

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MOTORLARINDA MEYDANA
GELEN ARIZALARININ ENERJİ
TÜKETİMİNE ETKİSİ

Kürşat TURKAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Makinalar ve Güç Elektroniği Programı

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Engin AYÇİÇEK

Ocak, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MOTORLARINDA MEYDANA GELEN
ARIZALARININ ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİ

Kürşat TURKAY tarafından hazırlanan tez çalışması tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Makinaları ve Güç Elektronik Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğretim Üyesi Engin AYÇİÇEK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğretim Üyesi Engin AYÇİÇEK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Selin ÖZÇİRA ÖZKILIÇ, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Murat TEZCAN, Üye
Dumlupınar Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Engin Ayçiçek sorumluluğunda tarafımda hazırlanan “Elektrik motorlarında meydana gelen arızalarının enerji tüketimine etkisi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Kürşat TURKAY

İmza

Eşime
Ve
Oğluma

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince, destek verip yol gösteren, bana kıymetli vaktin ayırıp yardımcı olan danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Engin AYÇIÇEK'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca her daim yardımcı olan Öğ. Gör. Dr. Mustafa Gürkan AYDENİZ'e teşekkürlerimi sunarım

Tez çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan kıymetli eşim Ayşegül TURKAY, oğlum Deniz TURKAY, eğitim öğretim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen annem Hatice TURKAY ve babam Mehmet TURKAY başta olmak üzere tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Kürşat TURKAY

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
2 ELEKTRİK MOTOR ARIZALARI	5
2.1 Mekanik Arızalar	5
2.1.1 Rulman Arızaları.....	6
2.1.2 Mil ve Kapak Arızaları.....	8
2.2 Sargı Arızaları.....	11
2.2.1 Stator Sargı Arızaları.....	11
2.2.2 Endüvi Sargı Arızaları.....	15
2.3 Diğer Arızalar	15
3 ARIZA TESPİTİ VE ARIZA TESPİT YÖNTEMLERİ	21
3.1 Arıza Tespit Yöntemleri.....	21
3.1.1 Gerilim,Akım,Hız Değerlerinin Ölçülmesi.....	21
3.1.2 Titreşim Testlerinin Yapılması.....	22

3.1.3 Sıcaklık Testlerinin Yapılması.....	23
3.1.4 Kasnak-Kaplin Ayarının Yapılması.....	24
3.1.5 İzolasyon Direnci Ölçümleri.....	26
3.1.6 İndüktans-Direnç Ölçümleri	27
3.1.7 Hi-pot ve Surge Testleri.....	27
3.1.8 Kollektor Ovalite Ölçümlerinin Yapılması.....	30
3.1.9 Balans Alınması.....	33
4 ENERJİ TÜKETİMİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER	35
4.1 Elektrik Motor Verimliliği.....	35
4.2 Elektrik Motor Verimlilik Sınıfları.....	37
4.3 Enerji Tasarrufu ve Önemi.....	37
4.4 Verimlilik-Enerji Tüketimi İlişkisi	38
4.5 Elektrik Motor Arızalarının Motor Performansı ve Enerji Tüketimi üzerine etkisi.....	40
5 ELEKTRİK MOTORLARINDAKİ ARIZALARIN ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR.....	41
5.1 435 kW Asenkron Motor Çalışması.....	41
5.1.1 Arıza Tespiti.....	42
5.1.2 Arızanın Giderilmesi.....	48
5.1.3 Arıza Gideilmesi Sonrası ölçümler.....	50
5.1.4 Değerlendirme.....	55
5.2 165 kW DC Motor Çalışması.....	57
5.2.1 Arıza Tespiti.....	58
5.2.2 Arızanın Giderilmesi.....	59
5.2.3 Arıza Gideilmesi Sonrası ölçümler.....	60
5.2.4 Değerlendirme.....	60
5.3 71 kW DC Motor Çalışması.....	62

5.3.1 İmalat Sonrası İlk Ölçümler.....	62
5.3.2 Motorun 1.Arızalı Gelişi Öncesi ve Sonrası Ölçümler.....	63
5.3.3 Motorun 2.Arızalı Gelişi Öncesi ve Sonrası Ölçümler	64
5.3.4 Motorun 3.Arızalı Gelişi Öncesi ve Sonrası Ölçümler.....	67
5.3.5 Değerlendirme.....	69
6 SONUÇ	72
KAYNAKÇA	75
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	78

SİMGE LİSTESİ

I	Akım
Ω	Direnç
f	Frekans
V	Gerilim
Hz	Hertz
kW	Kilowatt
m	Metre
mm	Milimetre
s	Saniye
$^{\circ}C$	Santigrat Derece

KISALTMA LİSTESİ

A	Akım
AC	Alternative current (Alternatif akım)
C	Kapasite
DC	Direct current (Doğru akım)
Hİ-POT	High potential (Yüksek gerilim)
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IR	İnfrared (Kızılötesi)
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
L	Endüktans
RMS	Root Mean Square (Karekök Ortalama)
RPM	Revolutions per minute (Dakikadaki devir sayısı)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Elektrik motorları arıza oranları	5
Şekil 2.2 Rulman dağılımı.....	7
Şekil 2.3 Rulman yüzeyindeki hasarlar	7
Şekil 2.4 Rulman yeri sıkı olan kapaktaki arıza	9
Şekil 2.5 Mil arızaları	10
Şekil 2.6 Pervane hasarı.....	10
Şekil 2.7 İkaz voltajı kesilen motor	12
Şekil 2.8 İkaz sargılarında kavrulma	12
Şekil 2.9 Yardımcı sargı arızası ve komütasyonun kollektore etkisi	13
Şekil 2.10 Yıldız ve üçgen bağlantı klemensi	14
Şekil 2.11 Endüvi sargı arızaları.....	15
Şekil 2.12 Kollektor iç, dış ve yüzey görünüşü.....	16
Şekil 2.13 Uygun olmayan kollektor kullanımı arızası	17
Şekil 2.14 Orjinal kömür ve arklı çalışan boyu kısalan kömür	18
Şekil 2.15 Fırça ve fırça tutucu hasarı	18
Şekil 2.16 Soğutma fanındaki filtre tıkanmasının sonuçları.....	19
Şekil 3.1 Kaplin bağlantıları.....	25
Şekil 3.2 Hi-Pot sonuç fotoğrafı	28
Şekil 3.3 Ac stator sargı grafiği	29
Şekil 3.4 Arızalı ac stator sargı grafiği	29
Şekil 3.5 Yüzeyi problemlili kollektor	31
Şekil 3.6 Yüzeyi problemlili kollektorun ovalite ölçümleri	31
Şekil 3.7 Bakımları yapılan kollektor.....	32
Şekil 3.8 Bakımları yapılan kollektor ovalite ölçümleri.....	32
Şekil 3.9 Balans raporu.....	34
Şekil 4.1 Elektrik tüketim oranları	35
Şekil 4.2 Motor kayıpları.....	36
Şekil 4.3 IE2-IE3 verimlilik sınıfları elektrik tüketim karşılaştırılması	39
Şekil 4.4 IE2-IE4 verimlilik sınıfları elektrik tüketim karşılaştırılması	39

