için elde edilen regresyon değerleri.....	45
Şekil 6.11. Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasının eğitimi esnasında iterasyonlarda elde edilen sonuçlar.....	45
Şekil 6.12. Oluşturulan yapay sinir ağı modeli	47
Şekil 6.13. Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması regresyon değerleri.....	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Değişik makine ve ekipmanlara uygulanabilecek bakım yöntemleri ...	15
Çizelge 2.2. ISO–10816 Titreşim değerlendirme tablosu.....	18
Çizelge 2.3. Bakım stratejilerinin karşılaştırılması.....	19
Çizelge 6.1 Sinter fan motoru etiket değerleri	39
Çizelge 6.2. Ağın eğitim ve testi sonucu elde edilen sonuçlar	43
Çizelge 6.3. Sinter fan motoru üzerinden alınan ölçümler	46
Çizelge 6.4. Ağın eğitim ve testi sonucu elde edilen sonuçlar	47
Çizelge 6.5. YSA eğitimi için oluşturulan gruplar.....	48
Çizelge 6.6. Ağın eğitim ve testi sonucu elde edilen sonuçlar	49

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

b_h	: Ara katmandaki hücrelere ait sınır değer vektörü
b_y	: Çıktı katmanındaki hücrelere ait sınır değer vektörü
k	: İterasyon sayısı
N	: Girdi ve çıktı vektörlerinin sayısı
w	: Vektörel olarak ağırlık faktörü
W_h	: Ara katmanla girdi katmanı arasındaki bağlantılar için ağırlık faktörleri
W_y	: Katman ile girdi katmanı arasındaki bağlantılar için ağırlık faktörleri
z	: Çıktı katmanındaki hücre sayısı
η	: Öğrenme oranı
α	: Momentum katsayısı
ϕ	: Çıktı katmanına ait hücreler için aktivasyon fonksiyonu
ψ	: Ara katmana ait hücreler için aktivasyon fonksiyonu
$\nabla J(w)$: Performans indeksinin gradyeni
∇E	: Karesel hata fonksiyonunun gradyeni

KISALTMALAR

CPU	: Merkezi işlem birimi
EN	: Avrupa Normu
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
PLC	: Programlanabilir lojik kontrol
SCADA	: Denetimli kontrol ve veri toplama
YSA	: Yapay sinir ağı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Her sanayi dalı çalışma şartlarına bağılı olarak farklı bakım yöntemlerini kullanmaktadır. Yöntemin belirlenmesinde önemli olan faktörler, bakım masraflarının en az seviyede tutulması ve üretimi veya yapılan işi aksatmayacak bir bakımın uygulanmasıdır. Bakım yönteminin doğru seçilmesi ve gerektiğı gibi uygulanması iş güvenliğini arttırarak işçi sağılığını koruduğı gibi işletmenin piyasadaki rekabet gücünü de arttırır. Maliyet açısından bakıldığında, işletmenin faaliyet alanına bağılı olarak, bakım masrafları üretim maliyetinin %15'i ile %40'ı arasında değışebilmektedir. Gıda endüstrisinde oran %15 civarında iken, çimento sanayi, demir-çelik endüstrisi gibi ağır sanayi kollarında %40'a kadar varan oranlarda bakım maliyetleri oluşmaktadır. Bakım yönetimi üzerine yapılan araştırmalar, bakım masraflarının 1/3'ünün gereksizce ve zamansız yapılan bakım sonucunda işletmeye fayda sağlamadığını göstermiştir [1]. Bu nedenle bakım stratejisi belirlenirken, işletmenin şartlarına uygun bakım yönteminin seçilmesi çok önemlidir.

Literatürde bakım yöntemleri genel olarak planlı ve plansız bakım olarak iki ana başlıkta toplanmıştır [2]. Arıza bakımı olarak adlandırılan ve bakımdan çok onarım faaliyeti olarak tanımlanabilecek olan yöntem modern işletmelerde geçerliliğini kaybetmiştir. Planlı bakım yöntemleri periyodik olarak yapılan koruyucu bakım ve bu çalışmanın konusu olan kestirimci bakımdır. Plansız bakım ve periyodik bakım yöntemi ile karşılaştırıldığında kestirimci bakım yönteminin sürekli üretim yapan ve planlananın dışında durması istenmeyen sistemlerde en uygun bakım yöntemi olduğu öngörülmüştür. Kestirimci bakım yönteminde, arıza olasılığı hakkında bir kestirimde bulunmadan önce makine ile ilgili bazı ölçümler yapılır. Sistemin çalışma şartlarına göre termal görüntüleme, titreşim, gürültü, sıcaklık, akım-gerilim ölçümü yapılarak makine sağılığının ne durumda olduğu belirlenmeye çalışılır [3]. Literatürde dönen

parçası olan makinelerde daha sağlıklı kestirim yapmaya imkân veren ve başarıyla uygulanan yöntem titreşim ölçümüdür [4,5,6]. Hareketli parçası olan ve dönen her makinede titreşimler meydana gelir. Aşınmış veya belirlenen parametrelere göre çalışmayan donanımın titreşimleri kabul edilebilir seviyelerin üstüne çıkar ve ilerleyen zamanlarda arızanın durumuna bağlı olarak bir artış gösterir [7,8]. Bu artış analiz edilerek makinenin durumu hakkında kestirim yapılır. Belirlenen parametrelerle ilgili ölçümler seyyar ölçüm cihazları ile yapılabildiği gibi makine üzerine yerleştirilen sensörler vasıtasıyla çevrimiçi olarak izlenebilir. Seyyar ölçüm cihazlarında ölçüm zamanı, kullanılan yöntem ve ölçüm yapan teknisyene bağlı olarak meydana gelebilecek hatalar göz önüne alındığında sürekli ölçüm daha doğru sonuçlar vermektedir.

Bakım yöntemlerinin seçimi ile ilgili gemi sistemleri üzerinde Çebi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada sistem gereksinimleri doğrultusunda entegre bakım-onarım yönetimi tasarımı için bir yöntem geliştirilmesi hedeflenmiştir [9]. Elmacı B. ve Zıypak M. Ege Linyit İşletmesinde yaptıkları çalışmada kestirimci bakımın faydalarını diğer bakım yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak açıklamışlardır [10]. Karahan M.F. makinelerde dış bilezik rulman hasarı ve kaymalı yatakta yıpranma probleminin tespiti çalışmasında ve Orhan S. ve Aktürk N. dişliler üzerinde yaptıkları çalışmada titreşimlerin, dişli kutusu hatalarını belirlemede etkili bir araç olduğu belirtmişlerdir [8,11]. Yine Orhan S. ve ark. titreşim analizinin rulman hasarlarını belirlemede etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermek amacıyla seyyar titreşim ölçüm cihazı kullanarak fan motoru üzerinde uygulama yapmışlardır [5,12]. Dal H. ve ark. Orta ölçekli makineler için ISO-10816 titreşim standartlarını kullanarak eğittikleri yapay sinir ağından elde ettikleri çıkışları tablo değerleri ile karşılaştırarak titreşim analizinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir [13].

Bu çalışmada motorla ilgili analiz yapılırken akım tabanlı izleme yapmak oluşabilecek anormal durumların daha hızlı tespitine imkân verdiğiinden kestirimci bakım için titreşim analizine alternatif olarak motor akımı ölçüm verileri kullanılmıştır. Motor üzerinde mevcut bulunan yirmi bir adet sensörden alınan ölçüm kayıtları SCADA veri tabanından alınmıştır. Mevcut sistemin avantajlı yönlerinden

birisi de veriye dayalı analiz yapılırken eski tarihlere yönelik olarak izleme ve trend analizi yapabilmektir. Akım tabanlı analiz için yöntem olarak YSA kullanılmıştır.

Bakım faaliyetleri ile çalışmalarını istenilen şekilde sürdürebilen endüstriyel otomasyon sistemleri, üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılan, sürekli üretim ve yüksek verim için endüstrinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Bu sistemlerde programlanabilir lojik kontrolörler (PLC) çok önemli bir yere sahiptir. PLC sistemleri çeşitli giriş elemanları ile sahada meydana gelen fiziksel değişimleri ve hareketleri algılayarak gelen bilgileri yazılan kullanıcı programına göre işleme tabi tutarlar. Mantıksal işlemler sonucu ortaya çıkan sonuçları da kumanda ettikleri çıkış elemanları aracılığıyla sahaya gönderirler. Sahadan gelen bilgiler endüstriyel ortamda meydana gelen fiziki değişimlerin transduserler yardımıyla elektriksel sinyallere dönüştürülmüş halidir. Bu sinyaller dijital veya analog olabilir. Gelen bilginin analog olması durumunda, gelen değerin belirlenen bir aralığı için işlem yapılması mümkündür. Dijital sinyallerde ise gerilimin olması ya da olmamasına göre sorgulama yapılabilir [14].



Şekil 1.1. PLC panosu

PLC ile bir makinenin kontrolü yapılabileceği gibi, bir fabrikanın tamamının kumandası da gerçekleştirilebilir. Kullanılan kontrolörün kapasitesi ile orantılı olarak kontrol edilen giriş ve çıkış sayıları arttırılabilir. PLC'ler, günümüzde kimya sanayisinden gıda sektörüne, seri üretim hatlarından depolama birimlerine, marketlerden petrol rafinerilerine kadar çok geniş bir yelpazede, hemen hemen her sektörde kullanılmaktadır. Sensör teknolojisi ve elektronik sektöründeki hızlı gelişmelere paralel olarak PLC teknolojisi de gün geçtikçe ilerleyerek farklı alanlarda yeni uygulamalar yapmaya imkân sağlamaktadır.

PLC, endüstriyel kontrol sistemlerinin her bölümünde etkin görev yapan önemli bir elemandır. Kontrol ettiği sistemlerde, üretim hattının en küçük biriminin bile prosesin amacına uygun olarak çalışmasını düzenlediği gibi, farklı üretim sistemleri arasında veri iletişimi imkânı sağlayarak üst düzey yönetim ve organizasyon için gerekli veri tabanını da oluşturur. Birimler arasında bilginin güvenilir ve hızlı akışını sağlayan donanım ve yazılım sistemleri veri iletişim sistemlerini meydana getirir. Bu amaçla günümüzde yaygın olarak SCADA (Denetimli Kontrol ve Veri Toplama Sistemi) yazılımları ve alt yapıları kullanılmaktadır.

SCADA sistemine algılayıcılar aracılığıyla değişik noktadaki ölçüm bilgileri gelir. Sistemin ihtiyacına göre algılayıcılar; ısı, titreşim, gürültü, basınç, hareket vb. gibi çeşitli fiziksel değişim ve büyüklükler hakkında bilgi sağlarlar. Algılayıcılardan gelen bilgiler işlenerek kullanıcı ekranı aracılığıyla operatöre bildirilir. Böylece kontrolü yapılan sistemin, cihazın veya ortamın durumu sürekli olarak izlenir. Bir SCADA sisteminin temelinde bir merkez istasyon, bu istasyona bağlı çevre istasyonlar ve bu iki birim arası denetim, kontrol işini gerçekleştiren bir yazılım bulunur. Bu yazılımın en önemli özelliği, kullanıcıya kolaylık sağlaması bakımından, görsel ve kolay kullanımlı olmasıdır. Görsellik kavramını, günümüzde en iyi pencere (Windows) tabanlı programlar sağlamaktadır. Bu yazılımlardan kontrolü yapılan çevre elemanlarına kolay müdahale imkânı vermesi, cihazların anlık olarak çalışıp çalışmadığı bilgilerinin ekranda görülüyor olması, çalışan bir cihazda meydana gelen arızanın anında kullanıcıya bildirilmesi veya sisteme büyük çapta zarar verebilecek bir arızanın meydana gelmesi durumunda, tüm sistemin çalışmasının durdurulması gibi özelliklerinin bulunması beklenmektedir [14].

Otomasyon sistemlerindeki gelişmelerle birlikte analog sinyallerin de güvenilir hale gelmesi ile işletmelerde pnömatik ve elektrikli cihazlar kullanılmaya başlanmıştır. 1960'lı yıllarda süreç verilerinin saklanması ve işlenmesinde dijital teknoloji ilk defa kullanılmaya başlanmıştır. Entegre devreler ve PLC'ler ile analog sinyallerin denetim sürecinde farklı seviyelerde kullanımı 1970'lerde başlamıştır. 1990'larda saha donanımları ve veri yolları geliştirilmiştir. Otomasyon sürecinin farklı noktalardan yönetimi bazı sıkıntılara neden olduğundan bilgisayar tabanlı denetimler geliştirilerek riskler azaltılmaya çalışılmıştır. Uydu sistemlerinin kullanımı ile sürecin denetimini uzak mesafelerden, şehirlerarası veya ülkeler arası yapmak mümkün hale gelmiştir. Böylece meydana gelen herhangi bir değişiklik merkez tarafından en kısa zamanda görülebildiği gibi, arıza durumlarında mesafe sınırı olmaksızın kısa sürede müdahale edebilme yeteneğini kazanmıştır [15].

Endüstriyel sistemlerin işletilmesinde yaygın olarak kullanılan asenkron motorların sürekli izlenmesi ve kontrol dışında durmaması sistem açısından çok önemlidir. Üretim sırasında arızalardan kaynaklanan duruş sürelerinin en aza indirilmesi ve hatta sürecin hiç aksamadığı ve arıza yapmadığı kesintisiz üretim ideal bir çalışma durumudur. Sürekli üretim yapan tesislerde sistemin sürekli denetlenmesi ve oluşabilecek arızalara karşı gerekli önlemlerin hızla alınması zorunlu hale gelmiştir. Sisteme hareket veren asenkron motorlardan herhangi birinin arızalanması tüm üretimin aksamasına neden olabilir. Bu çalışmada PLC kontrollü bir sistemde SCADA üzerinden alınan verilerle bir asenkron motorun kestirimci bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Literatür incelemesinde; üç fazlı asenkron motorların mekanik ve elektriksel arızalarının izlenmesi ve tespiti için değişik yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür [16]. Motor arızalarının belirlenmesinde ve motorların korunmasında aşırı akım röleleri, sıcaklık röleleri, düşük/yüksek gerilim koruma röleleri, frekans koruma rölesi, faz sırası rölesi, faz kontrol rölesi gibi değişik parametreleri kullanan koruma röleleri klasik koruma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu koruma aygıtlarıyla birlikte elektromanyetik anahtarlar, kontaktörler zaman röleleri de geleneksel motor koruma uygulamalarında kullanılmaktadır. Bilgisayar destekli yapılan koruma sistemleri, mekanik parçalardan dolayı arızalara karşı cevap verme süresi daha fazla,

hassasiyeti ve verimi ise düşük olan klasik koruma yöntemleri ile karşılaştırıldığında daha avantajlı görülmektedir. Maliyet açısından düşünüldüğünde, günümüzde klasik yöntemlerin sistemin maliyetini arttırdığı, sayısal sistemlerle yapılan kontrollerin ise maliyeti azalttığı görülmektedir [17]. Asenkron motorlardaki mekanik hataların belirlenmesinde kullanılan yöntemlerle ilgili literatürde çok sayıda bilimsel yayın bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda motorlardan alınan bilgileri değerlendiren, üç fazlı asenkron motorların arıza tespitini PC yardımıyla yapmayı hedefleyen benzetim çalışmaları yapıldığı görülmüştür. Benzer bir çalışmada asenkron motor arızalara karşı bilgisayar kullanılarak gerçek zamanlı izlemesi yapılmıştır [16]. Bu çalışmada ise izlemeye alınan asenkron motora ait veriler otomasyon sisteminde kullanılan PLC ve SCADA sistemi üzerinden alındıktan sonra akım tabanlı kestirimci bakım uygulaması yapılmıştır.

Kardemir A.Ş. bünyesinde değişik birimlerde farklı sistemler kullanılarak uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Uygulama için, akımı etkileyen yük ve devir değişimi gibi durumların olmadığı, sabit devirde ve sabit yükte çalışan motorlar tercih edildi. Bu özellikteki motorlardan alınan akım ölçüm verilerindeki değişimin, sürtünme, yalıtım hatası, siper kısa devresi gibi arıza durumlarının önceden tespitinde kullanılabilmesi düşünüldükçe fan motorları üzerinde çalışılma yapıldı. İlk olarak OPG fan motorlarında seygar ölçüm cihazından alınan ölçüm verileri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada akımın motor performansını belirlemede etkili bir yöntem olarak kullanılabilmesi sonucuna varıldı. Bu çalışmanın akabinde PLC destekli kontrol sistemi ile çalıştırılan ve izlenen Sinter fan motoru uygun bir yapı oluşturduğundan, bu sistem üzerinde iki uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu motor üzerinde yapılan ilk çalışmada yapay sinir ağı kullanılarak motor sağlığının belirlenebileceği sonucuna varılmıştır. Motor performansının belirlenmesi ve kestirimci bakım uygulaması yapabilmek için uygun parametrelerin belirlenmesinde yapay sinir ağı kullanılarak yapılan ikinci çalışmada akımı etkileyen en önemli beş giriş parametresi belirlenmiş ve bu ölçüm kayıtları kullanılarak motorun çalışma durumu ile ilgili olarak analiz yapılmıştır.

Bu çalışmada prosesin sağlıklı işlemesi ve üretimin sürekliliği açısından işletme şartlarında en uygun yöntem olan kestirimci bakım uygulamasını titreşim analizine

alternatif olarak akım tabanlı olarak yapma yöntemi tercih edilmiştir. Titreşim ölçmede kullanılan seyyar ölçüm cihazlarının ve titreşim sensörlerinin maliyetleri göz önüne alındığında tercih edilen yöntem daha ekonomiktir. Ayrıca bu uygulamada bakım için fazladan bir PLC kullanmaya gerek kalmadan, mevcut sisteme analog giriş-çıkış modülleri ilave edilerek bakım sisteminin işletilmesi mümkün olmaktadır.

BÖLÜM 2

ENDÜSTRİYEL BAKIM YÖNTEMLERİ

Endüstride kullanılan makineler çalışmalarını sürekli ve istenilen performansı gösterecek şekilde gerçekleştirmek zorundadır. Üretim hattında en basit bir makinede meydana gelebilecek çok küçük bir arıza bile bütün sistemin durmasına yol açabilir. Beklenmedik arızaların, umulmadık zamanlarda meydana gelmesini önlemek için bakım sisteminin çok iyi organize edilmesi ve işletilmesi gerekmektedir. Sürekli üretim yapan işletmelerde bakım, makinelerin sağlıklı çalışması ve iş akışının aksamaması için yapılması gereken en önemli faaliyetlerden biridir [18]. Herhangi bir endüstriyel teşebbüste daima bir bakım fonksiyonu vardır. Bazı hallerde bakım işlerini yürütmek üzere belirlenmiş ayrı bir bölüm olmayabilir. Fakat üretim sağlanabilmesi için mutlaka bir bakım fonksiyonu işletmede bulunmalıdır [19]. Makinelerin, endüstride üretimin sürecinin her alanında aktif olarak kullanılması, bakım faaliyetlerini zorunlu hale getirmiştir. Bu faaliyet, sistemlerin fonksiyonlarını en iyi performansla sürdürmeleri için işletmedeki bütün bölümlerin birlikte gerçekleştirdiği sistemli bir harekettir [20,21].

Her sanayi dalı çalışma şartlarına bağlı olarak değişik bakım yöntemlerini kullanmaktadır. Yöntemin belirlenmesinde önemli olan, bakım masraflarının en az seviyede tutulması ve üretimi veya yapılan işi aksatmayacak bir bakımın uygulanmasıdır.

Bakım yönteminin doğru seçilmesi ve gerektiği gibi uygulanması iş güvenliğini arttırarak işçi sağlığını koruduğu gibi işletmenin piyasadaki rekabet gücünü de arttırır.

İşletmenin faaliyet alanına bağlı olarak, bakım masrafları üretim maliyetinin %15'i ile %40'ı arasında değişebilmektedir. Gıda endüstrisinde bu oran %15 civarında iken, demir-çelik endüstrisi gibi ağır sanayi kollarında %40'a kadar varan oranlarda bakım maliyetleri oluşmaktadır. Bakım yönetimi üzerine yapılan araştırmalar, bakım masraflarının 1/3'ünün gereksiz ve zamansız yapılan bakım işlemlerinden dolayı işletmeye fayda sağlamadığını göstermiştir [18]. Bu nedenle bakım stratejisi belirlenirken, işletmenin şartlarına uygun bakım yönteminin seçilmesi çok önemlidir.

Bakım faaliyeti yapılmasının işletme açısından faydaları şu şekilde sıralanabilir:

1. İşletme donanımının üretime veya hizmete hazır şekilde tutulmasını sağlar,
2. Makine, tesis ve teçhizatın faydalı ömrünü uzatır,
3. Makinelerin yıpranmasını en düşük düzeye indirerek, değerini korumasını sağlar,
4. Üretimin kalitesini korur ve kaliteyi arttırmaya destek olur,
5. Acil durumlarda kullanılacak ekipmanın çalışır halde olmasını sağlar,
6. Sağlıklı çalışan makineler, çalışanlara güven verir ve performanslarını artırır,
7. İşletmenin rekabet gücünü artırır, piyasada iyi bir imaj kazandırır.
8. Ekipmanların plansız duruş sürelerini minimize eder [7,10].

Bakım yöntemleri planlı ve plansız bakım olmak üzere iki ana grupta toplanabilir.

2.1. PLANSIZ BAKIM

Eski ve ilkel bir yöntem olan bu faaliyeti bir bakım yöntemi olarak sınıflandırmak, bakım kapsamı içine almak biraz yanlış olmaktadır [3]. Arızalanınca bakım, arıza bakım diye de adlandırılan bu yöntemde makineler arızalanıncaya kadar herhangi bir işlem yapılmaz, ancak arıza oluştuğunda müdahale edilir. Müdahale edildiğinde donanım tamamen devre dışı kalmıştır ya da üretim veya verim olması gereken düzeyin çok altına düşmüştür. Bu aşamada yapılan faaliyeti bakım faaliyetinden ziyade onarım faaliyeti olarak tanımlamak daha doğru olacaktır.

Plansız bakım yönteminde arızanın ne zaman meydana geleceği belli olmadığı gibi ne kadar zarara neden olacağı da kestirilemez. Arızalanan parçanın yol açacağı ikincil, üçüncül hasarlar onarım masraflarını çok fazla arttırabilir. Örneğin otomobillerdeki triger kayışının zamanı geldiğinde değiştirilmemesi sonucunda oluşan arızanın onarım masrafı, triger kayışı değiştirme maliyetinin 3-5 katını bulabilmektedir. Ayrıca arızanın nedeni belli olmadığı için onarım süresinin büyük kısmı arızanın tespit edilmesi için harcanır. Onarım süresinin uzaması üretim kaybına neden olur ki bu durum işletme açısından en büyük maliyet kalemini teşkil eder. Bozulana kadar bakım yapılmayan ekipmanlar çalışanlar üzerinde çok fazla stres oluşturur, iş verimlerinin düşmesine neden olur. Oluruna bırakılan bir sistemde oluşabilecek büyük arızalar proseste değişiklikler meydana getireceğinden ürün kalitesini bozabilir ve ürün maliyetini de arttırabilir.

Bu bakım yönteminin uygulaması günümüzde asgariye indirilmiştir, ancak bozulan elemanın değiştirme maliyeti bakım masraflarından daha pahalı değilse ve bozulma daha başka arızalara neden olmayacaksa uygulanabilecek bir yöntemdir.

2.2. PLANLI BAKIM

Aniden oluşabilecek arızaların meydana getireceği masraflar işletmeleri planlı bakım yöntemlerini uygulamaya zorlamaktadır. Planlı bakım yöntemleri: Koruyucu bakım ve kestirimci bakım olarak sınıflandırılabilir.

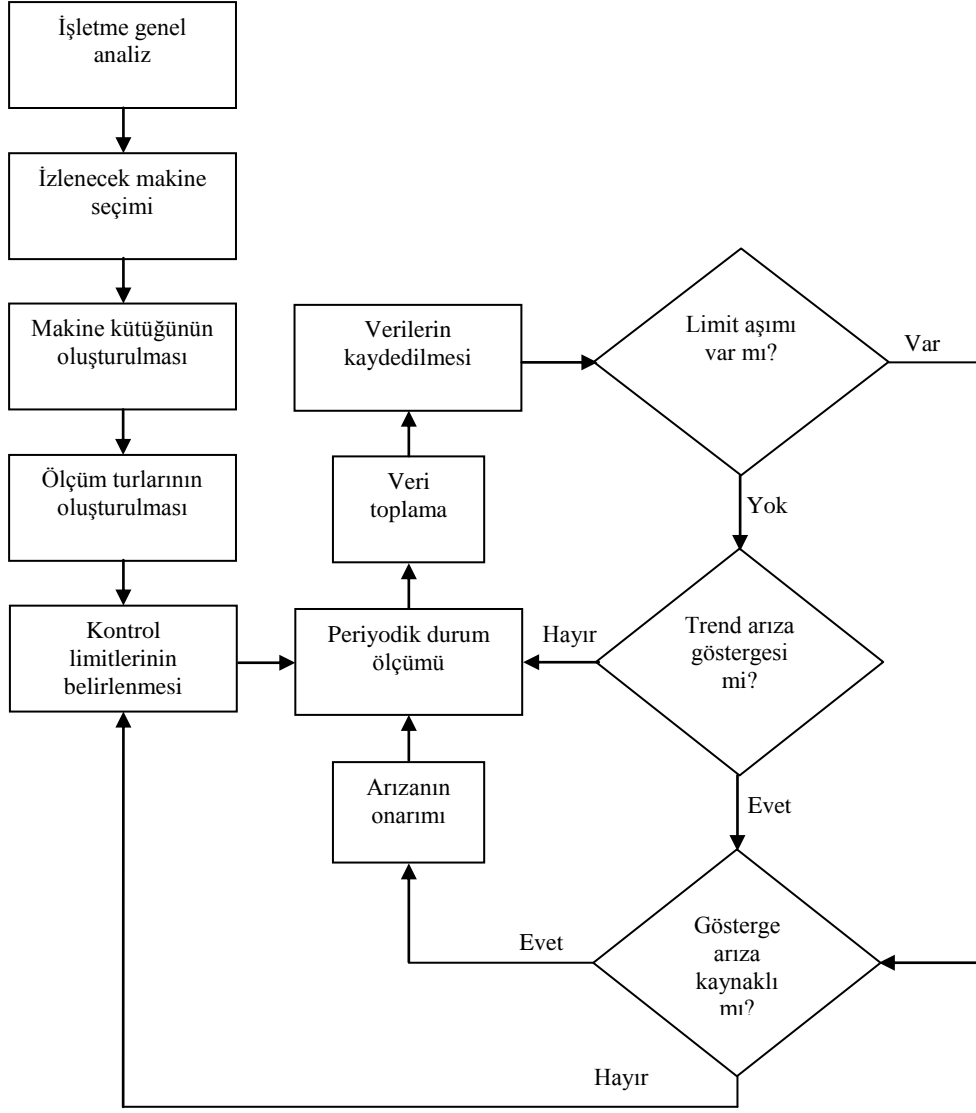
2.2.1. Koruyucu Bakım

Belli aralıklarla yapılan bakım faaliyetidir. Ekipmanın arıza-ömür karakteristiğine göre belirlenen aralıklarla, arıza oluşmasına bakılmaksızın makine donanımı gözden geçirilir. Arıza meydana gelmeden makinelerin durumunun iyileştirilmesi, sistemin güvenilirliğini artırır [6]. Ancak bakım sırasında ömrünü tamamlamamış parçaların da değiştirilmesi ve bakım sırasında düzgün işleyen aksenel ayar, balans gibi ayarların bozulma olasılığı bu sistemin olumsuz yanlarındandır. SKF rulman firması tarafından yapılan araştırmalar sonucunda rulmanlar % 95 oranında çalışma ömrü dolmadan değiştirilmektedir, çalışma ömrünü doldurmamış parçaların değiştirilmesi

ise yedek parça maliyetlerini arttırmaktadır [3]. Ayrıca bakım aralıklarının belirlenmesi de başka bir sorundur. Çok sık yapılan bakımlar arıza oluşma riskini azaltırken, bakım maliyetlerini arttırdığı için tercih edilmemektedir. Bakım aralıklarının uzatılması bakım maliyetini azaltabilir fakat bu durum beklenmedik arızaların ortaya çıkmasına neden olabilir. Sürekli çalışma zorunluluğu olan sistemlerde haftalık, aylık ya da yıllık periyotlarla bakım yapılabildiği gibi ekipman için imalatçı firma tarafından belirlenen çalışma ömrü sonunda bakım yapmak mümkündür. Makinenin bakım için duruş zamanı plansız bakıma göre daha az olsa da üretim kaybı düşünüldüğünde uzun bir süredir.

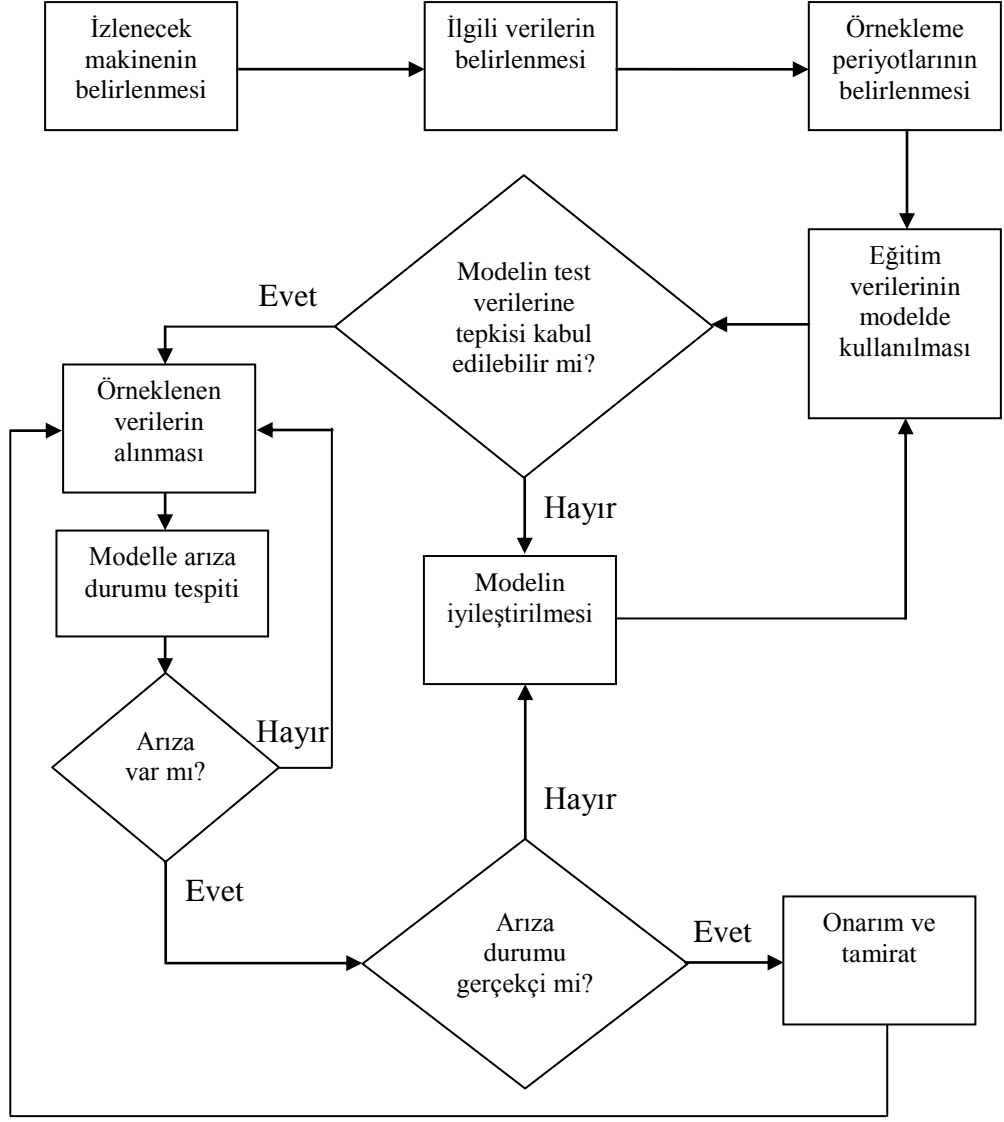
2.2.2. Kestirimci Bakım

Bakımın tarihçesi, 1950'li yıllarda "Arıza Bakımı" kavramı ile başlayıp, sonraki yıllarda koruyucu bakım, verimli bakım yaklaşımları ile devam etmiştir [6]. Kestirimci bakım uygulanmasında takip edilen klasik yöntem Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Kestirimci bakım uygulanmasında takip edilecek akış şeması.

Kestirimci bakım yönteminin uygulanmasında değişik parametrelerin makine çalışırken ölçülmesi ve üretimin aksatılmaması esastır. Bu çalışmada kestirimci bakımda kullanılan klasik yöntem alternatif olarak veriye dayalı bir model oluşturulmuş ve Şekil 2.2'deki akış şeması elde edilmiştir. Kullanılan modelde anlık durum tespiti yapılabildiği gibi geriye dönük olarak durumun kontrol edilmesi ve karşılaştırma yapılması da mümkündür. Ayrıca motorla ilgili yapılan analizler üretici firma tarafından ar-ge çalışmalarında kullanılabilir. Bunun sonucu olarak daha verimli çalışan ve arıza oluşmasına meydan vermeyecek şekilde gerekli düzenlemelerin yapıldığı uzun ömürlü motorların üretilebilmesi mümkün olabilecektir.

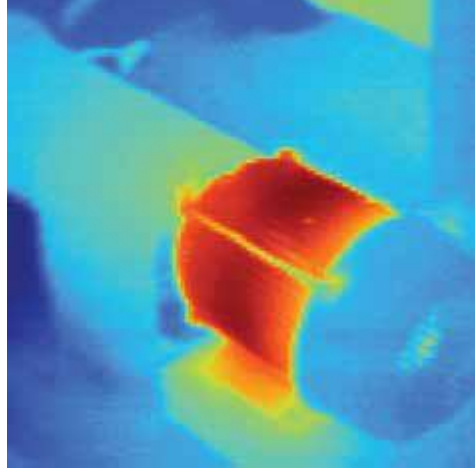


Şekil 2.2. Veriye dayalı kestirimci bakım akış şeması.

2.2.2.1. Kullanılan Yöntemler

Kestirimci bakım ise teknolojik gelişmelerle birlikte farklı parametreleri kullanarak uygulaması titreşim analizi, yağ analizi, termal görüntüleme gibi değişik yöntemlerle yapılan, günümüzde bilgisayar desteğini de kullanan en gelişmiş planlı bakım uygulamasıdır. Bu yöntem, makineler üzerinden, periyodik aralıklar ile alınan, fiziksel parametre ölçümlerinin zaman içindeki eğilimlerini izleyerek, makine sağlığı hakkında geleceğe yönelik bir kestirimde bulunma işlemidir [11]. Bu yöntemde, makine çalışırken belli ölçüm değerleri alınır ve bu değerlerin değişimi istatistiksel

yöntemler ile incelenerek makine sağlığı hakkında bir kanaate varılır. Amaç, arıza oluşmadan önce riski tespit ederek gereken önlemlerin alınmasıdır [1,18].



Şekil 2.3. Termal kamera ile arızalı motorun görüntüsü.