Şekil 5.1	435 kW motor etiketi.....	41
Şekil 5.2	Motorun genel görüntüsü	42
Şekil 5.3	Motorun arıza giderimi öncesi 10 dakikalık akım değerleri	43
Şekil 5.4	Motorun arıza giderimi öncesi termal kamera ölçümleri	44
Şekil 5.5	Motorun arıza giderimi öncesi titreşim ölçümleri.....	45
Şekil 5.6	Motorun arıza giderimi öncesi kaplin hizamalama ölçümleri.....	46
Şekil 5.7	Motor sargılarının arıza giderimi öncesi 3 fazının surge testi grafiği ...	47
Şekil 5.8	Motor sargılarının arıza giderimi öncesi 3 fazının karşılaştırılmalı surge testi grafiği	47
Şekil 5.9	Motorun kirlilik görüntüsü	49
Şekil 5.10	Kirlerinden arındırılmış sargıların surge testi grafiği.....	49
Şekil 5.11	Arka kapak mekanik ölçümü.....	50
Şekil 5.12	Motorun arıza giderimi sonrası 10 dakikalık akım değerleri	52
Şekil 5.13	Motorun arıza giderimi sonrası termal kamera ölçümleri	53
Şekil 5.14	Motorun arıza giderimi sonrası titreşim ölçümleri.....	54
Şekil 5.15	Motorun arıza giderimi sonrası kaplin hizamalama ölçümleri.....	55
Şekil 5.16	165 kW dc motor etiketi.....	58
Şekil 5.17	İkaz sargılarının yeniden kavrulması	59
Şekil 5.18	Yardımcı sargılarının yeniden kavrulması	59
Şekil 5.19	Sargıları yenilenmiş endüktör	60
Şekil 5.20	İmalatı yapılan motorun etiketi	62
Şekil 5.21	İkaz sargılarının yeniden kavrulması	63
Şekil 5.22	2.kez ikaz sargılarının yeniden kavrulması	65
Şekil 5.23	Yardımcı sargılarının yeniden kavrulması	65
Şekil 5.24	Kollektor yüzeyinde bozulmalar	66
Şekil 5.25	2.kez kollektor yüzeyinde bozulmalar.....	68

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 ISO 10816 standartları	23
Tablo 3.2 İzolasyon sınıfları IEC 34 – 1 tablosu	24
Tablo 3.3 İzolasyon direnç ve seviye tablosu	27
Tablo 3.4 Yeni sarımı yapılan ya da yeni motorlar için test değerleri	28
Tablo 3.5 Çalışan motorlar için test değerleri	28
Tablo 5.1 Motorun arıza giderimi öncesi akım değerleri.....	43
Tablo 5.2 Motorun arıza giderimi sonrası akım değerleri.....	51
Tablo 5.3 Motor güç tablosu	56
Tablo 5.4 İşletme kazanç tablosu	57
Tablo 5.5 Motor ayrıntılı etiket bilgileri	58
Tablo 5.6 Motorun arıza giderimi öncesi %20 yükte elektriksel değerleri.....	58
Tablo 5.7 Motorun arıza giderimi sonrası %20 yükte elektriksel değerleri.....	60
Tablo 5.8 165 kW motor güç tablosu.....	61
Tablo 5.9 İşletme kazanç durumu	61
Tablo 5.10 İmalat sonrası motorun yüksüz (boşta)performansı.....	62
Tablo 5.11 1. arıza gelişi motorun yüksüz(boşta)performansı.....	63
Tablo 5.12 1. arıza giderilmesi sonrası motorun yüksüz(boşta)performansı	64
Tablo 5.13 2. arıza gelişi motorun yüksüz (boşta)performansı.....	64
Tablo 5.14 2. arıza giderilmesi sonrası motorun yüksüz (boşta)performansı	67
Tablo 5.15 3. arıza gelişi motorun yüksüz (boşta)performansı.....	67
Tablo 5.16 3. arıza giderilmesi sonrası motorun yüksüz(boşta)performansı	69
Tablo 5.17 İmalat sürecinden itibaren motor performans tablosu	69
Tablo 5.18 Motor maliyet tablosu	70
Tablo 5.19 İmalat sürecinden itibaren motor arıza tablosu.....	70
Tablo 5.20 Bakım onarım maliyetinin kazanca dönüşme süresi.....	70

ÖZET

Elektrik Motorlarında Meydana Gelen Arızaların Enerji Tüketimine Etkisi

Kürşat TURKAY

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Makinalar ve Güç Elektroniği Programı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğretim üyesi Engin AYÇİÇEK

Son yıllarda artan döviz fiyatları sebebiyle özellikle ülkemizdeki işletmelerde enerji harcamaları bütçelerinde önemli bir yer tutmuştur. Bu nedenle enerji tüketimini azaltacak çalışmalar yapmaktadırlar.

Elektrik motorlarının enerji sarfiyatı sanayide işletmelerde tüketilen enerji sarfiyatında en yüksek orana sahiptir. Bu nedenle elektrik motorlarında enerji tüketimi azaltmak işletmeler için çok önemlidir. Bu enerji tüketimini azaltmak için çeşitli çözümler üretilmektedir.

Son yıllarda asenkron motorlar için verimlilik sınıflarının IE3 ve üstü şekilde olma zorunluluğu sebebiyle sistemdeki verimsiz motorlar daha verimli motorlarla değiştirilerek enerji tüketimleri azaltılmaktadır.

Elektrik motorlarında meydana gelen arızalar enerji tüketimine olumsuz yönde etki etmektedir. Bu nedenle elektrik motorlarında arızaların doğru tespit edilmesi, arızaların başlangıç seviyesinde tespiti ve doğru yöntemlerle arızaların giderilmesi enerji tüketimi açısından çok önemlidir.

Tez çalışmasında ilk önce elektriksel arızaların sebepleri, çeşitleri ve sebep olduğu sonuçlar ele alınmıştır. Burada arızaların kaynakları belirtilmiştir. Daha sonra elektrik motor arızalarının tespit yöntemleri ele alınmıştır. Her tespit yöntemiyle ilgili örneklendirme anlatılmıştır. Ayrıca meydana gelen arızaların enerji tüketimine etkileri belirtilmiştir.

Tez çalışmasının son aşamasında öncelikle iki tip motor ele alınarak öncelikle arızalı durumu incelenmiştir. Daha sonra arızaların tespit edilme ve giderilme yöntemleri ayrıntılı şekilde anlatılmıştır. Arıza giderildikten sonraki değerler ilk değerleriyle kıyaslanıp enerji tüketimine etkisi değerlendirilmiştir.

Son örnekte ise elektrik motorunun imalat sürecinden başlanarak arıza tarihçesi ele alınmıştır. 3 kez arızalı duruma gelmesinin enerji tüketimine etkisi ve arıza giderim maliyeti hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yenisi ile değişiminin ekonomik olma durumu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik motor arızaları, arıza tespiti, enerji tüketimi, motor verimliliği

ABSTRACT

Effect of electric motor failures on energy consumption

Kürşat TURKAY

Department of Electrical Engineering

Master of Science

Supervisor: Dr. Faculty member Engin AYÇİÇEK

In recent years, due to the increasing foreign exchange rates, energy expenditure has taken an important place in the budgets of businesses in our country. For this reason, they are carrying out studies to reduce energy consumption. The energy consumption of electric motors has the highest rate in the energy consumption consumed in businesses in the industry. For this reason, reducing energy consumption in electric motors is very important for businesses. Various solutions are produced to reduce this energy consumption. In recent years, due to the requirement that the efficiency classes for asynchronous motors be IE3 and above, inefficient motors in the system are replaced with more efficient motors and energy consumption is reduced. Faults occurring in electric motors have a negative effect on energy consumption. For this reason, correct detection of faults in electric motors, detection of faults at the initial level and elimination of faults with the right methods are very important in terms of energy consumption.

In the thesis study, firstly, the causes, types and results of electrical faults are discussed. The sources of the faults are specified here. Then, the detection methods of electric motor faults are discussed. An example is given for each detection method. In addition, the effects of the faults that occur on energy consumption are stated. In the last stage of the thesis study, two types of motors were considered and

firstly their faulty status was examined. Then, the methods of detecting and eliminating faults were explained in detail. The values after the fault were eliminated were compared with the initial values and the effect on energy consumption was evaluated.