İnsanlar hastalanmadan önce vücuttaki erken uyarı sistemi harekete geçerek ağrı, ateş, gözlerde kızarma gibi etkilerle hastalığın geldiğini önceden haber verir. Tıpkı vücudumuz gibi makinelerde arızalanmadan önce titreşim, ısınma, gürültü, akım artışı gibi etkiler oluşturarak arızayı önceden haber verirler. Kestirimci bakım yönteminde, arıza olasılığı hakkında bir kestirimde bulunmadan önce makine ile ilgili bazı ölçümler yapılır. Makinenin çalışma durumuna göre titreşim, gürültü, sıcaklık, akım-gerilim ölçümü yapılarak makine sağlığının durumunu belirlenmeye çalışılır [7].

2.2.2.2. Uygulama Alanları

Kestirimci bakım yapılacak makinenin çalışma durumuna göre, makine performansını belirlemede önemli olan parametrelerle ilgili ölçümler yapılarak uygulama gerçekleştirilir. Çizelge 2.1'de değişik makinelerle ilgili kestirimde bulunulabilmek için hangi ölçümler yapılabileceği gösterilmiştir.

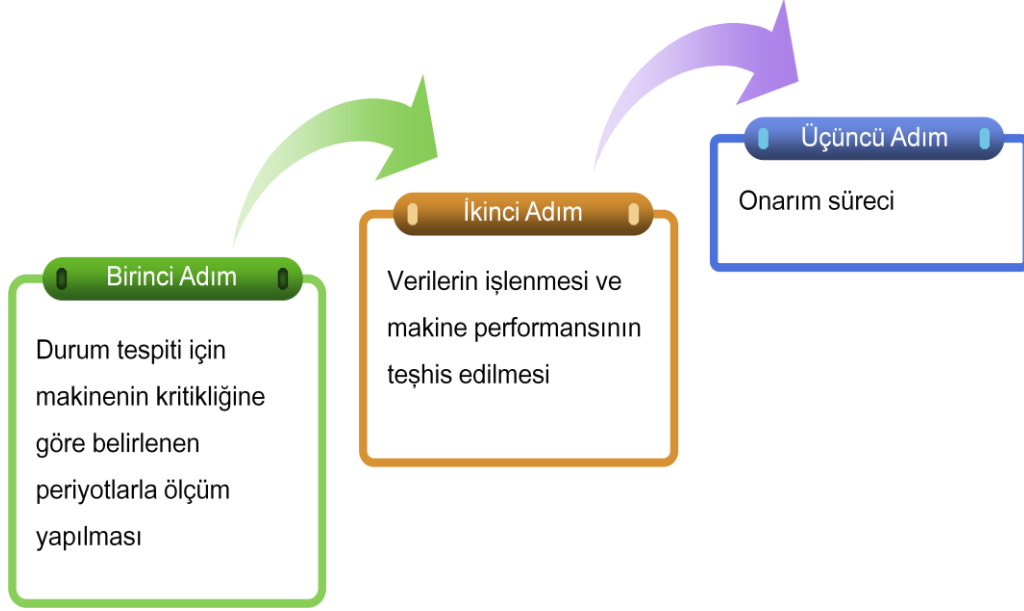
Çizelge 2.1. Değişik makine ve ekipmanlara uygulanabilecek bakım yöntemleri [22].

Makine ve ekipmanlar	İzlenecek ölçüm parametreleri																		
	Titreşim takibi	Dengeleme kontrolü	Hızalama kontrolü	Termal görüntüleme	Ultrasonik testler	Yağlama analizi	Güç faktörü ölçümü	Çözülmiş gaz analizi	Yalıtkan yağ testleri	Batarya empedans testi	Yalıtım direnci	Manyetik akı analizleri	Bağlantı direnç testi	Ayrıncı zamanlama testleri	Yüksek gerilim testi	Gerilim oranı testi	Kısmi deşarj analizi	Gözle inceleme	Termodinamik testler
Bataryalar				✓					✓									✓	
Boilerler				✓	✓														✓
Şalterler				✓	✓		✓	✓			✓		✓	✓				✓	
Kablolar					✓		✓				✓				✓		✓		
Kompresörler	✓	✓	✓	✓		✓												✓	✓
Kondanserler				✓	✓													✓	✓
Kreyinler	✓	✓	✓	✓		✓												✓	
Elektrik sistemler				✓	✓						✓	✓						✓	
Fanlar	✓	✓	✓			✓												✓	✓
Borular				✓	✓													✓	✓
Dişli kutuları	✓	✓	✓			✓												✓	
Eşanjörler				✓	✓													✓	✓
Havalandırma kanalları				✓	✓													✓	✓
Motorlar	✓	✓	✓	✓		✓	✓				✓	✓	✓		✓		✓	✓	
Pompalar	✓	✓	✓	✓	✓	✓												✓	✓
Çatı duvar ve izolasyonları				✓														✓	
Transformatörler				✓	✓		✓	✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	
Vanalar				✓	✓													✓	✓
Kontaktörler										✓			✓					✓	

Dönen parçası olan makinelerde daha sağlıklı kestirim yapmaya imkân veren ve başarıyla uygulanan yöntem titreşim ölçümüdür [12,23]. Hareketli parçası olan ve dönen her makinede titreşimler meydana gelir. Aşınmış veya belirlenen parametrelere göre çalışmayan ekipmanların titreşimleri kabul edilebilir seviyelerin üstüne çıkar ve ilerleyen zamanlarda arızanın durumuna bağlı olarak bir artış gösterir [9,24]. Bu artış analiz edilerek makinenin durumu hakkında kestirim yapılır.

2.2.2.3. Uygulamanın Aşamaları

Kestirimci bakım metodunun uygulaması üç adımda gerçekleştirilir [1].



Şekil 2.4. Kestirimci bakım uygulama aşamaları [1].

1. Birinci adım, durum tespiti için ölçümlerin yapılmasıdır. Duruma dayalı olarak bakım yapılacak olan makine belirlendikten sonra, makinenin kritikliğine göre belirlenen periyotlarla ölçüm yapılır. Bu çalışmada ölçümü belli periyotlarla, pahalı ölçüm cihazları ile yapmak yerine, otomasyon için kullanılan saha ekipmanlarından ve SCADA sisteminden faydalanılmıştır. Kestirim yapmak için kullanılacak elektriksel veriler fabrikada mevcut olan PLC ve SCADA üzerinden alınmıştır.
2. İkinci adım alınan verilerin analiz ve teşhis edilmesidir. Bu adımda veriler bir analiz programı ile fabrikada bakım departmanı tarafından yorumlanabildiği gibi hizmet alımı yapılarak analiz yapan firmalardan da faydalanılabilir. Ancak bu durumda analiz yapılması için geçen sürede arıza oluşması ve müdahalede geç kalınması gibi durumlar söz konusu olabilir. En uygun olan bakım departmanının kestirimci bakım konusunda bilgilendirilmesi ve analiz yapacak duruma getirilmesidir. Makineler üzerinde kullanılan sensörlerden alınan sinyalin limitlerin üzerinde olması durumunda, makinenin devreden

çıkarılması da makine sağlığının korunması açısından etkili bir yontemdir. Ancak bu durumda makinenin durmasının işleyen bir sistemde problem oluşturabileceği unutulmamalıdır.

3. Üçüncü adım ise arıza ihtimaline karşı tedbir alınmasıdır. Bu işlem gerekiyorsa ilk planlı duruşta problemlili kısıma müdahale edilmesi şeklinde olabilir ya da tespit edilen arızanın giderilmesi, yani tamirat işlemidir. Arızanın arkasından değil, önünden gitmek gibi bir fonksiyonu olan bu bakım anlayışında tamirat gerektirecek büyük arızaların önceden belirlenerek başlangıç aşamasında müdahale edilmesi mümkündür. Erken müdahale oluşabilecek ikincil ve üçüncül arızaları önlediği gibi onarım işleminin de hızlı bir şekilde tamamlanmasını sağlar. Çünkü arıza nedeniyle duruşlarda en fazla zamanı arıza yerini belirleme işlemi almaktadır.

2.2.2.4. Ölçümlerin Yorumlanması

Sahadan alınan ölçüm değerlerini yorumlayabilmek ve makine sağlığı hakkında karar verebilmek için genel olarak üç yöntem kullanılmaktadır [4,13].

1. Standartlar ile karşılaştırma: ISO–10816, ISO–7919, ISO–2954 ve VDI–2056 titreşim şiddeti değerlendirme standartlarındaki sağlıklı çalışma limit değerleri ile karşılaştırma yapılır. Bu karşılaştırma sonucunda sistemin durumun çok iyi, iyi, dikkat veya kabul edilemez olduğu sonuçlarından birisine varılır.
2. Önceki alınan değerler ile karşılaştırma yöntemi: En son alınan ölçüm değerleri, daha önceden alınmış değerlerle karşılaştırılır. Alınan ölçümlerden elde edilen genlik-frekans, genlik-zaman gibi grafikler bir şekil üzerinde görünlüenerek oluşan farklılıklar hemen görülebilir. Geriye dönük olarak tutulan kayıtlar sistemin çalışma geçmişi ve ölçüm kayıtlarının değişim analizinin yapılmasına da imkân verir. Kayıtlar üzerinde yapılan analizler aynı makinenin yeni modellerinin üretiminde geliştirmeler ve faydalı ömrünün uzatılması için yapılacaklar hakkında üreticilere yol gösterir. Veriye dayalı olarak yapılan bu çalışmada geçmiş veriler yapay sinir ağı ile analiz edilerek kestirimci bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir.

3. Benzer yapıdaki makinelerle veya prototiple karşılaştırma: Aynı yapıda ve benzer özelliklere sahip diğer makinelerden veya prototiplerden elde edilen yâda üretici firmadan sağlanan değerlerle karşılaştırma yapılabilir. Bu yöntemi uygulayabilmek için aynı tip ve özellikte makine bulunması zordur. Aynı makine bulunsa bile çalışma şartlarının tıpatıp aynı olması mümkün olmayabilir.

Kestirimci bakımla ilgili olarak kullanılan yazılımdan faydalanarak ölçümlerin eğilimleri hesaplanıp muhtemel arıza zamanı kestirilebilir. Yöntemin en üstün yanlarından biri de bu özelliği, yani arızanın arkasından değil önünden gidebilmesidir.

Bu çalışmada fan motoruna ait akım değerleri SCADA veri tabanından alınarak daha önceki ölçümlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Kestirimci bakım yapılacak makine çalışmaya başladığı günden itibaren takip edilerek, test aşamasında alınan sağlıklı çalışma durumundaki kayıtlar göz önüne alınarak bakım stratejisinin belirlenmesi daha sağlıklı sonuçlar verebilir.

Çizelge 2.2. ISO–10816 Titreşim değerlendirme tablosu [13].

TİTREŞİM ŞİDDETİ DEĞERLENDİRME TABLOSU ISO 10816						
Titreşim Hızı V_{rms}	Makina		Sınıf I Küçük Makinalar	Sınıf II Orta Makinalar	Sınıf III Büyük Makinalar	Sınıf IV Büyük Makinalar
	In/s	mm/s				
0.01	0.28					
0.02	0.45					
0.03	0.71					
0.04	1.12					
0.07	1.80					
0.11	2.80					
0.18	4.50					
0.28	7.10					
0.44	11.2					
0.70	18.0					
0.71	28.0					
1.10	45.0					

■ Çok İyi: Makine sağlığında bir problem yok, ölçümler planlanan şekilde devam eder.

■ İyi: Erken uyarı limiti aşıldığı için kontrollerin sıklaştırılması gerekir.

■ Dikkat: Arıza uyarısı vardır, makinenin çalışması durdurulmaz ancak ilk planlı duruşta müdahale etmek gerekir.

■ Kabul Edilemez: Belirlenen limit aşıldığı için acil olarak makine durdurulur ve tamirat işlemi yapılır.

2.2.3. Kestirimci Bakımın Faydaları

Kestirimci bakımın faydaları ve diğer bakım yöntemlerine göre üstünlükleri şu şekilde özetlenebilir:

1. Bakım ve tamir için müdahaleler azaldığı için makinelerin çalışma süreleri artar ve tamir giderleri azaltılmış olur. Tamir duruş yapıldığında arızanın tespiti için zaman harcanmaz. Arıza ve sebebi önceden belli olduğundan gerekli malzeme temini duruştan önce yapılır, tamir süresi belirlenen parçanın değiştirme süresi kadar olur.
2. Arıza riskinin kontrol altına alınması yedek ekipman sayısını azaltarak stok maliyetlerini en aza indirir.
3. İşçiler daha güvenli şartlarda çalışır, ortam güvenliğinin sağlanması çalışanların daha verimli olmasını sağlar.
4. Proseslerin sağlıklı işlemesi, üretim programında duruma göre değişiklik yapılmasına, üretim miktarı ve kalitesinin kontrol edilebilmesine imkân verir.
5. İşletme şartlarında çalışan makineden alınan veriler makineyi üreten firma için ar-ge çalışmasına yön verecek pratik bilgiler içerir. Makinelerin yeni modellerinin dizayn edilmesinde bu veriler kullanılarak işletme şartlarında daha sağlıklı çalışan, verimli makineler yapılabilir [10].

Kestirimci bakımdan istenilen verimi alabilmek için iyi bir organizasyon yapılmalı ve umulan faydaların birkaç yıl sonra alınacağı unutulmamalıdır. Bu bakım yönteminin hayat geçirilmesinde en önemli faktörlerden birinin de uygulamayı yapacak olan personel olduğu göz önüne alınarak, gerekli eğitimlerin verilmesi ve yapılan işin önemini kavratılması gerekmektedir [20,24].

2.2.4. Bakım Stratejilerinin Karşılaştırılması

Bakım yöntemleri genel olarak karşılaştırıldığında; kestirimci bakım kurulum, maliyet, onarım süresinin kısalığı ve en önemlisi de üretimin sürekliliğini sağlaması açısından diğer bakım yöntemlerinden daha avantajlıdır. Çizelge 2.3'te bakım stratejilerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 2.3. Bakım stratejilerinin karşılaştırılması.

	Plansız Bakım	Periyodik Bakım	Kestirimci Bakım
Kurulum maliyeti	Yok	Değiştirilecek parça sayısı ve bakım materyaller ile yedek parça	İlk kurulumda sensörler ve ölçüm cihazları ve yazılım ücreti
Üretimin sürekliliği	Belirsizdir. Aniden oluşacak arızaların meydana getirdiği ikincil ve üçüncül hasarlar duruş süresini uzatabilir.	Belirlenen periyotlara göre planlı duruşlarda üretim durur. Bakım periyotlarının uygun aralıklarda belirlenmesi önemlidir.	Gerekli ölçümler çalışma sırasında makine üzerinden alındığından, arıza limitleri aşılmadığı sürece duruş olmaz.
Bakım maliyeti	Belirsizdir. Arızanın durumuna göre parça maliyetinin çok üstünde de olabilir.	Standart ve belirli bir maliyet vardır. Üretim maliyetinin %15-40'ı arasında değişir. Düzgün çalışan makinelerin ayarlarını bozulması ve ömrünü tamamlamamış parçaların da değiştirilmesi ayrı bir masraf getirir.	Yedek parça bulundurma zorunluluğu yoktur ve maliyet arıza oluşmadan belirlenebilir.
Yedek parça bulundurma zorunluluğu	Hangi kısımda ne zaman arıza meydana geleceği bilinmediği için her kritik parça için yedek bulundurulmalıdır.	Periyodik olarak parça değişimi gerektiği için maliyet fazladır.	Arızanın önünden gidildiği için fazla yedek parça bulundurmaya gerek yoktur.
Arıza onarım süresi	Belirsizdir. Rıza yerinin belirlenmesi çok uzun zaman alır.	Arıza yeri ve nedeni önceden bilinmediği için uzun sürer.	Arıza yeri ve nedeni önceden belirlenebildiği için onarım süresi kısadır.

BÖLÜM 3

PLC VE OTOMASYON SİSTEMİ

Bu çalışmada otomasyon sisteminin alt yapısı kullanılmıştır. Kestirimci bakımda kullanılacak SCADA veri tabanındaki verilerin ölçümü otomasyonda kullanılan mevcut PLC (Programlanabilir Lojik Kontrol) cihazı aracılığıyla yapılmıştır.

3.1. YAPISI VE FONKSİYONLARI

PLC, lojik, sıralama, sayma, veri işleme, karşılaştırma ve aritmetik işlemler gibi fonksiyonları programlama desteğiyle girişleri değerlendirip çıkışları atayan, bellek, giriş/çıkış, CPU ve programlayıcı gibi bölümlerinden oluşan entegre bir cihazdır [25]. Otomasyon devrelerinde yardımcı röle, zaman rölesi, sayıcı gibi kumanda elemanlarının yerine kullanılan mikroişlemci temelli bir yapıya sahiptir. Bu cihazlarla zamanlama, sayma, sıralama ve her türlü kombinasyonel ve ardışık lojik-analog işlemler yazılımla gerçekleştirilir. Sahadan alınan veriler, yazılımda gerekli değişiklikler yapılarak online izleme ve kestirimci bakım için kullanılabilir. Bakım için ayrıca bir PLC kullanmak gerekmez, mevcut PLC'ye giriş modülleri ilave edilerek donanımın daha az masrafla bakım amaçlı kullanıma uygun hale getirilmesi mümkündür.

PLC'lerin kullanıldığı yerler ve kullanım amaçları farklı olsa da yapı bakımından benzerlikler gösterirler. Yapılarında güç kaynağı, merkezi işlem ünitesi (CPU), bellek, giriş birimi (Input), çıkış birimi (Output) bulunmaktadır.

3.2. ÇALIŞMASI

Bir PLC çalışma (RUN) durumuna getirildiğinde sırayla aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir.