In the last example, the fault history of the electric motor was taken into consideration starting from the manufacturing process. The effect of being faulty 3 times on energy consumption and the cost of fault elimination were calculated. According to the results obtained, the economic situation of replacing it with a new one was evaluated.

Keywords: Electric motor faults, fault detection, energy consumption, motor efficiency

1.1 Literatür Özeti

Elektrik motor arızaları ile ilgili çalışmalar;

Robles ve arkadaşları, 2024'te yaptığı çalışma ile komutasyon ve fırça sistemini incelemiştir. Öncelikle ark durumunu ve sebeplerini belirtmiştir. Yaptığı çalışmada komutasyon sonucu oluşan arklardan sonra akım sinyalleri incelenerek arıza durumu konusunda inceleme yapılmıştır. Böylece DC motorlar için en önemli konu olan komutasyon konusunda önemli çıkarımlar yapmıştır [1].

Kürşad ve arkadaşları, 2022'de yaptığı çalışmada elektrik motorlarındaki stator arızasını incelemiştir. Elde edilen değerlerin motorlarda elektriksel ve mekaniksel özelliklere etkisini değerlendirmiştir. Motor yükü arttıkça arızalarında arttığı konusunda değerlendirmede bulunmuştur [2].

Patros ve arkadaşları, 2019'da yaptığı çalışmada elektrik motorlarında mekanik ve elektrik arızaları inceleyip sebeplerini gösterip arıza oranlarının nasıl azaltılması konusunda bilgiler vermiştir [3].

Lale ve arkadaşları, 2018'de yaptığı çalışmada mıknatısların yerleşimlerinin performansa etkisi incelemiştir. Doğru mıknatıs yerleşiminin olumlu etkileri incelenmiştir [4].

Bazurto ve arkadaşları, 2016 yılında yaptıkları çalışmada elektrik motorlarının arıza tiplerini incelemiştir. Arızaların gerçekleşme oranları konusunda detaylar vermişlerdir. Ayrıca arıza tiplerini sınıflandırmışlardır. Özellikle elektrik motorlarında meydana gelen arıza tiplerinden çoğunluğa sahip mekanik arıza detayları incelenmiştir. Nedenleri konusunda bilgi verilerek doğru motor seçimi ve motorun düzgün kullanımının önemini belirtmiştir [5].

Abdurrahman ve arkadaşı, 2015'te yaptığı çalışmada asenkron motorlarda meydana gelen arızalar konusunda bilgiler vermiştir. Özellikle arızasız motor ve arızalı motor karşılaştırılması yaparak arızaların motor performansına etkisi konusunda incelemeler yapmıştır [6].

Yeh ve arkadaşları, 2008'de yaptığı çalışmada çok fazlı asenkron motorları incelemiştir. Bu motorların arızaları konusunda değerlendirmelerde bulunmuştur. Sargı arızalarını incelemiş ve kısa devre arızaları konusunda değerlendirme yapmıştır. Ayrıca rotor çubukları konusunda değerlendirilmelerde bulunmuştur [7].

Elektrik motor arıza tespiti ile ilgili çalışmalar:

Abdülamed ve arkadaşı, 2020'de yaptığı çalışmada bakım yöntemlerini incelemiştir. Öncelikle motor duruşlarının maliyetleri incelenerek arıza tespitinin önemi vurgulanmıştır. Bakım yöntemlerinden kestirimci bakımının doğru yöntem olduğunu göstermiştir. Yağ testi, titreşim testi, Sıcaklık ölçümü ve Ultrasonik ölçümler ile arıza tespit yöntemleri anlatılmıştır. Her yöntemin bulabileceği arızalar anlatılarak arıza tespitinde yol gösterici bir çalışma yapılmıştır [8].

Güngör ve arkadaşı, 2018 yılında yaptığı çalışmada Çimento sektöründeki kestirimci bakım konusunu incelemiştir. Vibrasyon arızası ile analiz yaparak rulman arızasının tespitinde bulunmuştur. Ayrıca termal kamera ile sıcaklık ölçümü konusunda bilgiler verip arıza tespiti yapmıştır. Arıza tespit yöntemlerinin avantajları konusunda bilgiler vermiştir [9].

Tufan ve arkadaşı, 2016'da yaptığı çalışmada elektriksel ve mekaniksel arızaları incelemiş ve bu arızalardan rotor çubuğu kırılması konusuna yoğunlaşmıştır. Bu arıza tipinin sebeplerini ve daha önce tespit edilme durumunu incelemiştir. Arıza tespitinin önemi konusunda bilgi vermiştir [10].

Veysel ve arkadaşı, 2014'te yaptığı çalışma ile titreşim analizi ile arıza tespitini incelemiştir. Yaptığı çalışmada kullandığı fanda ön ve arka kapaklardan ölçüm değerleri almış ve bu sonuçları değerlendirilmesiyle doğru arıza tespitinin önemini vurgulamıştır. Ayrıca titreşim analizi sonucunda balanssızlık probleminin tespit edilebildiğini göstermiştir [11].

Jadin ve arkadaşları, 2012'te yaptıkları çalışmada termal görüntülemenin elektrik sistemlerinde önemini belirtmiştir. Yapılan çalışmada termal görüntülenme ile arıza tespitinin yapılması konusu incelenmiştir [12].

Sadettin 2011’de yaptığı çalışmada titreşim analizinin doğru yorumlanması ve ölçüm sonuçlarını değerlendirmiş. Titreşim analizi ile rulman arızaları ve balanssızlık probleminin tespit edilebileceği göstermiştir [13].

Behbahanifard ve arkadaşları, 2008’de yaptıkları çalışmada stator arızaları üzerine yoğunlaşmışlardır. Öncelikle bu arızaların sebepleri belirtilmiştir. Bu arızaları arıza tespit teknikleri başlığında değerlendirerek özellikle titreşim analizi konusunda incelemeler yapmışlardır. Ayrıca akım imza analizi yöntemiyle arıza tespitleri yapmıştır [14].

Siddique ve arkadaşları, 2005’te yaptığı çalışma ile stator arızalarını ve stator arıza tespit yöntemlerini incelemiştir. Magnetik akı, gürültü, titreşim analizi ve sıcaklık parametreleri ile arıza tespiti konusunda örneklemeler yapmıştır. Ayrıca stator sargıları için surge testiyle arıza tespiti yapılabilmesi konusunu incelemiştir [15].

Elektrik motorları verimliliği ve enerji tüketimi konusunda yapılan çalışmalar.

Alper ve arkadaşları, 2023 yılında elektrik motor sınıflarını ve enerji tüketimleri üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalar kapsamında verim artırma metodları incelenerek verimlilik üzeri bilgiler verilmiştir [16].

Herrera ve arkadaşı, 2019 yılında elektriksel ve mekaniksel arızaların motor verimliliği üzerine etkileri konusunda çalışma yapmışlardır. Hizalama yani aksel kaçıklık, bağlantı civatarında gevşeklik, soğutma fan problemleri ve aşırı ısınma kaynaklı izolasyon problemleri incelenerek verim üzerine etkiler konusunda çalışma yapmışlardır [17].

Yavuz ve arkadaşı, 2017’de yaptığı çalışmada asenkron motorlarda meydana gelen arızaları incelemiş ve olabilecek sebepleri belirtmiştir. Ayrıca bu arızalarla ilgili arıza tespiti konusuna değinmiş ve arıza tespitinin doğru yapılması sonucunda elektrik tüketimine katkısının önemini belirtmiştir [18].

1.2 Tezin Amacı

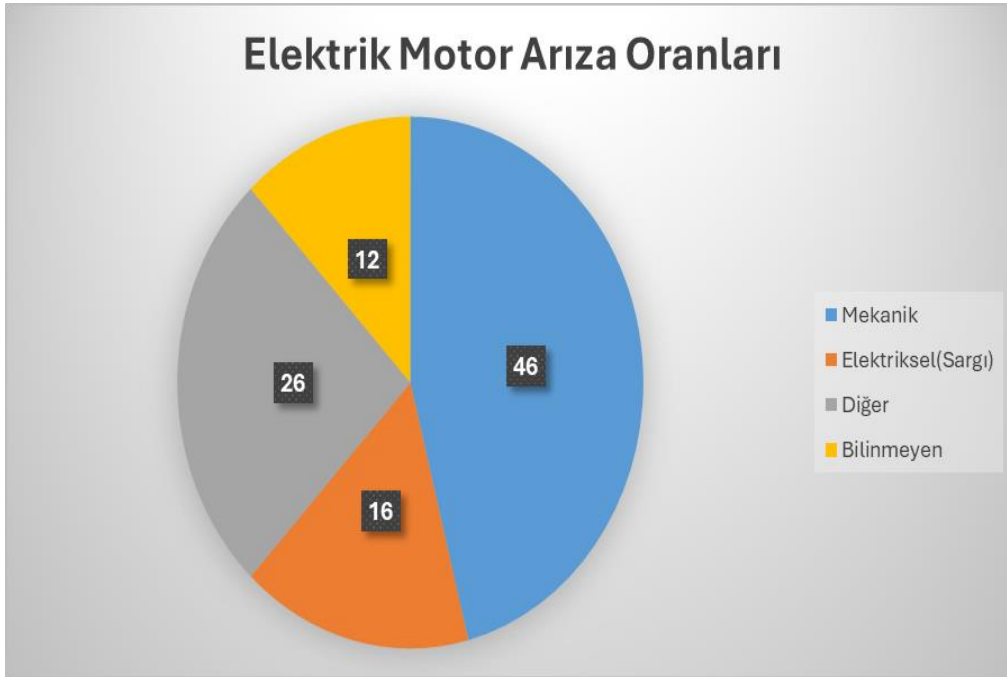
Bu çalışmanın temel amacı, elektrik motorlarının arızalarının sebepleri verilerek doğru arıza tespit yöntemiyle arızaların ortadan kaldırılması ve arızaların performansı üzerine etkilerinin sonuçlarını ortaya koymaktır. Arızalı sistemlerin enerji tüketim incelenerek elektrik tüketimi konusunda olumsuz durumları ortaya konmuştur. Arızalı ve arızası giderilen motorun çalışma performansların

incelenerek arıza gideriminin önemi belirtilmiştir. Bakım onarım maliyetleri, enerji tüketimleri kıyaslanarak avantajlı durumlar belirtilmiştir. Özellikle kestirimci bakım uygulamalarının yapılmasının arıza başlangıcından önce tespiti ya da arızanın daha ileri boyutuna geçmeden tespitininde önemli bir kazanç sağlamaktadır.

Motorların arızayı tekrarlama durumları buna bağlı verimin düşmesi ve arıza maliyetleri göz önüne alınarak yeni motor ile değişimi konusunda değerlendirmeler yapılarak yeni motor ekonomik olma durumu yorumlanmıştır. Böylece işletmeler arıza giderimi sonrası elde ettikleri enerji tüketimi kazancı dışında yeni motor değişimi ile de kazanç sağlayabileceği anlatılmıştır. Hem sistemin daha efektif çalışmasını hem de bu değişim ile enerji tüketimde büyük kazançlar sağlayabilme durumunu bu çalışma ortaya koymuştur.

2 ELEKTRİK MOTOR ARIZALARI

Elektrik motorlarında kullanıldığı yer, kullanım koşulları ve motor ömrü kaynaklı birçok arızalar oluşabilmektedir. Özellikle bu arıza tiplerinin yoğun yaşanması ve kategorize edilmesine bağlı olarak Mekanik ve Sargı arızaları şeklinde 2 başlıkta belirtebiliriz [3]. Elektrik motorlarında meydana gelen arızaların orantısal dağılımı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Elektrik motor arıza oranları

2.1 Mekanik Arızalar

Elektrik motorlarında meydana gelen arızaların önemli kısmının mekanik arızalar oluşturmaktadır [3]. Mekanik arızalarında büyük bir kısmını rulman arızaları oluşturmaktadır [19]. Rulman arızaları dışında mekanik arızalar olarak mil ve kapak arızalarını da örnek gösterebiliriz. Özellikle üretilen elektrik motorunun zamanla

orjinal mekanik ölçülerinde (kapak rulman yerleri, mil rulman yerleri, mil ölçüsü) değişmeler mekanik arızaların kapsamındadır. Ayrıca mekanik arızaların oranı motorun çalışma ömrü arttıkça artmaktadır. 5 yıllık çalışmadan sonra mekanik sorun oranı %30'un üzerine çıkmıştır ve 10 yıllık çalışmadan sonra mekanik arıza oranı iki katına çıkmıştır [3].

2.1.1 Rulman Arızaları

Rulmanlar elektrik motorlarının kalbidir. Özellikle mekanik arızalarda Rulmanlarda meydana gelen arızalar motordaki sürtünme kayıplarını doğrudan etkiler. Bu da verime doğrudan etki eder. Çünkü mekanik gücün en az sürtünmeyle aktarılması gerekir. Rulmanlar uzun ömürlü, dayanıklı, yüksek güçlü olarak imal edilirler.

Rulmanlarda yetersiz veya fazla yağlama, aşırı yük, aşırı dönüş hızı, küçük iç boşluğunun fazlalığı, döküntü, kir veya su girişi, yatak hassasiyetinin yetersizliği, balanssızlık, kaplin ayarı veya aksel kaçıklık gibi nedenlerden dolayı rulman arızaları meydana gelebilir [13]. Her rulmanın bir ömrü vardır. Yapılan bir araştırmaya göre, elektrik motorlarındaki rulmanların sadece %34'ü kendi ömrünü tamamladığı ortaya çıkmıştır. %66'sı ise kullanım ömrü tamamlanmadan bir arıza nedeniyle erkenden değiştirilmek zorunda kalmaktadır [7].

Rulmanlarda meydana gelen arızalar sistemin sorunlu çalışmasına sebep olmaktadır. Rulmanlardaki problemler sistemde titreşime sebep olabilmektedir. Titreşimle birlikte hem kapaklarda hem de mil kısmında aşınmalar olabilmektedir. Ayrıca rulmanda meydana gelen hasarlar sargılara da zarar verebilmektedir. Bu nedenle özellikle rulmanların çalışmasını izlenmeli ve belirli periyotlarla bakımı ya da değişimi yapılmalıdır.

Şekil 2.2'de görüldüğü üzere rulmanlar hasarlanması sonucunda rulman parçaları dağılmaktadır. Rulman dağılması arızalarda sargılarda da problemler olabilmektedir. Dağılan parçalar motor dönmeye devam etmesi durumunda daha büyük arızalara da sebebiyet vermektedir.



Şekil 2.2 Rulman dağılması

Ayrıca rulman yüzeylerinde de sürtünme kaynaklı hasarlar olabilmektedir. Şekil 2.3'te görüldüğü rulman yüzeylerinde hasarlar oluşabilmektedir. Özellikle seramik kaplı rulmanlarda yüzeylerdeki hasarlar rulmanın özelliğini ortadan kaldırmaktadır. Yüksek izolasyon direncini seramik kaplamayla sağlayan bu rulmanlarda yüzeydeki problem rulmanı işlevsiz hale getirmektedir.