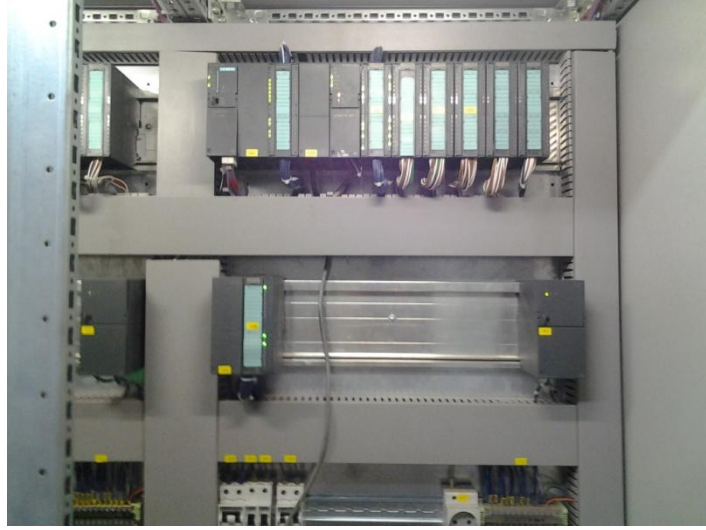
1. Giriş birimindeki değerler giriş görüntü belleğine alınır ve saklanır. Bu değerler bir sonraki çevrime kadar değişmez.
2. Yazılan programa göre komutlar sırayla işlenir. Ancak giriş değerleri için giriş görüntü belleğinden okudukları andaki değerler geçerlidir ve bu değerler bir program çevrimi süresince değişmez.
3. Kullanıcı programının yürütülmesi tamamlandıktan sonra hesaplanan değerler, çıkış görüntü belleğine yazılır ve çıkış birimine gönderilir. Çıkış birimine aktarma işlemi tamamlandıktan sonra tekrar birinci adıma dönülür. Çıkış görüntü belleği ve çıkış birimindeki değerler bir sonraki çevrime kadar değişmez [14].

PLC program belleğine yüklenmiş bir kullanıcı programının yürütülmesi birinci satırdan başlanarak son program satırına kadar bütün komutların sırayla taranarak işlenmesiyle tamamlanır. Tarama işlemi son satıra geldiğinde tekrar birinci satıra dönülür. Bu çalışma şekli sonsuz çevrime girmiş bir program parçası gibi işlev görür. Çalışma sırasında komutların işlenme sırası atlama, döngü, altprogram çağırma gibi komutlar kullanıldığında ya da kesmeli çalışma gibi durumlarda değişebilir. Döngü olarak ifade edilen her tarama çevriminin belirli bir sürede tamamlanması gereklidir. Tarama işleminin belirli bir sürede tamamlanmaması durumunda PLC STOP durumuna geçer ve çalışmasını durdurur. Taramanın tamamlanması için belirlenen süre genellikle 300-1000 ms arasında değişir ve sürenin takibi bir gözetleme zamanlayıcısı ile yapılır. PLC’lerde bir çevrimin tamamlanması için geçen süreye tarama zamanı (döngü) denir. PLC nin tarama zamanı kullanılan kontak sayısı, giriş-çıkış sayısı, programın içeriği-uzunluğu ve işlemcinin çalışma frekansına bağlı olarak değişir.

3.3. KULLANILAN PLC’NİN ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmanın konusu olan motorun kumanda ve kontrolü için Siemens firmasının simatic serisi S7-300 CPU 313C-2 DP PLC kullanılmıştır. Siemens dünyada ve Türkiye’de PLC üreten ve otomasyon sistemleri piyasasında başlıca firmalarından biridir. Firmanın S7-200 modeli daha çok küçük işletmelerde temel ve basit işlemler yapılması için, S7-400 modeli ise büyük işletmelerde, çok fazla giriş-çıkış bulunan

ve karmaşık işlemlerin yapıldığı daha üst düzeydeki sistemleri yönetmek gibi amaçlarla kullanılır. Siemens firması 2010 yılından itibaren S7-200 serisinin bir üst modeli olan S7-1200 ve S7-300/400'ün yerine de S7-1300/1400 serisi PLC'lerin üretim ve satışına başlamıştır.



Şekil 3.1. S7-300 PLC ve donanımı.

Uygulama çalışmasında izlemeye alınan motorun kontrol ve kumandasında kullanılan S7-300 PLC Şekil 3.1'de verilmiştir. Donanım olarak CPU 313C-2 DP'ye 24 adet giriş ve 24 adet çıkış modülü ilave edilmiştir. Motor üzerinden alınan yirmi bir adet ölçüm verisinin PLC'ye girişi bu modüller üzerinden yapılmıştır.

BÖLÜM 4

SCADA SİSTEMLERİ

Verilerin toplanmasında donanım olarak kullanılan PLC ile birlikte yönetim için bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bu yazılımla sahanın bir ekrandan görsel olarak izlenmesi hatta müdahale edilmesi mümkündür. Tarihsel gelişim sürecinde SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) ifadesi ilk olarak güç endüstrisinde 1971'de Arcla Energy Resources (AER) tarafından ortaya atılmış bir terimdir. Bu ifade 1973'te PICA (Power Industry Computer Applications) konferansında yayınlanmıştır. AER firması tarafından, Fisher Corporation firmasından alınan DC2 bilgisayarına ilk SCADA sistemi kurulmuştur [14].

4.1. YAPISI

Bilgisayarlar, haberleşme aletleri, algılayıcılar gibi aygıtlardan oluşturulmuş denetlenebilen ve kontrol edilen bir sistem olan SCADA adı Supervisory Control and Data Acquisition kelimelerinin ilk harflerinden oluşturulmuştur. Türkçe'ye "Denetimli Kontrol ve Veri Toplama Sistemi" olarak çevrilebilir. Bu sistemle belli bir cihaza veya tesise uzaktan kontrol uygulayabilmek ve verilen kontrol komutuna göre çalışmasını sağlayabilmek mümkündür [14,26]. Ayrıca davranışının kontrol komutu doğrultusunda olup olmadığının doğrulaması da görsel olarak yapılabilir. Kontrol bölgesi ile kontrol edilen cihaz arasındaki mesafenin telli kontrol kullanmaya elverişli olmadığı veya pratik olmadığı uzaklık sistemin kullanımı için engel teşkil etmez. Bir iletişim kanalı üzerinden, multiplexing tekniği kullanılarak, uzak ve geniş bir coğrafi bölgeye yayılmış bulunan, çok sayıda cihaz ve tesisin sistem operatörü (işletmeci) tarafından, danışma ve kontrolü sağlanabilir.

4.2. KULLANIM ALANLARI

SCADA, PLC ile birlikte kullanılabilen, bilgisayarlar, haberleşme aletleri, algılayıcılar gibi aygıtlardan oluşturulmuş denetlenebilen ve kontrol edilen denetimli kontrol ve veri toplama sistemidir. Bu sistemle belli bir cihaza veya tesise uzaktan kontrol uygulayabilmek ve verilen kontrol komutuna göre çalışmasını sağlayabilmek mümkündür [26,27].



Şekil 4.1. Sinter ünitesi ve SCADA ekranları.

SCADA sistemleri; sistem operatörlerine, merkezi bir kontrol noktasından geniş bir coğrafi alana yayılmış otomasyon sistemindeki vanaları, kesicileri, ayırıcıları, anahtarları uzaktan açıp kapama, ayar noktalarını değiştirme, alarmları görüntüleme, ölçü bilgilerini toplama işlevlerini güvenilir, emniyetli ve ekonomik olarak yerine getirme avantajı sunmaktadır (Şekil 4.1). Kestirimci bakımla ilgili verilerin bu sistemle toplanması ve işlenmesi mümkündür. SCADA ile makineler anlık olarak sürekli izlenir. Diğer bakım yöntemlerindeki portatif veri toplama cihazı ile belirli periyotlarda alınan ölçümlerde gelişebilecek ani arızalar gözden kaçabilir. Bu nedenle kritik makineler için online izlemenin gerekliliği günümüz teknolojisinde kaçınılmazdır. Kestirimci bakım için kullanılan titreşim, ses, ısı ve benzeri ölçüm cihazlarının maliyetlerinin fazla olması bu sistemin olumsuz yanlarından biridir. Ancak mevcut ekipmanlarda ve yazılımda yapılacak düzenlemelerle uygulama yapılması işletmeler açısından bu bakım yönteminin cazip hale gelmesini

sağlayacaktır. Örneğin; sahada çok kullanılan ve arıza olasılığı yüksek olan kontaktörlere, mevcut PLC sistemine dijital giriş modülü ilave ederek kestirimci bakım uygulanabilir. Marka ve çeşidine göre değişmesine rağmen birçok kontaktör yüksüz 8 milyon, yük altında 5 milyon açma-kapama kapasitesine sahiptir. Kontaktör kontaklarının açma-kapama sayısı, sayıcı ile saydırılarak SCADA ekranından takip edilebilir. Katalog değerlerine ulaşıldığında teknisyen izleme ekranından görsel olarak uyarılıp arıza oluşmadan kontak değişiminin gerçekleşmesi sağlanabilir.

SCADA sistemini diğer sistemlerden ayırt eden en temel özellik alarm temelli olmasıdır. Bu özelliği ile SCADA sistemleri, denetlenen sistemin anlık değerlerinin görüntülenmesi ile birlikte, sahada meydana gelen herhangi bir durumu kontrol merkezine tarih ve saati ile birlikte rapor etmesi ve operatörlere gerekli uyarıları iletmek için de kullanılmaktadır.

Arıza ihbar işlemlerini yerine getirebilen bir kontrol sisteminden beklenen özellikler; sahadan, cihazlardan ve çeşitli ölçüm noktalarından elde edilen gerçek zamanlı bilgiler ile arızanın işletmenin hangi bölgesinde olduğunun belirlenmesi, arıza durumunun arıza yerinin önem derecesine göre filtrelenebilmesi ve öncelik sırasının tespit edilmesi, tamirat ile ilgili yapılan işlemlerin operatör tarafından kaydının tutulabilmesi, çalışma ve arıza ihbarlarının kullanıcı ekranında görüntülenebilmesi veya bir yazıcıdan alınabilmesi, arıza ile ilgili tarihsel özetin veri tabanına, bir sabit diske veya sunucuya kaydedilebilmesidir [14].

4.3. SCADA EKРАН TİPLERİ

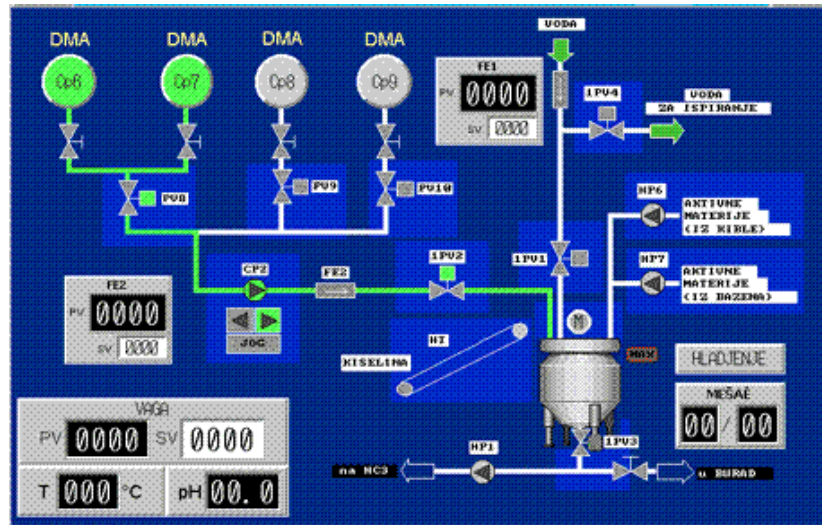
SCADA sistemi insan-makine arasında iletişimi sağlarken, farklı ekran tipleri ile kontrol sisteminin ve işletmenin farklı durum ve hallerini görüntüleme imkânı da verir. Operatör izlenen sürece ait analog değerleri anlık olarak mimik ekranda izleyebilirken aynı zamanda istediğinde bu değerlerden oluşturulan eğriyi de trend ekranından izleyebilmektedir.

Genel görünüm ekranlarında, nesnelar, işletme bölümlerine bağı olarak gruplar halinde, detaya girilmeden genel bir durum olarak görüntülenir (Şekil 4.2). Kontrol edilen sahanın bir kısmının veya tamamının bu ekranda temsil edilmesi mümkündür.



Şekil 4.2. Genel görünüm ekranı.

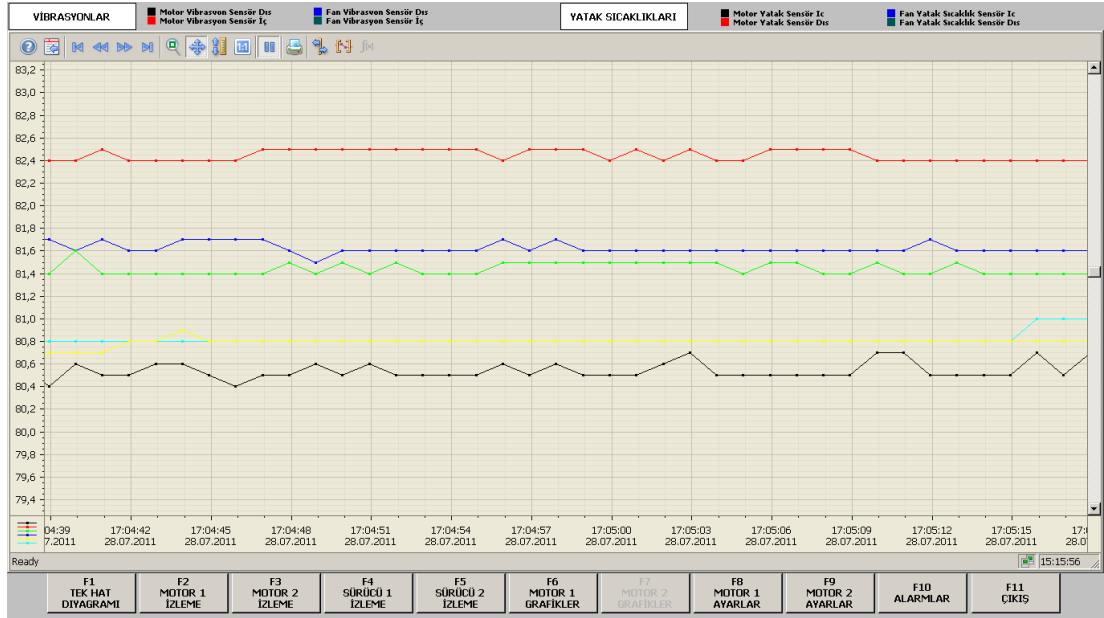
İşletme Ekranları, kontrol sistemleri terminolojisinde "mimik" ekranlar olarak adlandırılır. Bu ekranlar çalışan işletme bölümlerinin durumlarının izlendiği ve ardışık işlemler, ölçüm noktaları ile tanımlanmış belirli uygulamalara yönelik olarak dinamik noktaların (motor, vana, ölçü noktası, vb.) sembolik resimlerle gösterildiği ekranlardır. İşletmedeki bölümler ve dinamik noktalar renk değişiklikleri ile veya hareketlendirerek gösterilmesi de mümkündür. Mimik ekranlarda gösterilen dinamik noktaların ayrıntıları nesne ekranlarında gösterilir. Şekil 4.3'te görülen bu ekranlar valfler, vanalar, ısı sensörleri gibi nesnelar hakkında mevcut olan tüm bilgileri operatöre gösterirler.



Şekil 4.3. İşletme ekranı.

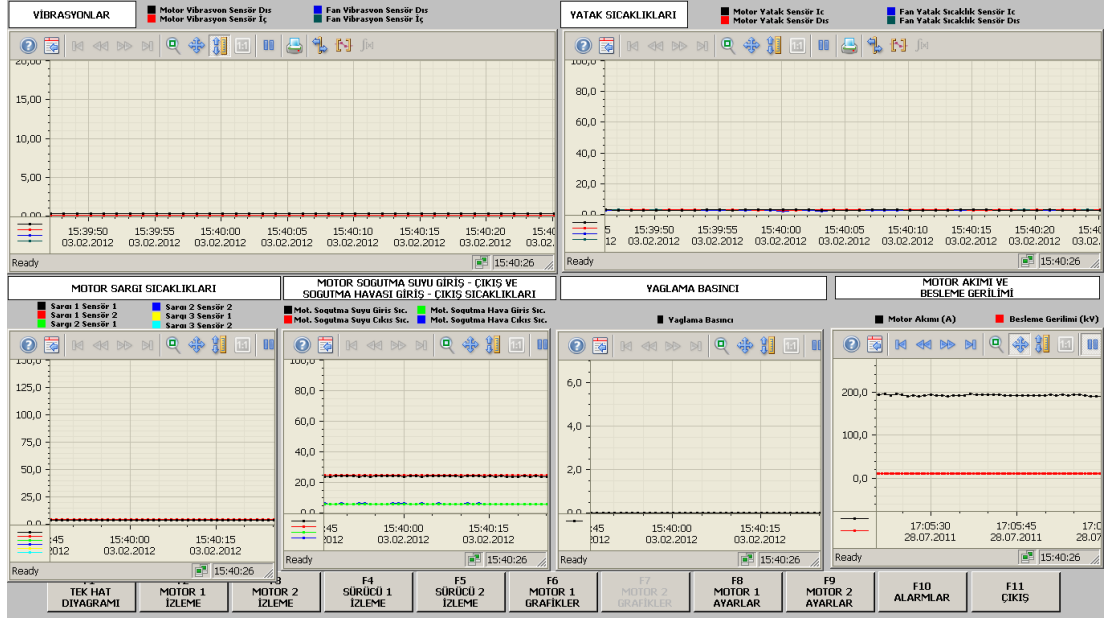
Bazı ekranlar sadece cihaz özelliklerini göstermek için kullanılırken bazıları da parametre girmekte kullanılabilirler. Rapor ekranları işletmeye ait verileri tablolar şeklinde gösterebilen ekranlardır. İşletmenin belirlediği ve işletme açısından önemli olan veriler, belirlenen bir veritabanı formatında sabit diske veya sisteme bağlı bir veri sunucuya (SQL server gibi) kaydedilirler. Kullanıcılar bu verileri istendiğinde veya belirlenen periyotlarla ekrana, yazıcıya veya sabit diske gönderebilir.