Seramik rulmanlar elektrik korozyonu ile oluşan rulman arızalarına karşı yüksek yalıtım direnci sağlar. Rulmanlar, rulman çeliğine düzgünce yapışabilmesi için plazmayla kaplanmıştır. Kaplama, elektriksel direncin aşındırıcı etkilerini önlemeye yardımcı olan özel akrilik reçineyle korunmaktadır [20].



Şekil 2.3 Rulman yüzeyinde hasarlar

Rulmanlardaki arızaların giderilmesi için öncelikle rulmanların ömrü dikkate alınmalıdır. Ayrıca rulman yüzeyi ve ölçüleri kontrol edilmelidir. Sistemde motor çalışırken titreşim ölçülerinin yapılması da arızanın tespit için önemlidir.

Rulmanların değişimi özel ısıtıcılarla rulmanlar ısıtılarak mildeki orjinal yerine takılarak yapılmaktadır.

2.1.2 Mil ve Kapak Arızaları

Elektrik motorlarında, rulman arızaları dışında mekanik arızalar kapaklarda ve milde gerçekleşmektedir. Elektrik motorlarında, her iki kapaktazamanla rulmanların çalıştığı bölgede aşınmalar olabilmektedir. Bu aşınmalar hem gözle hem de yapılan mekanik ölçümlerle tespit edilebilmektedir. Ayrıca kapaklarda çatlaklar, kırılmalar da bu arızalara örnek sayılabilmektedir. Motorun titreşimli çalışması, kasnak kaplin ayarsızlığı vb. sebepler kapaklarda bu arızalara sebep verebilir. Kapaklardaki arıza tespitleri kapak rulman yerlerinin ölçülmesiyle ortaya çıkmaktadır.

Motor kapaklarında bulunan yatak yuvalarının aşırı aşınması sonucu yataklar boşluk yapar ve dönme esnasında tam verim alınmaz. Kapağın gövde ile birleşme yüzeylerinde yine aşınma sonucu eşit hava aralığı bozulur veya rotor statora sürter. Motor bakım ve onarımları esnasında kapaklarda çatlama, kırılma sonucunda rotorda balans bozukluğu oluşur.

Kapak rulman yerlerinin ölçülerinde problem olması durumunda rulman doğru yerde düzgün bir şekilde çalışmayacak ve motorda problemlere sebep olacaktır. Kapak ölçümleri standartlara göre yapılması gerekmektedir. Ölçüm standartları ve doğru ölçümlere ait fotoğraflar aşağıda belirtilmiştir.

Şekil 2.4'te görüldüğü üzere rulman yeri sıkı olan motorda rulman dönemeyip sıkışmış ve parçaları dağılmıştır.



Şekil 2.4 Rulman yeri sıkı olan kapaktaki arıza

Kapaklarda bollaşma ve sıkılaşıma sonucu arızalar olmaktadır. Kapak rulman yerinde bollaşma durumunda rulman yerinde çalışmayarak hem rulman bozulması hem de motorda titreşim olmasına sebep verebilmektedir. Kapak rulman yerinde sıkılaşıma ise rulmanın sıkışmasına ve sağlıklı çalışmamasına sebep olmaktadır. Bu durum hem rulmana zarar vermekte hem de milin rulman kaynaklı dönmesi sebebiyle yüksek akım çekmesine böylece daha büyük arızalara sebebiyet vermektedir.

Elektrik motorlarında kapak arızalarıyla birlikte mil arızaları da önemli bir yer tutmaktadır. Milde aşırı, ani ve büyük yüklenmeler ya da mekanik zorlanmalar nedeniyle mil burulması veya kırılması olabilir. Rulman yatağının aşınması, mil kama yuvasının veya kamanın bozulması, motor bakım ve onarımları esnasında mil başının şişmesi, mil çapının iletilecek güce uygun olmaması gibi nedenlerden motor milinde arızalar meydana gelir. Ancak bu tür arızalar nadir rastlanmaktadır. Bu durumda motor mili değiştirilmelidir [6].



Şekil 2.5 Mil arızaları

Motor milinin uzun süreli, aşırı ısınması sonucu soğutucu pervane göbeği (milde temas yüzeyi) eriyerek bollaşır. Bakım ve onarımlar sırasında veya mekanik darbelerden kaynaklanan, soğutucu pervane gövde veya kanatçıklarında çatlama veya kırılma gibi sebeplerden dolayı rotor balansı bozulabilir [10]. Şekil 2.6'da da pervane kanatlarındaki hasarlar gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Pervane hasarı

Mil - Kapak arızalarının giderimi konusunda birçok yol izlenmektedir. Mildeki hasara göre milin komple değişimi, kesilip yeni mil yapıp kaynatılması ya da rulman yerine sıcak geçme uygulaması yapılabilir. Kapaktaki hasara göre kapak değişimi, rulman yerinde burç işlemi yapılarak orjinal ölçülere getirilme ya da kapak rulman yeri temizliği yapılarak onarım işlemleri yapılabilir.

2.2 Sargı Arızaları

Elektrik motorlarında, rulman arızalarından sonra meydana gelen en yüksek orana sahip arıza tipi Stator sargı arızalarıdır [7].

Elektrik motorlarında, stator ve endüvi sargılarında meydana gelen arızalara; izolasyon direnci düşüklüğü, hava aralığının yetersiz olması, ısınma problemleri, makine içinde oluşan kirlilik, titreşimli çalışma, soğutma yetersizliği vb. birçok sebep neden olabilmektedir [5]. Sargı Arızaları ve sargı tipleri elektrik motor tiplerine göre değişmektedir.

2.2.1 Stator Sargı Arızaları

Stator sargı arızaları elektrik motorlarında önemli sorunlara sebep olmaktadır. Bu arızalar öncelikle izolasyon kaynaklı olup arıza tespit edilmediği takdirde sorun büyüyerek daha büyük problemlere sebep olabilmektedir [14]. Bu nedenle stator sargı arızalarının henüz başlangıç aşamasında iken tespit etmek motor ömrü ve üretim verimi için oldukça önem arz etmektedir [2].

Stator sargılarının izoalsyon ölçümleri yapılarak belirli periyotlarla verniklenme ya da kirlerinde arındırılması gereklidir [15].

Stator sargıları; DC tip motorlar için ikaz, yardımcı ve kompanzasyon sargıları şeklinde olup AC motorlar için tek tip Stator sargı arızaları başlığında değerlendirmekteyiz.

2.2.1.1 İkaz (Alan) Sargı Arızaları

İkaz (Alan)sargıları öncelikle temel elektomıknatıs oluşturur. Bu durum sonucunda endüvinin dönmesi için alan akısı oluşturulur. Alan bobinleri sargı oluşturmak için seri bağlanır. İkaz (Alan)sargılarının akı oluşturması sebebiyle gerilim değerini değiştirme diğer değerlerin sabit olması durumunda motorun devrini etkilemektedir. Gerilim değerinin artması motor devrini azaltan durumdur. İkaz (Alan)sargılarına gerilim uygulamadan motoru çalıştırmak akının oluşmaması sebebiyle rotorun çok hızlı bir şekilde dönmesine ve yüksek devirlere ulaşmasına sebep olur. Bu da motorda büyük arızalara sebep olmaktadır. Şekil 2.7’de görüldüğü üzere hem kollektor yüzeyinde hem de tüm sargılarda ikaz voltajı kesilmesi kaynaklı hasarlar oluşmuştur.



Şekil 2.7 İkaz voltajı kesilen motor

İkaz (Alan)Sargılarında arıza tespiti; direnç ölçümü, indüktans ölçümü, izolasyon direnci ölçümü ve etikette belirtilen gerilm değeri uygulanması sonucunda akım ölçülmesi ile yapılır.