Eğri ve trend ekranlarında (Şekil 4.4) her değişken bir kalemle ve her kalem de farklı bir renkle gösterilir.



Şekil 4.4. Eğri ve trend ekranı.

Birden fazla trend ekranı tanımlamak mümkündür. Trend ekranlarını iki moda izlenebilir. Geçmişe yönelik kayıtlı verilerin incelenmesini sağlayan tarihsel moda sabit diskte veya veri sunucusuna kaydedilen miktar kadar geriye gidilebilir (1 dakikadan 1 yıla kadar). Trend ekranında işletmenin anlık değerleri ile birlikte geçmişe dönük bilgiler de bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan sinter fan motoruna ait trend ekranı Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Sinter fan motoruna ait trend ekranı.

Uygulama çalışması yapılan motora ait veriler 1 yıl süreyle tutulmaktadır. Gerçek zamanlı mod verilerin güncel değerlerinin ekranda izlenmesine imkân verir. Ekrandaki alan belirli bir zaman dilimin kapsar (1 dakika veya 120 dakika). Trend verileri sabit diske veya SCADA yerel ağı üzerindeki veri tabanı sunucusuna kaydedilir. Trend verileri, zamana göre; titreşim, sıcaklık, akış bilgisi gibi analog veriler veya motor için çalışma-durma, sınır anahtarının açık-kapalı olma durumu gibi dijital veriler olabilir.

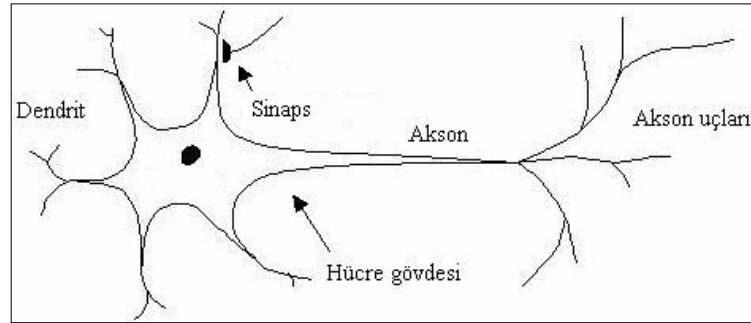
Günümüzde değişik firmaların ürettiği SCADA programları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları LabVIEW, WinCC, ProTool (Siemens), Process Portal A/Operate IT (ABB), Prism (ACS), ESCA (Alstom), CitectSCADA (Citect), iFix 32 (GE Fanuc Automation), Smart Distributed System (Honeywell), MOSCAD (Motorola), Monarch (Open Systems International OSI) gibi programlardır (Koestner, 2007). Bu çalışmada WinCC yazılımı kullanarak yapılan SCADA sistemi kullanılmıştır.

BÖLÜM 5

YAPAY SİNİR AĞLARI (YSA)

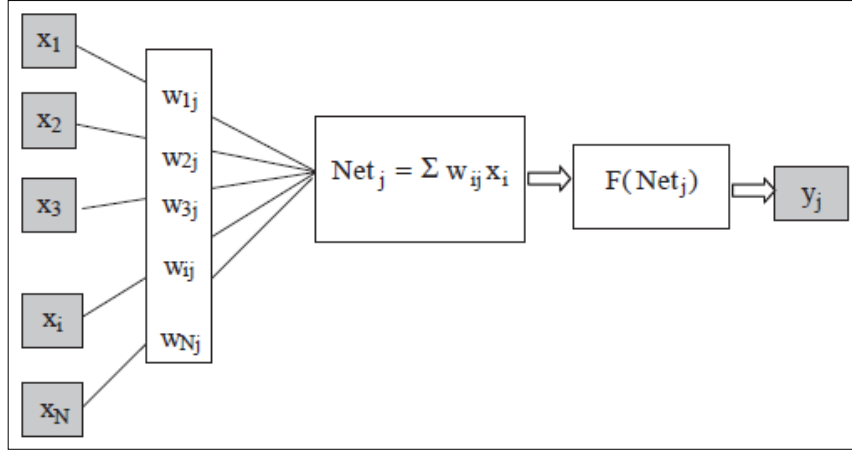
5.1. YAPISI

Yapay sinir ağı, insan beyninin çalışma prensibini temel alan ve beynin gerçekleştirdiği temel işlemlere belirli bir yazılımla ulaşmayı hedefleyen programlama tekniğidir [28]. Biyolojik bir sinir hücresi; temel olarak akson, dendrit ve sinaplardan oluşur. Dendrit olarak adlandırılan yapı kendisine gelen uyarıları alan girişlerdir. Diğer sinir hücrelerine bilgi taşıyan elemanlar aksonlardır. Yani aksonlar sinir hücrelerinin çıkış elemanlarıdır. Aksonla dendrit arasındaki bağlantı sinapslar aracılığıyla sağlanır. Beyin, tüm bu işlemleri elektrokimyasal süreçlerle gerçekleştirir. Şekil 5.1’de biyolojik bir sinir hücresi ve bölümleri gösterilmektedir [29].



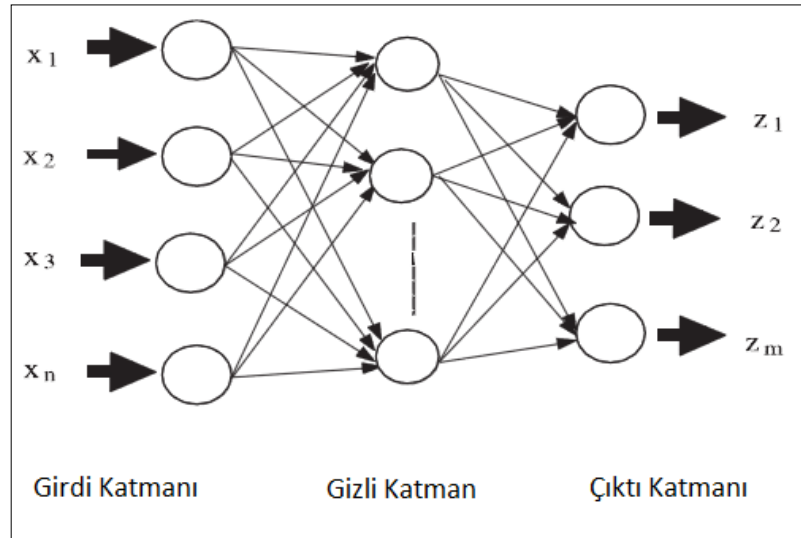
Şekil 5.1. Biyolojik sinir hücresi ve kısımları.

Yapay sinir ağı da bu model baz alınarak tasarlanmıştır. Bir sinir hücresi Şekil 5.2’de gösterildiği gibi, N adet x_i girişinin ağırlıklı w_{ij} toplamını alarak bu toplamı doğrusal olmayan bir $f(.)$ fonksiyondan geçirir ve bir y_j çıktısı üretir [30].



Şekil 5.2. Yapay sinir hücresi.

Yapay sinir ağları, kullanılan hücre modeli, bu hücrelerin ağ yapısında bir arada bağlanma şekli (ağ topolojisi), ağırlıkların ayarlanması için öğrenme kuralının belirlenmesi ve hatırlama ile karakterize edilir [30]. Girdiler ve çıktılar arasında gizli katman(lar) vardır. Her katmanın girdisi, bir aktivasyon fonksiyonuna girerek çıktıyı oluşturur. Seviyeler arasında ağırlıklı toplamlar ile çıktılar bulunur. YSA'nın giriş-gizli-çıkış katmanları Şekil 5.3'te görülmektedir. Her sinir hücresinin bir ağırlık ve yanlılık değerleri vardır. Yapay sinir ağlarındaki bu ağırlıkları bulmak için değişik algoritmalar kullanılır [31].



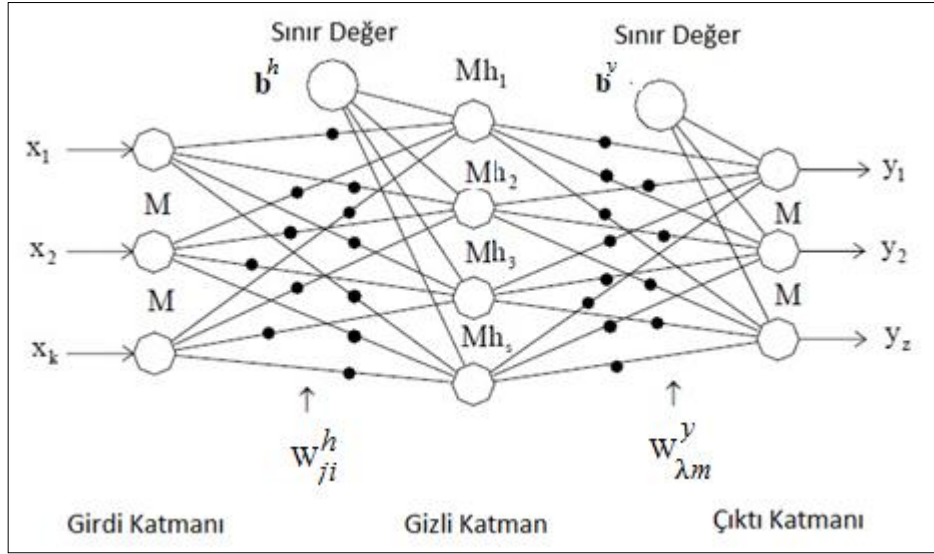
Şekil 5.3. Yapay sinir ağı modeli.

YSA, girdi ve çıktı değişkenleri arasında herhangi bir ön bilgiye ihtiyaç duymadan, herhangi bir varsayımda bulunmadan, doğrusal olmayan (nonlinear) modellemeyi sağlayabilmektedir [32].

5.2. YAPAY SİNİR AĞLARININ EĞİTİLMESİ VE ÖĞRENME

Yapay sinir ağları belirli bir algoritma çerçevesinde programlanmazlar [33]. Dolayısıyla oluşturulan bir YSA'nın istenen davranışı gösterebilmesi için amaca uygun olarak tasarlanması gerekir. Bu tasarım, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerektiği anlamına gelir. YSA'nın karmaşık yapısı nedeniyle bağlantılar ve ağırlıklar en baştan ideal değerlerle tasarlanamaz. Bu nedenle YSA, istenen davranışı gösterecek şekilde, ilgilendiği problemden aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir [34]. Bir başka deyişle, ağ'a, girdi bilgileri ve bu girdilere karşılık gelen hedef değerleri verilerek ağın girdi/çıkıtı arasındaki ilişkiyi öğrenmesi sağlanmakta, böylece ağın eğitimi gerçekleştirilmektedir. Denetimli (öğreticili) öğrenme olarak adlandırılan bu yöntem, genelde tercih edilen yöntemdir [35]. Basitliği ve uygulamadaki görüş açısı gibi başarılarından dolayı ağ eğitimi için en yaygın kullanılan modeli, ileri beslemeli – geri yayılım algoritmasıdır [31,36].

Geri yayılım algoritması, birbirinden bağımsız olarak ilk defa Werbos [37] ve daha sonra Rumelhart tarafından önerilmiştir. 1986 yılında Rumelhart ve arkadaşlarının geri yayılım algoritmasını yeniden keşfetmeleri, algoritmanın tanınmasını ve yaygın kullanılmasını sağlamıştır [38]. Algoritma; hataları geriye doğru (çıkıştan girişe) azaltmaya çalışmasından dolayı "geri yayılım" ismini almıştır. Geri yayımlı öğrenme kuralı, ağ çıkışındaki mevcut hata düzeyine göre her bir tabakadaki ağırlıkları yeniden hesaplamak için kullanılmaktadır. Geri yayımlı bir ağ modelinde giriş, gizli ve çıkış olmak üzere 3 katman bulunmakla birlikte, problemin özelliklerine göre gizli katman sayısını artırabilmek mümkündür [29]. Gizli katmandaki hücre sayısını belirlemede farklı yaklaşımlar ileri sürülse de genel olarak hücre sayısı, deneme-yanılma yoluyla belirlenmektedir. Şekil 5.4'te örneklenen ileri beslemeli denetimli bir sinir ağında, tek ara katman ve bu katmanda s adet sinir hücresi bulunmaktadır [39].



Şekil 5.4. İleri beslemeli denetimli bir yapay sinir ağı [40].

Burada, yapay sinir ağının girdi vektörü $x=(x_1, x_2, x_k)$, kullanılarak elde edilen ara katman çıktı vektörü $h=(h_1, h_2, h_3, h_s)$ çıktı katmanında işlendikten sonra çıktı vektörüne $y=(y_1, y_2, y_z)$ dönüştürülür ve göz önüne alınan tüm girdi vektörleri $X=[x(1), \dots, x(N)]$ için çıktı vektörleri $Y=[y(1), \dots, y(N)]$, N: girdi ve çıktı vektörlerinin sayısı olmak üzere aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Y = \varphi(W^y [\psi(W^h X + b^h)] + b^y) \quad (5.1)$$

Denklem (1)'de $\varphi(\cdot)$: çıktı katmanına ait hücreler için aktivasyon fonksiyonu, $\psi(\cdot)$: ara katmana ait hücreler için aktivasyon fonksiyonu, b^h : ara katmandaki hücrelere ait sınır değer vektörü, b^y : çıktı katmanındaki hücrelere ait sınır değer vektörü, W^y : ara katman ile çıktı katmanı arasındaki bağlantılar için ağırlık faktörleri, W^h : ara katman ile girdi katmanı arasındaki bağlantılar için ağırlık faktörleri olarak alınmış olup söz konusu ağırlık faktörleri aşağıdaki şekillerde tanımlanmıştır:

$$W^h = [w_{ij}^h K w_{ij}^h K w_{ji}^h] \quad j = 1, \dots, s; \quad i = 1, \dots, k \quad (5.2)$$

$$W^y = [w_{lm}^y K w_{lm}^y K w_{\lambda m}^y] \quad \lambda = 1, \dots, z; \quad m = 1, \dots, s \quad (5.3)$$

YSA uygulamaları genellikle eğitim ve test olmak üzere iki aşamada oluşturulur. Eğitim aşaması, katmanlar arasındaki ağırlık faktörlerinin ve sınır değerlerin bir öğrenme algoritması yardımıyla hata seviyesi kabul edilebilir bir düzeye gelinceye kadar iteratif olarak düzeltilmesinden meydana gelir. Ağırlık faktörlerindeki değişim, öğrenme olarak da tanımlanabilir. Test aşamasında ise eğitim aşamasında kullanılmayan girdi ve çıktı verileri kullanılarak ağırlık performansı ölçülür. Değişik öğrenme algoritmaları olmakla birlikte momentum katsayılı gradyan azalma ve konjuge gradyan öğrenme algoritmaları yaygın kullanılan öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir [40].

Momentum katsayılı gradyan azalma algoritması, performans indeksinin (hata fonksiyonunun) minimizasyonuna dayanır ve ağırlık faktörleri, performans indeksi gradyanının negatif doğrultusunda hareket edilmesiyle iteratif olarak düzeltilir:

$$w(k+1) = w(k) - \eta \nabla J(w) + \alpha \Delta w(k-1) \quad (5.4)$$

Burada, w : vektörel olarak ağırlık faktörü, k : iterasyon sayısı, η : öğrenme oranı, α : momentum katsayısı ve $\nabla J(w)$: performans indeksinin gradyanıdır. Performans indeksinin gradyanı ise ∇E : karesel hata fonksiyonunun gradyanı, N : girdi ve çıktı vektörlerinin sayısı ve z : çıktı katmanındaki hücre sayısı olmak üzere vektörel olarak Şekil 5.4'te verilen yapay sinir ağı için aşağıdaki şekillerde ifade edilir:

$$\nabla J(w) = \frac{1}{zN} \sum_{n=1}^N \nabla E(w, n) \quad (5.5)$$

$$\nabla E(w, n) = \left[\frac{\partial E}{\partial w_{li}^h} \wedge \frac{\partial E}{\partial w_{ji}^h} \frac{\partial E}{\partial w_{li}^y} \wedge \frac{\partial E}{\partial w_{\lambda m}^y} \right] \quad (5.6)$$

Öğrenme oranı ve momentum katsayısının seçilmesinde değişik yaklaşımlar olmasına karşın bu katsayılar, genellikle 0-1 arasında değerler alacak şekilde deneme-yanılma yoluyla seçilmektedir [40].

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

PLC destekli kestirimci bakım uygulamasını veriye dayalı olarak yapay sinir ağı ile yapabilmek için akıma dayalı kestirim yapmaya uygun yapıya sahip birimler araştırıldı ve Enerji Tesislerindeki OPG fan motoru ile sinter tesisindeki fan motoru üzerinde uygulamalar gerçekleştirildi. Yapılan çalışmalarda öncelikle akıma dayalı analiz ile motor sağlığının tespit edilip edilemeyeceği belirlenmeye çalışılmıştır. Sonraki çalışmalarda yapay sinir ağı ile analiz yapılmış ve kestirimci bakım için hangi parametrelerin akımı etkilediği belirlenmiştir.

6.1. OPG FAN MOTORU UYGULAMASI

KARDEMİR A.Ş. bünyesindeki enerji tesislerinde bulunan 1 ve 2 numaralı OPG kazan aspiratör motorlarında uygulama için ölçümler seyyar ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Şebekeye yıldız bağlı olarak beslenen motorun karakteristik değerleri, 3.3 kV, 320 kW, 992 d/d olup, güç katsayısı 0.84'tür. Arıza ve devreden çıkma olasılığı göz önüne alınarak her iki aspiratör motoru da izlemeye alınmış ve her iki motorun ölçümleri de kayıt altına alınmıştır. Motorların etiket değerlerinden özelliklerinin aynı olduğu ve montajının aynı şekilde yapıldığı tespit edildikten sonra yatay, dikey ve eksenel olarak üç doğrultuda ön yatak, arka yatak ve motor kısmında ölçümler yapılmıştır. Titreşim ölçümü CSI marka titreşim analizörü ile yapıp eşzamanlı olarak akım, yük miktarı ve ön-arka yatak sıcaklıkları da kayıt altına alınmıştır. Elektriksel veriler bu birimde kullanılan Siemens S7-400 PLC cihazı ile WinCC SCADA yazılımı üzerinden alınmış ve ölçümlere iki ay boyunca farklı periyotlarda devam edilmiştir.

Yapılan ölçümlerden alınan Averaj RMS değerleri ile akım değerleri karşılaştırılmıştır. Alınan değerlerden, ISO 10816 titreşim standartlarında III. sınıf

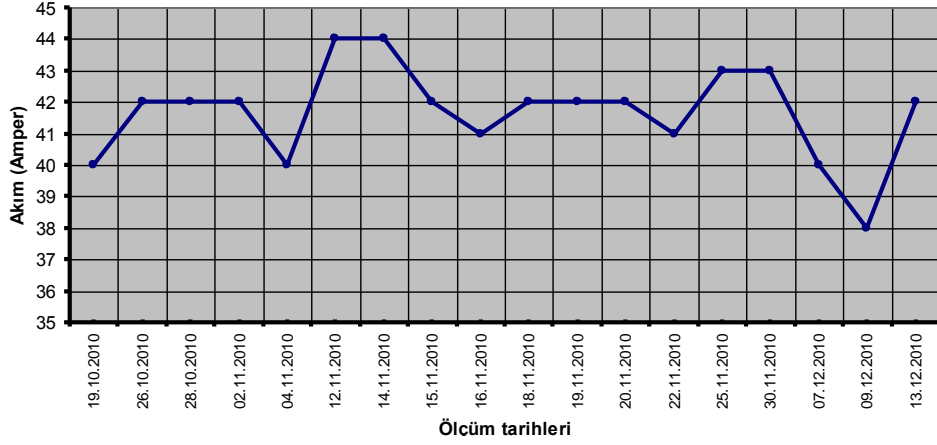
makinelere ait limit değerleri temel alınarak yapılan analizde makine sağlığının çok iyi olduğu, yatak arızası, balans bozukluğu veya kaplin ayarsızlığı gibi bir durumun söz konusu olmadığı anlaşılmıştır. Dolayısıyla rulmanlarda meydana gelen arızanın oluşturacağı sürtünmeden dolayı akımda oluşması beklenen değişiklikler de meydana gelmemiştir. Rulman mr dikkate alınarak ölçüm süresi göz önüne alındığında bu durumun normal olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca işletmede uygulanan periyodik bakım arıza oluşma ihtimalini azaltmaktadır.



şekil 6.1. lm yapılan OPG fan motoru.

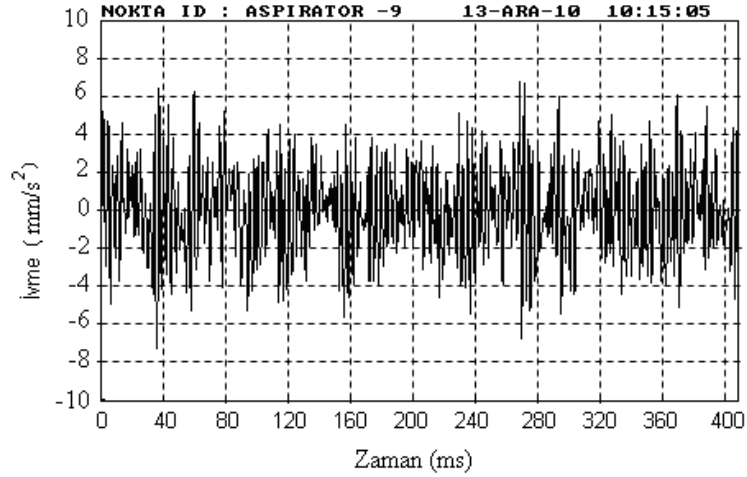
Literatür incelemesinde dönen makinelerin arızalarının tespitinde kullanılan titreşim analizinin günümüzde en çok kullanılan yöntem olduğu görülmüştür. Bu ilk uygulama çalışması titreşim değerleri ile eşzamanlı olarak alınan akım değerlerinin makine sağlığı hakkında doğru bilgiler verdiğini ispatlamak için yapılmıştır. Akımın llmesi ve etkisinin görülmesi titreşim ölçümüne göre daha hızlı olmaktadır. Titreşim ölçüldüğünde normal çalışan bir makinenin bir sonraki ölçüme kadar arızalanması riski günümüzdeki işletmeler için risk teşkil etmektedir. Bu çalışmada tavsiye edilen SCADA üzerinde akım tabanlı durum kontrolü oluşabilecek arızaların daha hızlı ortaya çıkmasını sağlamaktadır. Sistemin tek olumsuz tarafı, akım tabanlı arıza tespiti yapılmaya çalışılırken akımın farklı parametrelere bağlı olarak değişmesidir. Devir sayısı değişmeden, sabit yükle çalışan makinelerde akımın değişimi ile makinelerde oluşan arızalar tespit edilebilir. Motorda meydana gelebilecek kısa devre, gövdeye temas gibi elektriksel arızalarda ise motor koruma röleleri durumu algılayarak motorun korunmasını sağlayacaktır. Akım tabanlı bakım

yönteminin dönen parçası olmayan transformatör, kontaktör gibi elektrikli cihazlarda kullanımını daha uygundur. Çünkü bu tür makinelerde titreşim ölçümü ile makine sağlığının kontrolü ve kestirim yapılması mümkün değildir.



Şekil 6.2. Akım değerlerinin grafik olarak gösterilmesi.

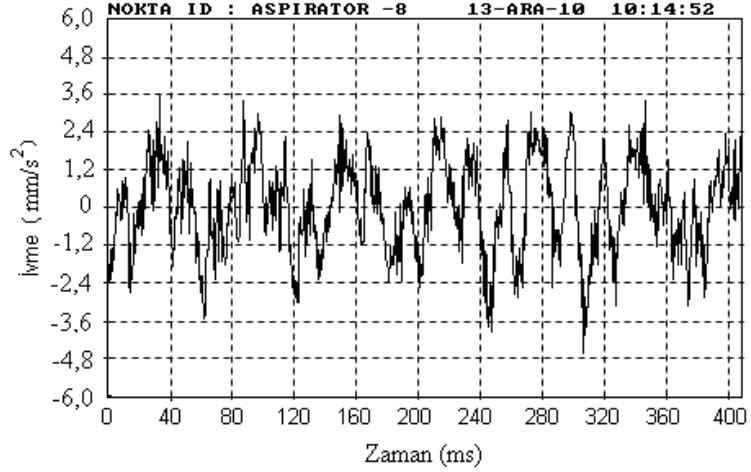
Şekil 6.2'deki ölçüm sonuçlarına bakıldığında ve motorun ISO10816 titreşim standartlarına göre çok iyi durumda çalıştığı görülüyor.



Şekil 6.3. 1 numaralı kazan 2 numaralı OPG fanı motor ön tarafında aksenal yönde yapılan ölçümün dalga form grafiği.

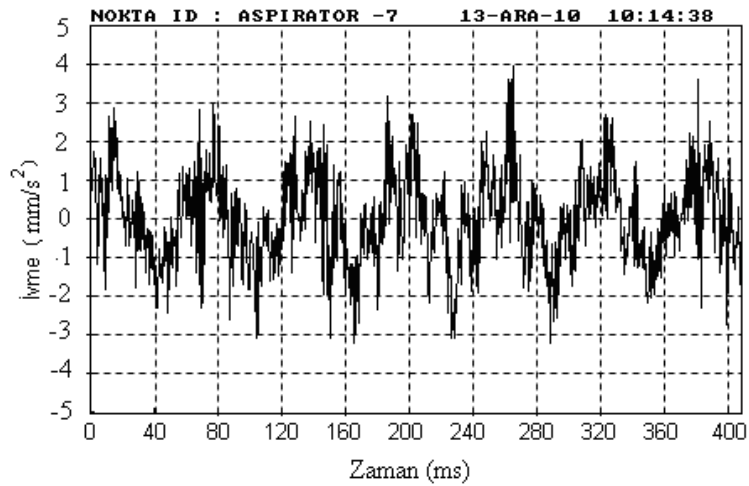
Döner makinelerde açılma eksen kaçıklığı birçok şekilde kendini gösterir. Faz ilişkisine bağlı olarak üçüncü harmonik frekansını da oluşturabilir. Aynı zamanda kuvvetli aksenal titreşim oluşturur [13]. En güçlü titreşim sinyalleri aksenal yönden

elde edilmektedir [15]. Şekil 6.3'te verilen dalga form grafiği aksenal ölçüm incelendiğinde sinyallerin limitler içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 6.4. 1 numaralı kazan 2 numaralı OPG fanı motor ön tarafında yatay eksende yapılan ölçümün dalga form grafiği.

Makinelerdeki dengesizlik çok yönlü olarak kendini gösterdiği için makine yatağının düşey ve yatay yönlerindeki ölçümlerde etkisi görülür (Şekil 6.4). Titreşim sinyalinin frekansı düşey ve yatay yönlerde, genellikle aynı değildir. Bu fark, yatakların katılığından kaynaklanmaktadır [13].



Şekil 6.5. 1 numaralı kazan 2 numaralı OPG fanı motor ön tarafında dikey eksende yapılan ölçümün dalga form grafiği.

Dikey ekseninde yapılan ölçümler mekanik gevşeklik ve boşluk probleminin göstergesidir [13]. Şekil 6.5'teki dalga form grafiğinde darbe sinyalleri belirtilen arızaların oluşmadığını göstermiştir.

Sistem sağlığı kontrolünde kullanılan titreşim analizi, dönen parçası olan ve çalışması sırasında titreşim oluşturan makineler için geçerli bir yöntemdir. Sanayide kullanılan kontaktör, transformatör, selenoid valf gibi ekipmanların çalışma parametrelerine uygun çalışıp çalışmadığının kontrolü akımda meydana gelen değişimler analiz edilerek yapılabilir. Bu çalışmada titreşim ve akım ölçümü yapılan makine, ölçüm yapılan tarihlerde çalışma limitlerinin üzerinde bir titreşim oluşturmamış, bu durum akımda değişimlere de neden olmamış ve dolayısıyla bir arıza meydana gelmemiştir.

6.2. SİNER FAN MOTORU UYGULAMASI

PLC destekli kestirimci bakım yapabilmek için daha uygun bir ortam olan KARDEMİR A.Ş. bünyesinde faaliyet gösteren sinter fan motoru üzerinden alınan ölçümler kullanılarak uygulama yapıldı. Fan motorunun akım tabanlı kestirimci bakım için seçilmesinin nedeni; sabit devir ve güçle çalışması, akımı etkileyen değişken yük durumlarının olmayışıdır.

Yüksek fırınlara malzeme hazırlama amacıyla ısı işleme tabi tutulan madenin daha iyi yanması için vakum yapan bu asenkron motor 4250 kW gücünde, 10,5 kV'luk şebekede normal yükte 270 Amper akım çekmektedir. Devir sayısı 1487 d/dak, güç katsayısı 0,90 olan motorun sargıları su soğutmalı, yataklar ise yağ soğutmalı olarak çalışmaktadır (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Sinter fan motoru etiket değerleri.

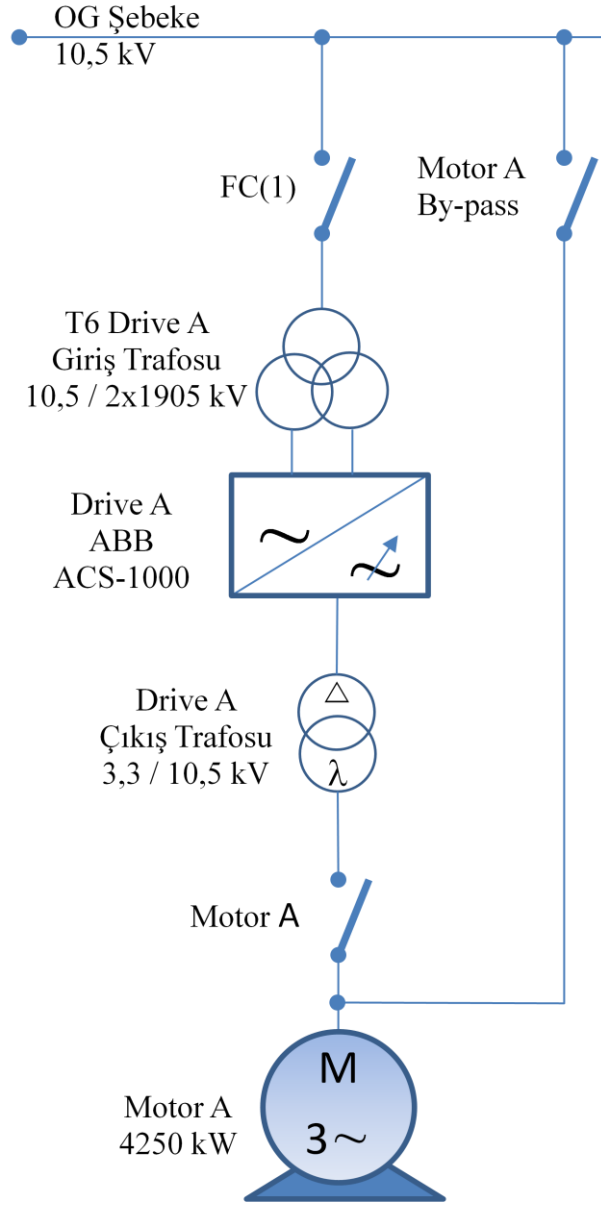
Güç	4250 kW
Gerilim	10,5 kV
Akım	170 A
Devir Sayısı	1487 d/dak
Güç katsayısı	0,90

İşletmenin verimliliği ve üretimin sürekliliği açısından sinter ünitesinin, planlananın dışında durması istenmemektedir. Çalışma yapılan fan motorunun arıza yapması durumunda sinter ünitesi çalışamayacağı için motor proses için hayati öneme sahiptir. Motor sabit devirle ve sabit yükte çalıştığı için yapılmak istenen uygulama için gerekli özellikleri taşımaktadır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6. Sinter fan motoru.

Motor üzerinde bulunan vibrasyon sensörleri için belirlenen sağlıklı çalışma limitlerinin üzerine çıktığında, motor devreden çıkacak şekilde gerekli ayarlamalar makinenin kurulumunda yapılmıştır. Asenkron motorlar kalkınma anında normal akımının 3-5 katı fazla akım çektiği için bu motora sürücü ile yol verilmektedir. Ancak 10,5 kV'luk sürücü maliyetli olduğundan ve yalıtım güçlüğünden dolayı özel bir yol verme sistemi uygulanmıştır.



Şekil 6.7. Fan motoru yol verme tek hat diyagramı.

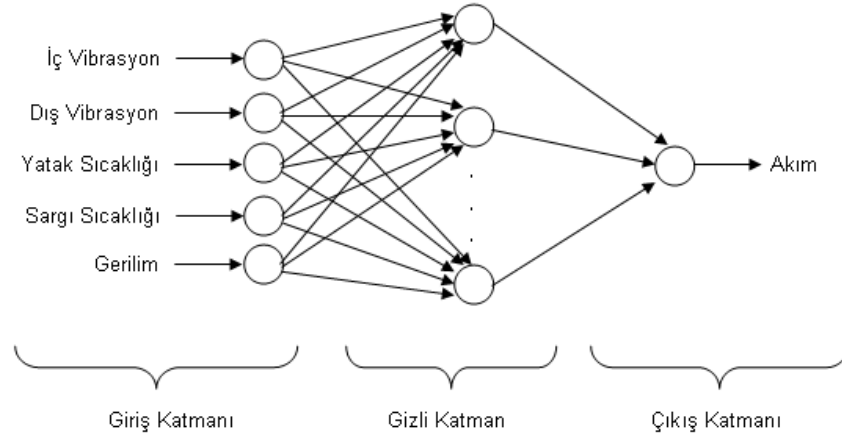
Motor OG şebeke üzerinden beslenmekte ve kalkış için Şekil 6.7'deki sistemle yol verilmektedir. Besleme trafosundan alınan 10,5 kV'luk gerilim giriş trafosu ile ACS100 sürücüsünün giriş gerilimine düşürüldükten sonra kalkış için gerekli frekans ayarı yapılarak motorun kalkınması sağlanmaktadır. Motor normal devrine ulaştıktan sonra sürücünün ve giriş-çıkış trafolarının devrede kalmasına gerek kalmadığından by-pass şalteri kapatılarak motor doğrudan şebeke üzerinden beslenmektedir. Bu sistemle sürücünün ve giriş-çıkış trafolarının faydalı ömürlerinin artması

amaçlanmaktadır. Ayrıca devreden işi biten elemanların devreden çıkarılması ile enerji tasarrufu da sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, motorun devreden çıkmasına neden olacak durumlar oluşmadan önce makine performansının belirlenmesi ve arızaya önceden müdahale edilmesi amaçlanmıştır. Ölçümler sırasında arıza meydana gelmediği için arıza anındaki akımdaki değişim belirlenememiştir, ancak sağlıklı çalışma limitleri belirlenmiştir.