İkaz (Alan)Sargıları sıcaklık artışında özellikle DC motorlarda ilk problem çıkartan sargılardır. Öncelikle tasarım açısından kullanılan tel diğer sargılara göre daha ince olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle motordaki sıcaklık artışından etkilenerek kullanılan tellerin üzerindeki emayede Şekil 2.8’de görülen hasarlar meydana gelmektedir. Böylece ikaz sargılarında arızalar ayrıca ikaz bobinin gözle tespiti ile yapılabilir. Telin üzerindeki emayenin kontrolü ile bu durum ortaya çıkar.



Şekil 2.8 İkaz sargılarında kavrulma

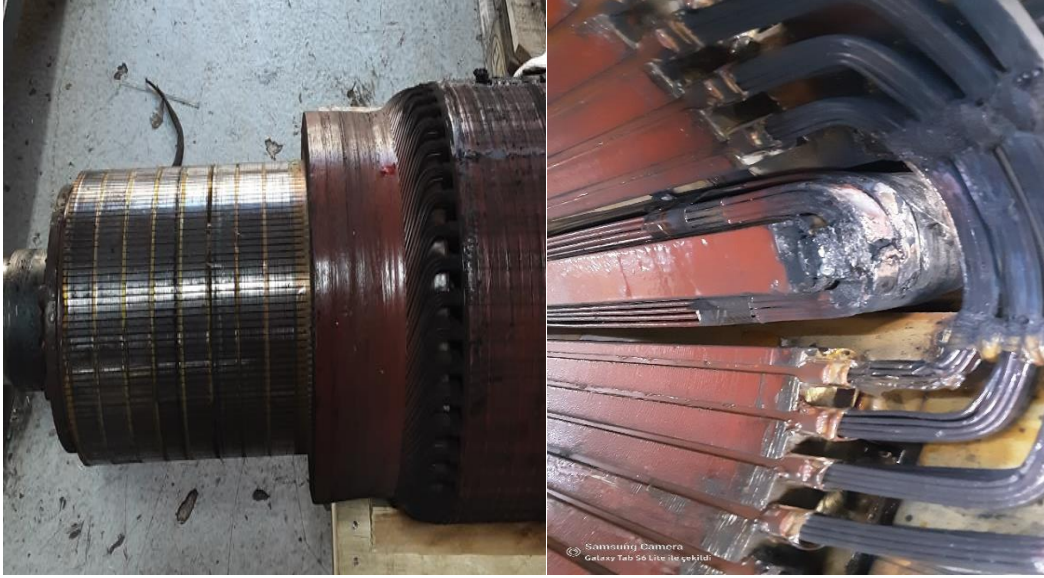
2.2.1.2 Yardımcı Sargı Arızaları

Yardımcı sargıları DC motorlarda komutasyon için çok önemlidir.

Komutasyon: Endüvi birlikte hareket eden iletkenlerdeki akımın yönü, iletken bir kutbun altından diğer kutbun altına doğru geçmesiyle yön değişikliğine uğrar. İşte bobin iletkenlerinden geçen akımın bu yön değiştirmesi olayına komütasyon denir.

Yardımcı sargı bobinin diğer kutbun etkisine girerek etkiyi sönmüleme mantığına dayanır. Yardımcı kutuplar, nötr eksen üzerine konumlanır ve bobinin üzerindeki gerilime zıt etki yaratacak şekilde kutuplandırılırlar. Yardımcı kutuplardan endüvi akımı geçirildiğinden dolayı oluşan manyetik alan, yüke göre değişen endüvi manyetik alanına karşılık aynı oranda ve zıt yönde değişecektir ve böylece ark oluşumu engellenecektir. Yardımcı sargılarda meydana gelen arızalar özellikle komutasyonda problem yaratacağı için fırçaların kollektor yüzeyinde arklı çalışmasına ve kollektor yüzeyine hasar vermesine sebep olmaktadır.

Yardımcı sargılarda meydana gelen arızalar direnç-indüktans ölçümleri, izolasyon direnci ölçümü, kollektor yüzeyinin kontrolü ve gözle tespit ile tespit edilebilir. Şekil 2.9'da kollektor yüzeyinde görülen hasarlar yardımcı sargılarda problem olduğuna işaret olmuştur.



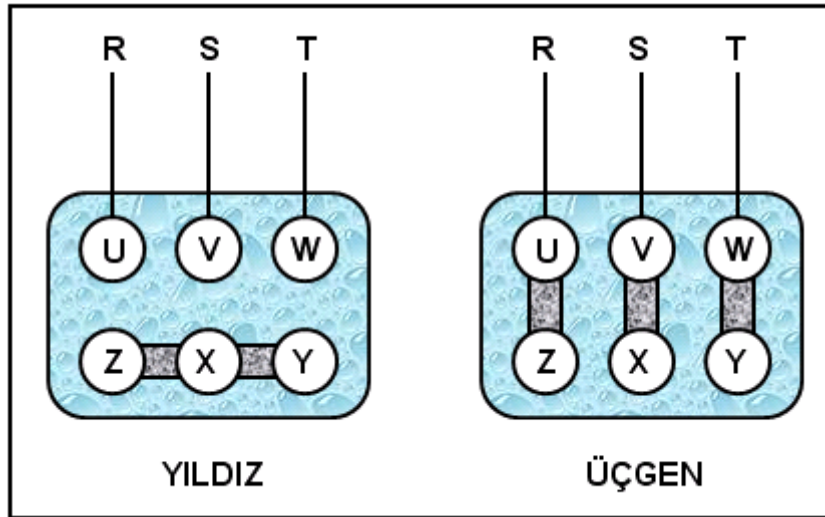
Şekil 2.9 Yardımcı sargı arızası ve komütasyonun kollektöre etkisi

2.2.1.3 Komutasyon Sargı Arızaları

Büyük güçlü ve büyük yüklerde, kullanılan DC motorlarda yardımcı kutbun etkisi yeterli olmaz. Ana kutuplardaki alan zayıflaması, kutup pabuçlarının köselerinde tek taraflı doyma meydana gelir, bu da endüvi sargılarında problemler oluşturur. Meydana gelen alan zayıflaması ana kutupların altına açılan oluklara yerleştirilen kompanzasyon sargı kullanılarak yok edilir. Bu sargılarda endüvi sargılarının akım yönüne zıt olması gerekir.

2.2.1.4 AC Stator Sargı Arızaları

AC motorlarda stator döner manyetik alanın olduğu yerdir. Oluklu silisli sacların preslenerek yapılıp dış kısmına saç, demir veya dökümden yapılmış gövdeden oluşur. Üç faz sargıları şalter olukları içerisine 120°'lik elektriki açı ile yerleştirilmiştir. Bu fazlardan dışarı çıkan kablo uçları çalışma prensibine göre Şekil 2.10'da gösterilen yıldız ya da üçgen bağlantı ile klemenste bağlanır.



Şekil 2.10 Yıldız ve üçgen bağlantı klemensi

AC motorlarda stator sargılarında meydana gelen arıza tespitleri;

- Fazlar arası indüktans-direnç ölçümleri
- Faz uçlarına surge ve hi-pot testlerin uygulanması
- Fazların toprak ile arasında izolasyon direnci ölçülmesi
- Motor sistemde çalışırken sargıların ısı değerlerinin ölçülmesi

ile tespit edilebilmektedir.

2.2.2 Endüvi Sargı Arızaları

DC motorlarda ve bilezikli Asenkron motorlarda endüvi kısmında sargılar bulunmaktadır. DC motorlarda kollektor dilimlerinin arasına sargıların seri ya da paralel olarak yerleştirilmesiyle endüvi sargısı oluşturulur.

Endüvi sargılarındaki arıza tespiti izolasyon direnci ölçümü, growler testi, surge ve hi-pot testleriyle tespit edilebilmektedir. endüvi sargılarından meydana gelen arızalar motorların yüksek akım çekmesine sebep olmaktadır.