Uygulamada giriş parametreleri belirlenirken literatürde kestirimci bakım için en çok kullanılan ve arıza durumunun başlıca göstergelerinden olan vibrasyon ve ısı değerlerinin etkisi göz önüne alınmıştır. Ayrıca akımı doğrudan etkileyen gerilim değerinin de kullanılmasının daha doğru sonuçlar üreteceği öngörülerek girişler belirlenmiştir. Özel yapım olan fan motorundan SCADA sistemi üzerinden değişik zamanlarda iç vibrasyon, dış vibrasyon, yatak sıcaklığı, sargı sıcaklığı, gerilim ve akıma ait 68 adet veri alınmış, iç vibrasyon, dış vibrasyon, yatak sıcaklığı, sargı sıcaklığı ve gerilim verilerine göre akımdaki değişim durumu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada yapay sinir ağları (YSA) örnek verilerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini edinerek, benzer konuda benzer kararları verebildikleri için kullanılmıştır. Bir problemin sayısal olarak analizi mümkün olmakla birlikte yapay sinir ağının daha basit ve daha hızlı işlemler ile sonuç elde etmesi bu tekniğin bir avantajıdır. Farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında yapay zekânın alt kollarından biri olan yapay sinir ağlarının mühendislik problemlerinde başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir [41].



Şekil 6.8. Uygulama için oluşturulan YSA modeli.

Şekil 6.8’de gösterildiği gibi 5 giriş, 1 çıkış ve 3 ara katman kullanılarak oluşturulan YSA modelinin eğitimi için geri yayılım (backpropagation) algoritmalarından Levenberg-Marquardt, Batch Gradient ve Scaled Conjugate Gradient öğrenme algoritmaları MATLAB programında uygulanmış ve her 3 yaklaşım için de kabul edilebilir hata oranı $1e-5$, iterasyon sayısı ise 100 olarak sabitlenmiştir.

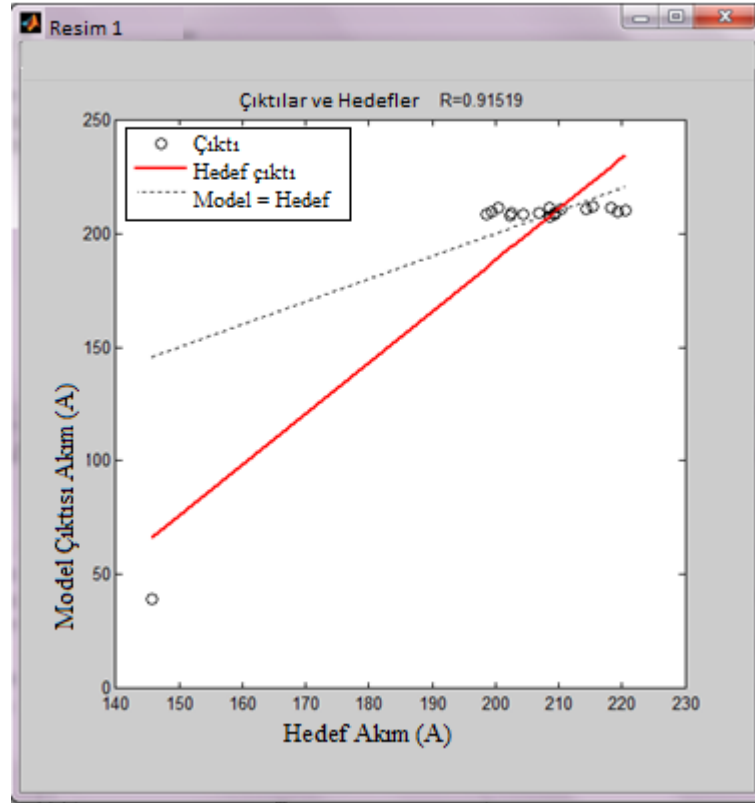
Çizelge 6.2. Ağın eğitim ve testi sonucu elde edilen sonuçlar.

		Levenberg-Marquardt	BatchFletcher-Reeves Update Gradient	Scaled Conjugate Gradient
Eğitim	Kabul edilebilir hata oranı	1,00E-05	1,00E-05	1,00E-05
	İterasyon sayısı	14	17	30
	Optimum iterasyon sayısı	8	11	24
	Süre (sn)	2,99	1,37	1,50
	Doğruluk oranı (%)	88	71	88
Test	Doğruluk oranı (%)	92	84	89

Çizelge 6.2’de görüldüğü üzere Levenberg algoritması 14 iterasyonda eğitimini tamamlamış ve optimum çözüm 8. iterasyonda bulunmuştur. Eğitim 2,89 saniyede tamamlanmış ve algoritma yine bu 50 eğitim verisi ile test edildiğinde %88 doğruluk oranı elde edilmiştir. BatchFletcher-Reeves Update Gradient algoritmasında ise eğitim 17 iterasyonda tamamlanmış, en uygun çözüm 11. İterasyonda elde edilmiştir. Ağ her ne kadar diğer algoritmalarla oranla (1,37 saniye) daha hızlı eğitilmiş olsa da doğruluk oranı %71’de kalmıştır. Scaled Conjugate Gradient algoritması 30.

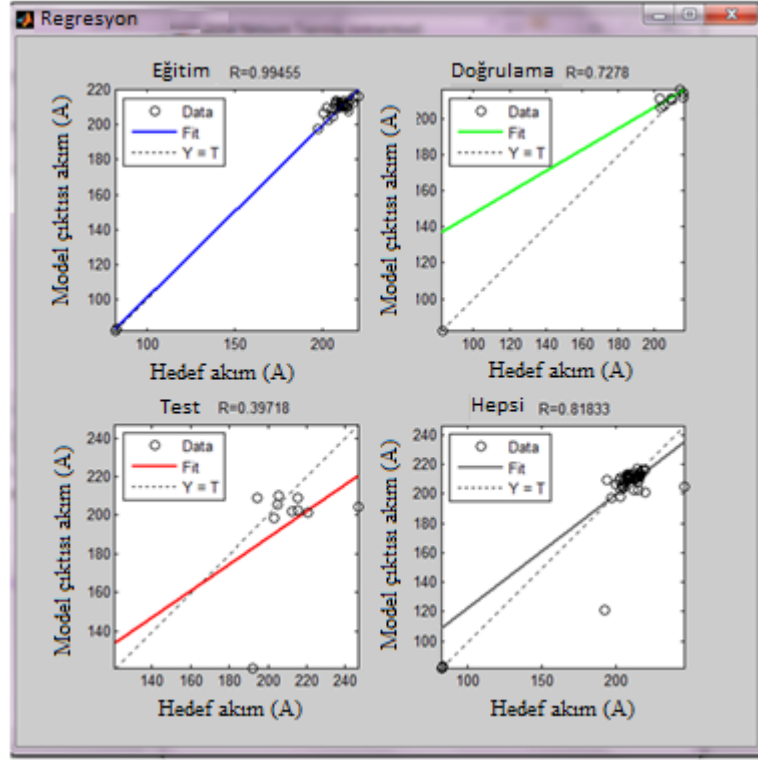
İterasyonla eğitimini tamamlamış, optimum çözümü 24. iterasyonda bulmuştur. 1,5 saniyede eğitimini tamamlayan algoritma %88 doğruluk oranıyla sonuç vermiştir. Ardından her üç algoritma değişik 18 test verisi ile test edilmiş Levenberg algortmasında %92, BatchFletcher-Reeves Update Gradient algoritmasında %84 ve Scaled Conjugate Gradient algoritmasında %89 doğruluk elde edilmiştir. Görüldüğü üzere doğruluk oranları dikkate alındığında en uygun sonucun Levenberg-Marquardt algoritmasında elde edildiği görülmüştür.

Şekil 6.9'da Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasıyla eğitilen ağı test sonucu doğruluk oranı gösterilmektedir.

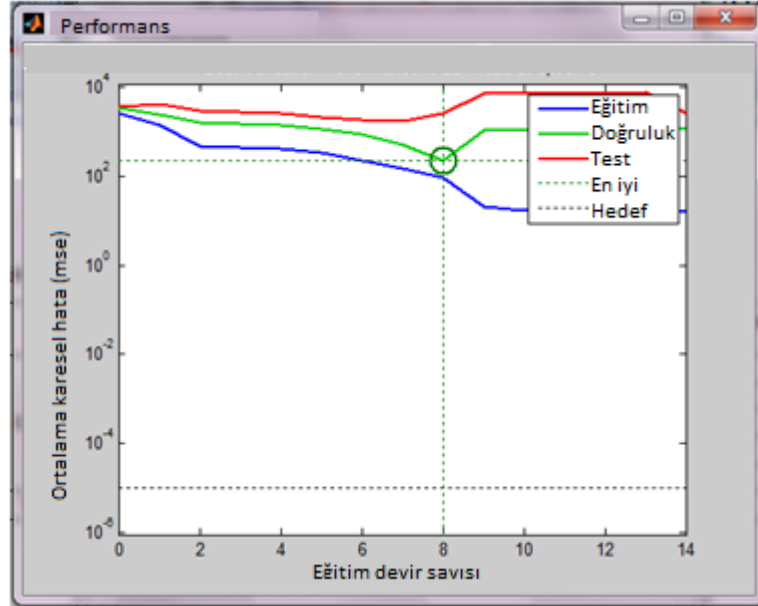


Şekil 6.9. Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması performans, doğruluk oranı.

Şekil 6.10'da eğitim, doğruluk ve test için elde edilen regresyon değerleri verilmiştir. Şekil 6.11'de ise Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasının eğitimi esnasında iterasyonlarda elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Eğitim, doğruluk ve test için elde edilen regresyon değerleri.



Şekil 6.11. Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasının eğitimi esnasında iterasyonlarda elde edilen sonuçlar.

Bu çalışmada sinter fan motorundaki akıma etki edebilecek unsurlar belirlenerek, bu unsurların değişen değerlerinde oluşacak akım durumu YSA modeli kullanılarak

tespit edilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan YSA modelinin eğitimi 3 değişik öğrenme algoritmasıyla karşılaştırılmıştır. Ağ, her ne kadar BatchFletcher-Reeves Update Gradient algoritmasıyla daha çabuk eğitiliyor olsa da gerek eğitim gerekse testler sonucu yapılan doğruluk oranlarında elde edilen sonuçlar (%88, %91,5) Levenberg-Marquardt (trainlm) algoritmasının daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Sabit devirle çalışan, sabit yüklü motorlarda, yatak arızaları, balans bozukluğu, sürtünme gibi arızaların oluşturacağı akım değişikliği analiz edilerek motor performansının ve makine sağlığının belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Akım tabanlı olarak kestirimci bakım yapıldığında bakım maliyetlerini önemli ölçüde arttıran vibrasyon sensörü için harcama yapma zorunluluğu ortadan kalkmaktadır. Dolayısıyla bakım masrafları da azaltılmış olmaktadır.

6.3. ÖLÇÜM PARAMETRELERİNİ BELİRLEME ÇALIŞMASI

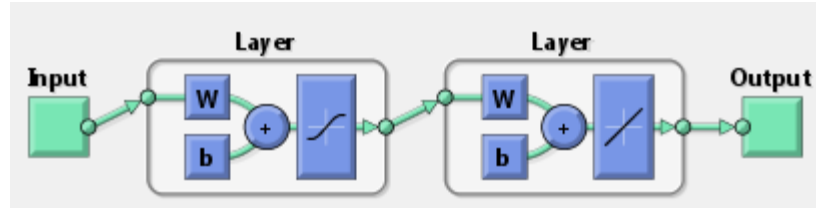
Sinter fan motoru SCADA veri tabanından alınan kayıtlar kullanılarak yapılan bu çalışmada, motordan alınan yirmi bir adet ölçümden hangilerinin performans belirlemede daha etkili olduğu hakkında yapay sinir ağı kullanarak çıkarım yapılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 6.3. Sinter fan motoru üzerinden alınan ölçümler.

No	Sensörler ve yapılan ölçümler		
1	Motor dış vibrasyon 1	12	Motor 2. sargı sıcaklık 2
2	Motor iç vibrasyon 2	13	Motor 3. sargı sıcaklık 1
3	Fan dış vibrasyon 1	14	Motor 3. sargı sıcaklık 2
4	Fan iç vibrasyon 2	15	Motor soğutma suyu giriş sıcaklığı
5	Motor iç yatak sıcaklığı	16	Motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı
6	Motor dış yatak sıcaklığı	17	Motor hava giriş sıcaklığı
7	Fan iç yatak sıcaklığı	18	Motor hava çıkış sıcaklığı
8	Fan dış yatak sıcaklığı	19	Yağlama giriş basıncı
9	Motor 1. sargı sıcaklık 1	20	Şebeke gerilimi
10	Motor 1. sargı sıcaklık 2	21	Motor Akımı
11	Motor 2. sargı sıcaklık 1		

Sinter Fan motoruna ait Çizelge 6.3'teki veriler kullanılarak “Motor Akımı” üzerinden motor performansı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Fan motoru için değişik zamanlarda yapılan ölçümlerde 50 adet veri elde edilmiştir.

Giriş verilerinden çıkışı tahmin etmek için 20 giriş, 1 çıkışlı YSA modeli tasarlanmış (Şekil 6.12) ve eğitim için ileri beslemeli (feedforward), geri yayılım (backpropagation) öğrenme algoritmalarından “Levenberg-Marquardt”, “Resilient” ve “Scaled Conjugate Gradient” algoritmaları seçilerek her bir durumundaki sonuçlar gözlemlenmiştir.



Şekil 6.12. Oluşturulan yapay sinir ağı modeli.

Çizelge 6.4. Ağın eğitim ve testi sonucu elde edilen sonuçlar.

Ara Katman Sayısı		Levenberg-Marquardt	Resilient	Scaled Conjugate Gradient
5	Tekrar Sayısı	8	18	31
	İdeal Tekrar Sayısı	4	12	25
	Eğitim Süresi (sn)	1.98	2.06	2.40
	Doğruluk Oranı (%)	8	4	10
7	Tekrar Sayısı	6	11	13
	İdeal Tekrar Sayısı	1	5	7
	Eğitim Süresi (sn)	2.04	1.79	1.76
	Doğruluk Oranı (%)	10	36	46
9	Tekrar Sayısı	7	17	93
	İdeal Tekrar Sayısı	4	11	87
	Eğitim Süresi (sn)	2.22	2.09	3.56
	Doğruluk Oranı (%)	15	10	13
11	Tekrar Sayısı	4	20	15
	İdeal Tekrar Sayısı	2	14	9
	Eğitim Süresi (sn)	1.87	2.29	2.15
	Doğruluk Oranı (%)	20	26	27

Oluşturulan ağ'ın kabul edilebilir hata oranı 10^{-5} olarak belirlenmiş ve ağ'ın en çok 100 tekrar işleminde sonlanması istenmiştir. Ağ'ın performans belirlenmesinde ise hatalar için en küçük kareler yöntemi uygulanmıştır. Ağ, 5, 7, 9 ve 11 ara katmanlı yapılar halinde ayrı ayrı test edilmiş ancak Çizelge 6.4'de görüldüğü üzere en çok

%46'lık bir doğruluk oranı (Scaled Conjugate Gradient Öğrenme algoritmasıyla denenen 7 ara katmanlı yapıda) elde edilebilmiştir.

Elde edilen doğruluk oranı düşük olduğu için bu durumda motor akımını etkileyen faktörler gruplandırılarak yeniden bir yapay sinir ağı oluşturulmuş ve 3 ara katmanlı yapı ile yeniden denenmiştir. Çizelge 6.5'de verilen gruplar giriş verileri olarak seçilmiş ve motor akımı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 6.5. YSA eğitimi için oluşturulan gruplar.

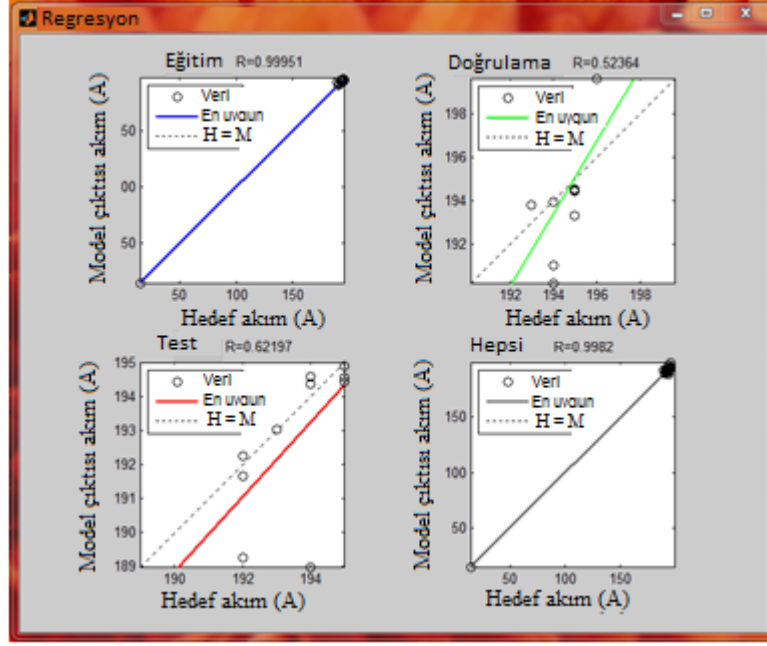
Gruplar	İşlem	Levenberg-Marquardt	Resilient	Scaled Conjugate Gradient
Motor Vibrasyon Dış Sensör, Motor Vibrasyon İç Sensör, Fan Vibrasyon Dış Sensör, Fan Vibrasyon İç Sensör, Besleme Gerilimi	Tekrar Sayısı	10	10	9
	İdeal Tekrar Sayısı	4	4	3
	Eğitim Süresi (sn)	2.09	1.86	2.25
	Doğruluk Oranı (%)	15	17	7
Motor Yatak İç Sensör, Motor Yatak Dış Sensör, Fan Yatak Sıcaklık İç Sensör, Fan Yatak Sıcaklık Dış Sensör Besleme Gerilimi	Tekrar Sayısı	9	16	10
	İdeal Tekrar Sayısı	3	10	4
	Eğitim Süresi (sn)	3.60	1.95	3.45
	Doğruluk Oranı (%)	3	2	3
Sargı 1 Sensör 1 Sargı 1 Sensör 2 Sargı 2 Sensör 1 Sargı 2 Sensör 2	Tekrar Sayısı	7	31	27
	İdeal Tekrar Sayısı	1	25	21
	Eğitim Süresi (sn)	2.07	4.37	4.48
	Doğruluk Oranı (%)	13	61	58
Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı Soğutma Hava Giriş Sıcaklığı Soğutma Hava Çıkış Sıcaklığı Yağlama Basıncı	Tekrar Sayısı	7	10	13
	İdeal Tekrar Sayısı	1	4	7
	Eğitim Süresi (sn)	4.40	4.02	1.90
	Doğruluk Oranı (%)	15	11	11
Motor Vibrasyon İç Sensör, Besleme Gerilimi, Motor Yatak İç Sensör, Sargı1 Sensor1, Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı	Tekrar Sayısı	16	9	87
	İdeal Tekrar Sayısı	10	3	81
	Eğitim Süresi (sn)	2.22	1.72	3.59
	Doğruluk Oranı (%)	99.866	51	99.707

Grupların eğitiminden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.6’da sunulmuştur. Çizelgeden de görüldüğü üzere en iyi sonuç 5. gruptan elde edilmiştir.

Çizelge 6.6. Ağın eğitim ve testi sonucu elde edilen sonuçlar.

Grup		Levenberg-Marquardt	Resilient	Scaled Conjugate Gradient
1	Tekrar Sayısı	10	10	9
	İdeal Tekrar Sayısı	4	4	3
	Eğitim Süresi (sn)	2.09	1.86	2.25
	Doğruluk Oranı (%)	15	17	7
2	Tekrar Sayısı	9	16	10
	İdeal Tekrar Sayısı	3	10	4
	Eğitim Süresi (sn)	3.60	1.95	3.45
	Doğruluk Oranı (%)	3	2	3
3	Tekrar Sayısı	7	31	27
	İdeal Tekrar Sayısı	1	25	21
	Eğitim Süresi (sn)	2.07	4.37	4.48
	Doğruluk Oranı (%)	13	61	58
4	Tekrar Sayısı	7	10	13
	İdeal Tekrar Sayısı	1	4	7
	Eğitim Süresi (sn)	4.40	4.02	1.90
	Doğruluk Oranı (%)	15	11	11
5	Tekrar Sayısı	16	9	87
	İdeal Tekrar Sayısı	10	3	81
	Eğitim Süresi (sn)	2.22	1.72	3.59
	Doğruluk Oranı (%)	99.866	51	99.707

Motor akımının gerçek değerine en yakın sonuç, 5. grup verilerin giriş olarak kullanıldığı ve ağ’ın Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasıyla eğitildiği modelden elde edilmiştir. Ağ, bu algoritma ile 2.22 sn gibi kısa bir sürede eğitilmiş ve %99.866’lık bir doğruluk oranına ulaşılmıştır. Elde edilen doğruluk grafiği Şekil 6.16’da gösterilmektedir.



Şekil 6.13. Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması regresyon değerleri.

Şekil 6.13’de ağın eğitim, doğrulama ve testi sonucunda elde edilen grafikler verilmiştir. Şekilde “Veri” eğitim, doğrulama ve test sonucu ağ çıktısını, “En uygun” ise istenilen ağ çıktısını göstermektedir.

Bu çalışmada motordan alınan yirmi bir adet ölçümden hangilerinin performans belirlemede daha etkili olduğu hakkında yapay sinir ağı kullanarak çıkarım yapılmıştır. Sinter fan motorunun performansının ve çalışma durumunun akım tabanlı olarak tahmininde “Motor Vibrasyon İç Sensör, Besleme Gerilimi; Motor Yatak İç Sensör; Sargı1 Sensor1; Motor Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı” etkenleri giriş olarak alındığında akımın ve akım tabanlı olarak motor performansının belirlenebileceği gözlemlenmiştir. Ölçümler sırasında herhangi bir arıza durumu oluşmadığından, oluşabilecek arızaların motor akımı üzerinde meydana getireceği değişiklikler tespit edilememiş, ancak kaydedilen ölçümlerle motor etiket değerlerinin karşılaştırılması ve titreşim değerlerinin belirlenen limitler içinde olduğu gözlemlendiğinden motorun sağlıklı çalıştığı sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Sürekli üretim yapan işletmelerde beklenmedik zamanlarda, aniden ortaya çıkabilecek küçük arızalar bile üretimin durmasına yol açabilmektedir. Üretimin durması maliyetlerin artmasına ve iş kaybına yol açar. İşletmecilik açısından bakıldığında üretim sürecinde arızaların arkasından değil önünden gitmek ve beklenmedik durumlara hazırlıksız yakalanmamak çok önemlidir. Kestirimci bakım bu beklentilere cevap verecek şekilde verimli ve sürekli üretim için imkan sağlamaktadır. Bu çalışmada kestirimci bakımın uygulanmasında fazladan yatırım yapmaksızın mevcut otomasyon sistemine ilaveler yaparak uygulanabilen bir model oluşturulmuştur. Bu modelle bakım maliyetleri üretim maliyeti içinde daha az yer tutmaktadır.

Uygulama faaliyeti yapılan Kardemir işletmesinde üretim sürecinin devam edebilmesi için hayati öneme sahip olan sinter ünitesi fan motorun ait PLC ve SCADA sistemi üzerinden alınan kayıtlar kullanılarak yapılan veriye akım tabanlı kestirimci bakım uygulaması sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Kestirimci bakım için verilerin seyyar ölçüm cihazları yerine online izleme yöntemiyle sistemde mevcut PLC ve SCADA sistemi ile analog sensörler üzerinden toplanması daha ekonomik bir yöntemdir. Bakımın uygulanmasında işletmelerin önceliği bakım için yapacağı yatırım maliyeti olduğundan, kullanılan yöntemin işletme açısından avantajları bulunmaktadır. Bakım fonksiyonunun icra edilmesinde yeni bir sistemin kurulmasının yerine, mevcut sisteme düşük maliyetli bir ilave ile sonuç alınması tavsiye edilen sistemi işletme açısından cazip hale getirmektedir. Online izlemede seyyar ölçüm cihazları ile ölçüm sırasında meydana gelebilecek ölçüm hataları da önlenmiş olur.

Hareketli parçası bulunan makinelerde kestirimci bakım için kullanılan titreşim analizinin yerine akım tabanlı kestirimci bakım yapmak daha az maliyetli ve daha hızlı sonuç verdiği sonucuna varılmıştır. Titreşim ölçümünde kullanılan seyyar cihazların ve analiz için kullanılan yazılımın maliyeti yöntemin olumsuz yanlarındanadır. Makine üzerine yerleştirilecek vibrasyon sensörleri ile ölçüm yapmak için yatay, düşey ve eksenel yönden en azından 3 sensör kullanmak gerekmektedir. Motor ve fan tarafı ayrı ayrı düşünüldüğünde ve de içi ve dış vibrasyon ölçümü yapılmak istendiğinde sensör sayısı ile birlikte maliyet de artmaktadır. Ayrıca titreşim için en sağlıklı ölçüm titreşimim meydana geldiği yatak kısmına en yakın bölgeden alınabildiği düşünüldüğünde sensörlerin yerleştirilmesi de bir problem teşkil etmektedir.

İzlemeye alınan makine üzerinden yapılacak ölçüm parametrelerinin belirlenmesinde YSA kullanılmış ve uygun parametreler belirlenerek optimum sonuçlar elde edilmiştir. Yapay sinir ağları (YSA), örnek verilerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini edinerek, benzer konuda benzer kararları verebildikleri için kullanılmıştır. Matematiksel olarak modellenmesi mümkün olmayan sistemlerde yapay sinir ağının basit ve hızlı işlemler ile sonuç elde etmesi bu tekniğin bir avantajıdır. Farklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar ışığında yapay zekânın alt kollarından biri olan yapay sinir ağlarının mühendislik problemlerinde başarılı sonuçlar verdiği bu çalışmada da gözlenmiştir.

Motor sağlığını belirlemede ölçülebilecek farklı parametreler bulunmaktadır. Ancak bunlardan bazıları motorda oluşabilecek arıza durumlarını belirlemede etkili olmayabilmektedir. Örneğin motorun soğutulmasında kullanılan suyun giriş sıcaklığı motor hakkında bir yargıya varmamızı sağlamaz, ancak soğutma suyu çıkış sıcaklığı değişimi analiz edilerek kestirim yapılabilir. Bu çalışma sonucunda klasik titreşim ölçümünden farklı olarak akım ölçüm kayıtları izlenerek motor sağlığının ve çalışma durumunun belirlenmesi mümkün olabildiği sonucuna varılmıştır.

Veriye dayalı model oluşturmak için YSA kullanımı tercih edilmiştir. Veriye dayalı bir model oluşturmak için SCADA veri tabanından alınan geçmişe dönük kayıtlar giriş olarak kullanılmış ve farklı iterasyonlarla ağ eğitilmiştir. Kullanılan modelde

anlık durum tespiti yapılabildiği gibi geriye dönük olarak durumun kontrol edilmesi ve karşılaştırma yapılması da mümkündür. Ayrıca motorla ilgili yapılan analizler üretici firma tarafından ar-ge çalışmalarında kullanılabilir. Bunun sonucu olarak daha verimli çalışan ve arıza oluşmasına meydan vermeyecek şekilde gerekli düzenlemelerin yapıldığı uzun ömürlü motorların üretilebilmesi mümkün olabilecektir.

Titreşim ölçüm değerleri ile elde edilen değerler ISO-10816 titreşim standartları ile karşılaştırılarak izlemeye alınan motorun sağlıklı çalıştığı sonucuna varılmıştır. YSA ile titreşim, yatak ve sargı sıcaklıkları ile gerilim verisi giriş olarak alındığında çıkışta elde edilen akım değerinin %99,866 doğrulukta tahmin edilmesi akım verilerinin motordaki arıza durumlarını tespit etmede kullanılabileceğini göstermiştir.

Sonuç olarak kestirimci bakım yapılan endüstriyel uygulamalarda vibrasyon ölçümü motorun çalışması hakkında bilgi verebilirken alternatif bir yöntem olarak akım verisinin kullanılmasının daha esnek bir yaklaşım oluşturabileceği ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

1. Orhan, S., Aktürk, N. ve Çelik, V. “Bir santrifüj pompa rulmanlarının çalışabilirliğinin titreşim analizi ile belirlenmesi”, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 16 (2): 543-552 (2003).
2. Çetinus, O., “Mekanik sistemlerde farklı modellerle aktif titreşim kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, 8-10 (2009).
3. Yılmaz, M., Düğenci, M ve Çayır, E. “PLC ile scada üzerinden makine durum izlemesi ve arıza teşhisi”, *6th International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 245-250 (2011).
4. Demirtaş, Ü.İ. ve Özel, Y. “Kağıt-karton sanayinde bakım teknolojileri”, *MMO Bildiriler Kitabı*, Denizli, 83-94 (1993).
5. Orhan, S., Arslan, H. ve Aktürk, N. “Titreşim analiziyle rulman arızalarının belirlenmesi”, *G.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (2): 39-48 (2003).
6. Engür, A.İ. “Kestirimci bakımda titreşim analizi”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 48 (570): 27-31 (2007).
7. Arslan, H., Aslan, E. ve Aktürk, N. “Bilyalı rulman hasarlarının titreşim analizi yöntemiyle incelenmesi”, *G.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (3): 541-552 (2006).
8. Orhan, S. ve Aktürk, N. “Aktarma organı dişlilerinde oluşan fiziksel hataların titreşim analizi ile belirlenmesi”, *G.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (3): 97-106 (2003).
9. Çebi, S., Çelik, M. ve Kahraman, C. “Gemi sistemleri için entegre bakım-onarım yönetimi gereksiniminin analizi”, *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 3 (4): 17-24 (2008).
10. Elmacı, B. ve Zıypak, M. “E.L.İ. müessesesinde kestirimci bakım uygulamaları (YAPAL)”, *MMO Bildiriler Kitabı*, 2 (161): 95-101 (1993).
11. Karahan, M.F., “Titreşim analizi ile makinalarda arıza teşhisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa, 17-20 (2005).
12. Orhan, S., “Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakımı”, Doktora Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 80-85 (2002).

13. Dal, H., Morgül, Ö.K. ve Şahin, İ. “Yapay sinir ağı kullanarak titreşim tabanlı makine durum izlemesi ve hata teşhisi”, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (2): 45-50 (2006).
14. Özlük, F., “Endüstriyel bir süreçte scada uygulaması ve verilerin değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 4-7 (2010).
15. Aker, Ö., “Bilgisayar kontrollü güneş enerjili ahşab kurutma fırınının otomasyonu sistemi tasarımı ve bir simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla, 5-10 (2006).
16. Bektaş, A., Bayındır, R. ve Çolak, İ., “Asenkron motorların korunmasına yönelik plc tabanlı bir uygulama”, *Journal of Polytechnic*, 10 (2): 117-121 (2007).
17. Çunkaş, M., Akkaya, R. and Öztürk, A. “Protection of AC motors by means of microcontrollers”, *10th Mediterranean Electrotechnical Conference*, Melecon, 1093-1096 (2000).
18. Yılmaz, M., Ekmekci, D. ve Orak, İ.M. “Sinter fan motoru performansının YSA ile tespit edilmesi”, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Elazığ, 157-162 (2011).
19. Yılmaz, M., Ekmekci, D. ve Orak, İ.M. “Ölçüm parametrelerinin motor performansına etkisinin YSA kullanılarak tespit edilmesi”, *International Iron & Steel Symposium*, Karabük, 1046-1053 (2012).
20. Özdemir, G. “Hidrolik sistemlerde periyodik bakım”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 48 (570): 24-26 (2007).
21. Denli, H.B., “Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 11 (2007).
22. Zafer, N., Türkeş, E. ve Kasap, M. “Bakım mühendisliği ve yeni teknikler”, *Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, Denizli, 328-329 (2003).
23. Baraçlı, H., Coşkun, S. ve Eser, A. “Toplam kalite programlarının başarılı olarak uygulanabilmesinde toplam üretken bakım tekniği”, *1. Demir-Çelik Sempozyum Bildirileri*, 34, 331-341 (2001).
24. Erbil, İ., Meran, C. ve Tan, E. “Bakımda insan faktörü”, *Makine Mühendisleri Odası Bildiri*, Denizli, 283-293 (2003).
25. Bayındır, R., Kaplan, O., Bayyigit, C., Sarıkaya, Y. ve Hallaçlıoğlu, M. “PLC ve SCADA kullanılarak bir endüstriyel sistemin otomasyonu”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27 (1): 107-115 (2011).

26. Salim, S., “Bir anaerobik atık su arıtma prosesinin plc ve scada kullanılarak otomasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-7 (2006).
27. Çilek, A., “PLC (programlanabilir lojik kontrol cihazı) ve scada (yönetmel denetim ve veri toplama) ile endüstriyel otomasyon uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 22-23 (2005).
28. Civalek, Ö., “Nöro-fuzzy tekniğı ile dikdörtgen plakların analizi”, *III. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı*, İstanbul, 518-524 (1998).
29. Keleşoğlu, Ö., Ekinci, C. E. and Fırat, A., “The using of artificial neural networks in insulation computations”, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 23 (3): 58-66 (2005).
30. Ülker, M. ve Civalek, Ö., “Yapay sinir ağları ile eksenel yüklü kolonların burkulma analizi”, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 26 (2): 117-125 (2002).
31. Barış, İ., Erdamar, M., Sümer, E. ve Erdem, H., “Ses işaretlerinin yapay sinir ağları ile tanınması ve kontrol işlemleri için kullanılması”, *URSI-Türkiye 2002 Bilimsel Kongresi ve Ulusal Genel Kurul Toplantısı*, İstanbul, (2002).
32. Kaastra, I. and Boyd, M., “Designing a neural network for forecasting financial and economic time series”, *Neurocomputing*, 10(3): 215-236 (1996).
33. Rojas, R., “Threshold Logic, Neural Networks, A Systematic Introduction 2nd ed.”, *Springer*, Berlin, 29-30 (1996).
34. Ergezer, H., Dikmen, M. ve Özdemir, E., “Yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri” *Pivolka*, 2 (6): 14-17 (2003).
35. Haykin, S., “Neural Networks: A Comprehensive Foundation”, *Perenctice Hall*, New Jersey, (1999).
36. Aktaş, M. ve Okumuş, H. İ., “Doğrudan moment kontrollü asenkron motorun stator direncinin yapay sinir ağı ile kestirimi”, *International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks*, Çanakkale, 189-191 (2003).
37. Werbos, P.J., “Beyond Regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences”, PhD Thesis, *Harvard University*, Cambridge, 11-13 (1974).
38. Hamzaçebi, C. ve Kutay, F., “Yapay sinir ağları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19 (3): 227-233 (2004).
39. Koç, M. L., Balas, C. E. ve Arslan, A., “Taş dolgu dalgakıranların yapay sinir ağları ile ön tasarımı”, *İMO Teknik Dergi*, 225: 3351-3375 (2004).

40. Keleşoğlu, Ö., Ekinci, C.E. ve Fırat, A., “Yalıtım hesaplarında yapay sinir ağlarının kullanımı”, *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 18 (3): 58-66 (2005).

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa YILMAZ 1972 yılında Karabük'te doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Karabük Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü'nden mezun oldu. 1990 yılında Gazi Üniversitesi Sanat Eğitimi Meslek Yüksekokulu'nda yüksek öğrenime başlayıp 1992 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'ne geçiş yaptı ve 1996 yılında iyi derece ile mezun oldu. 1996 yılında Ordu Merkez Anadolu Teknik, Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi'nde öğretmen olarak göreve başladı. 2005 yılında Sakarya Anadolu Teknik, Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi'ne tayin oldu. 2010 yılında Karabük Üniversitesi Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı ve halen aynı yerde çalışmaya devam etmektedir. Halen; 2009 yılında başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı altında sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Meslek Yüksekokulu
Balıklarkayası Mevkii / KARABÜK

Tel : (505) 806 8876

E-posta : mustafayilmaz@karabuk.edu.tr