Endüvi sargılarında yaşanabilecek arızalar;

- İzolasyon düşüklüğü
- Yanlış bağlantı ya da sarım
- Sargıların üzerindeki emayede hasarlar
- Sargılar üzerine atılan izolasyon malzemelerindeki problemler
- Sargı kopukluğu ve sargıda hasarlar (Şekil 2.11’de gösterilmektedir)



Şekil 2.11 Endüvi sargı arızaları

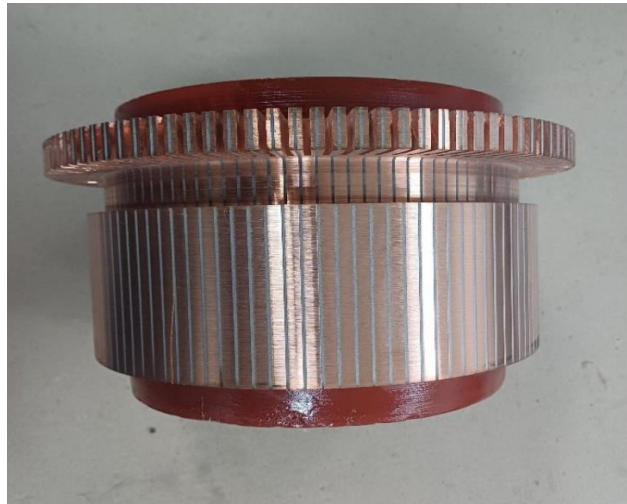
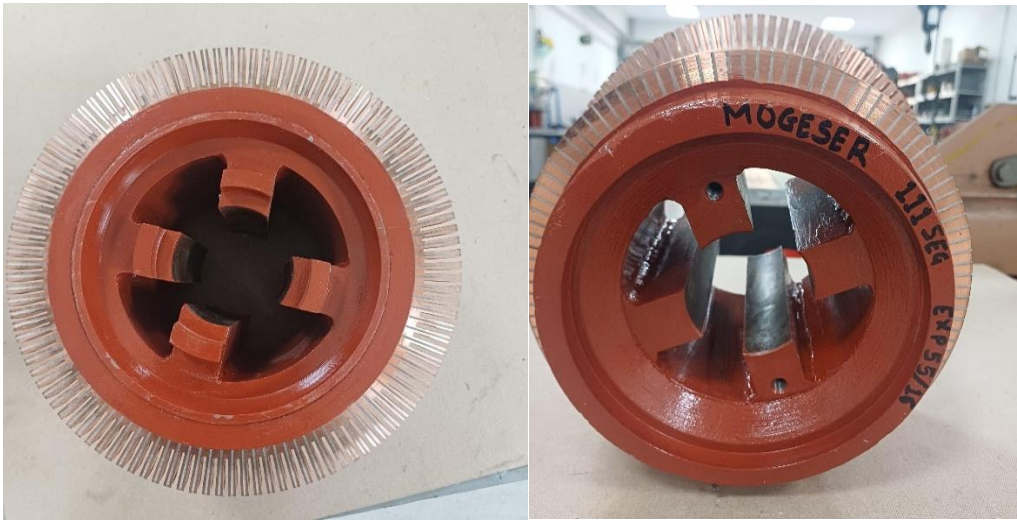
2.3 Diğer Arızalar

Elektrik motorlarında kullanıldığı yerlere göre sargı arızaları ve mekanik arızalar dışında birçok arıza da meydana gelebilmektedir. Özellikle DC motor ve bilezikli motorlarda kullanılan fırçaların çalışma bozukluğu ve kollektor hasarları bu arızalarında başlıcalarındandır.

Motorlarda kullanılan fırçalar elektrikli akımını iletmesi nedeniyle elektrik motorlarında önemli bir yer tutar. Bu nedenle fırçaların sağlıklı çalışması

motordaki problemleri minimum düzeyde olduğunu göstermektedir. Fırçaların arklı çalışması ise DC motorlarda en yaygın anormalliklerden biridir. Bu arklı çalışmanın öncelikle sebepleri arasında fırçanın temas ettiği kollektor yüzeyine temassızlık, kirlenme ve kollektor yüzeyinde ovalite problemi gösterilir [1].

DC Motorlarda fırçanın temas ettiği yüzeye kollektör ya da komutatör denir. Kollektor mika özellikli izolasyonla bakır malzemelerin silindirik olarak birleşmesi ile oluşmaktadır. Kollektorun v şeklindeki olukları, yüksek gerilime uygun fiberglass ile yalıtımı yapılan oluklar ve iç kısmında yer alan çelik halkalar birbirlerine mekani olarak kitlenerek tüm kollektörü oluşturmaktadır [21].



Şekil 2.12 Kollektor iç, dış ve yüzey görünüşü



Şekil 2.13 Uygun olmayan kollektor kullanımı arızası

Kollektorler yapısı anlamında yüksek akım değerlerine dayanıklı yapılması gerekmektedir. Aksi durumda kollektor sistemde çalışırken üzerindeki yük değerlerine dayanamayarak parçalanabilir. Şekil 2.13'te dayanıksız kollektorun parçalanması sonucundaki durumu gösterilmektedir.

Kollektorlerin yüzeyin pürüzsüz olması fırçaların çalışma için çok önemlidir. Fırçalarda meydana gelen arızalar, yardımcı sargılarda meydana gelen problemler ve endüvi sargılarındaki problemler kollektor yüzeyine hasar vermektedir.

Yardımcı sargılarda meydana gelen problemlerde fırçaların çalışmasına olumsuz etkilemektedir. Yardımcı sargılarda meydana gelen arızalar fırçaların arklı çalışmasına sebep olmaktadır. Bunun nedeni komutasyonun sağlanamamasıdır. Arklı çalışma ile fırçala boylarında azalma görülmektedir. Şekil 2.14'te görüldüğü üzere bu azalmalar sonucunda orjinal kömür ölçülerine göre büyük farklar mevcut olmaktadır.



Şekil 2.14 Orjinal kömür ve arklı çalışan boyu kısalan kömür

Fırçaların yuvalarındaki pozisyonu da çalışması için önemlidir. Fırça yaylarının tansiyon ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Ayrıca fırçalardaki problemler fırça tutucuyu da hasarlar vermektedir. Şekil 2.15'te fırça tutucuların arklanması sonucunda erimelerine ve hasarlanmaları gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Fırça ve fırça tutucu hasarı

Elektrik motorlarında kullanılan geri besleme elemanlarında da arızalar meydana gelebilmektedir. Encoder, resolver ve tako jeneratör sinyallerindeki problemler motorun performansını olumsuz etkilemektedir. Tako jeneratörler için ürettikleri gerilimdeki bozulmalarda arızaya sebebiyet vermektedir. Bu arızalar voltaj dengesizliği ve titreşimli çalışma kaynaklı olabilmektedir. Tako jeneratör devre göre gerilim üreten cihazlardır. Encoderler ise özellikle hassas sistemlerde

kullanılan cihazlardır. Milin pozisyonunu sisteme bildiren cihaz olan encoderde üretilen sinyallerin kontrolleri gerekmektedir. Ayrıca encoderlerde çalıştığı motor ve mil konumuna göre pozisyon ayarları vardır. Bu pozisyon ayarlarının doğru yapılması gerekmektedir. Encoderde konumlandırma doğru yapılmazsa sistem hiç çalışmayabilir ya da çalışan sistemde yapılan iş doğru konumla yapılmaz.

Soğutma sistemi arızaları da elektrik motorları için çok büyük sorunlar oluşturabilmektedir. Elektrik motorları performans verirken makine içinde meydana gelen ısının bir sistemle soğutulması gerekmektedir. Bu sistemlerdeki arızalar elektrik motorunun ısınmasına ve büyük sorunlara sebebiyet verebilmektedir. Soğutma sistemleri motor tiplerine göre hava üflemeli ya da su soğutma şeklinde olabilmektedir. Hava üflemeli sistemlerde arızaların başlıcaları filtre tıkanıklığı ya da kullanılan motordaki problemlerdir. Bu sistemlerdeki problemler Şekil 2.16'ta gösterildiği üzere tüm sargıların ısınmasına ve kavrulmalarına neden olabilir.



Şekil 2.16 Soğutma fanındaki filtre tıkanmasının sonuçları

Mıknatıslar DC motorlarda ve Servo motorlarda görülmektedir. DC motorlarda özellikle seri motorlarda stator kısmında sargı yerine mıknatıslar bulunmaktadır. Bu mıknatıslı yapı manyetik yapıyı oluşturup rotorun dönmesini sağlamaktadır. Mıknatısların arızalarının tespiti gauss ölçümleri ve motor devrinin ölçülmesi ile bulunabilmektedir. Servo motorlarda ise özellikle rotor kısmında mıknatıslı yapı bulunmaktadır.

Mıknatıslarda çeşitli arızalar meydana gelebilmektedir. Bunların sebepleri; zamanla mıknatıs özelliğini kaybetmesi, titreşim kaynaklı mıknatısta hasarlar, değişim sırasında uygun mıknatıs kullanılmaması ya da mıknatıs yerleşiminde problemler gösterilebilir. Mıknatıslı motorlarda yerleşimin doğru eksende yapılması hem verimliliği hem de performansı için önemlidir [4]. Mıknatısların zayıflaması ya da zamanla özelliğini kaybetmesi özellikle DC motorlarda motorun etiket değerinin üzerinde dönüş hızına sahip olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle mıknatısların hasarlarının olmaması durumuyla birlikte deşarj edilip daha sonra tekrar şarj edilmesi gerekmektedir. Servo motorlarda kullanılan mıknatısların özelliklerini kaybetmesi ya da zayıflaması sonucunda motorda ısı artışı gözlemlenmektedir. Ayrıca akım değerlerinde de yükselmeler görülür.

ARIZA TESPİTİ VE ARIZA TESPİT YÖNTEMLERİ

Arıza tespiti, verimlilik, ekonomik kayıp ve güvenlik açısından önem içermektedir. Elektrik motorlarında meydana gelen arızalar her ekipmanın kapsamlı testleriyle doğru şekilde tespit edilebilmektedir. Bu tespitlerin doğru yapılmasıyla birlikte enerji sarfiyatlarında ve motor performanslarında olumlu etkiler görülmektedir.

3.1 Arıza Tespit Yöntemleri

Elektrik motorlarının arızalarının doğru şekilde tespit edilmesi için birçok test yöntemi bulunmaktadır. Bu testler elektrik motoru çalışırken ya da durma pozisyonundayken yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçların doğru yorumlanması ile arıza tespiti yapılmaktadır.

3.1.1 Gerilim, Akım, Hız Değerlerinin Ölçülmesi

Gerilim(V): Birimi Volt (V)şeklindedir. Elektrik motorlarında seri tip motorlarda düşük gerilim değerleri görülmektedir. Yüksek gerilim motorlarda mevcuttur. Bu nedenle endüstride kullanılan tüm motorlarda gerilim değer aralığı fazladır. Sistemde çalışan motordan voltmetre kullanılarak değerler alınabilir.

Akım(I): Birimi amper (A)şeklindedir. Elektrik motorlarında akım yüke bağlıdır. Yük ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Tüm elektrik arızalarında belli oranlarda akım değeri etkilenmektedir. Bu nedenle arıza tespiti için önemli bir kriterdir. Sistemde çalışan motordan voltmetre kullanılarak değerler alınabilir.

Hız: Birimi rpm (Rotations per minute) şeklindedir. Motorun bir dakikada tamamlanan devir sayısı olarak ölçülür. Sistemde çalışan motordan takometre kullanılarak değerler alınabilir. Ayrıca tako jeneratörün ürettiği gerilim üzerinden de hız değeri hesaplanabilir. Ayrıca resolver ve encoderli sistemlerde hız bilgisi okunabilmektedir.

Hız değeri özellikle gerilim ve yük değerlerine bağlıdır. Sabit yüklerde gerilim ile doğru orantılıdır. Sabit gerilimde ise yük arttıkçe motor gücü artar ve buna bağlı olarak hız azalır.

Hız değerini başka etkileyen sebepler de mevcuttur. Özellikle geri beslemelerde meydana gelen problemler motor devrinde problem yaratmaktadır. Tako jeneratör, encoder, resolver vb. geri beslemeler motor hız bilgilerini sisteme aktarmaktadır. Bu malzemelerdeki problemler doğrudan motor devrini de etkilemektedir.

DC motorlar için tam yükte etikette belirtilen armatür gerilim ve akım değerleri, ikaz gerilim akım değerlerinin kayıt altına alınarak belirli periyotlarla izlenmesi gerekmektedir. Bu değerler de meydana gelebilecek değişiklikler arızalar için ilk tespitler olmaktadır.

AC motorlar için tam yükte özellikle akım değerlerinin belirli periyotlarla izlenmesi gerekmektedir. Bu değerler de meydana gelebilecek değişiklikler arızalar için ilk tespitler olmaktadır.

Akım değerlerinin izlenmesi ile sargılardaki arızalar ve mekanik arızalar tespitleri yapıp önlemler alınabilir.

3.1.2 Titreşim testlerinin yapılması

Titreşim analizi elektrik motorlarının çalışması sırasında üretimi aksatmadan yapılması ve arızanın boyu hakkında bilgi vermesi sebebiyle önemlidir [11].

Titreşim analizi ile ilgili öncelikle belli kavramların bilinmesi gerekmektedir.

Frekans: Bir hareketin birim zamanda tekrar etme sayısıdır. Birimi Herz (Hz)'dir.

Periyot: Titreşimin tam tur yaptığı süredir. Frekans ile ters orantılıdır.

Genlik: Titreşim Şiddetidir. Sinüs eğrisinin 0 noktası ile tepe noktası arasındaki mesafedir.

Peak (Tepe): Titreşim sinyalinin bir yönde eriştiği maksimum değer.

RMS (Root Mean Square): Titreşim sinyalinin t1-t2 zaman aralığında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının karaköküdür.

Ortalama: Titreşim sinyalinin t1-t2 zaman aralığında aldığı değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

Vrms değeri Vpeak değerinin 0.7071 çarpılmasıyla bulunmaktadır. Titreşim analizlerinde ölçülen değer Vrms değeridir.

Ön kapak, arka kapak ve elektrik motoru gövdesinde olmak üzere 3 ayrı yerde 3 ayrı koordinatta (x, y ve z) ölçümler alınarak elde edilen değerler aşağıda verilen ISO 10816 standardında belirtilen değerler kapsamında analizleri yapılmaktadır.

Tablo 3.1: ISO 10816 standartları

	Makine		Küçük Makinalar Grup K	Orta Makinalar Grup M	Büyük Makinalar Grup G	Büyük Makinalar Grup G2
	In/s	mm/s				
Titreşim Hızı Vrms	0.01	0.28	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
	0.02	0.45				
	0.03	0.71				
	0.04	1.12	iyi	iyi	iyi	iyi
	0.07	1.8				
	0.11	2.8	Dikkat	Dikkat	iyi	iyi
	0.18	4.5				
	0.28	7.1	Kabul Edilemez	Kabul Edilemez	Dikkat	Dikkat
	0.44	11.2				
	0.7	18			Kabul Edilemez	Kabul Edilemez
	0.71	28				
	1.1	45				

ISO 10816 standart tablosunda.

- Küçük makinalar, 15 Kw' a kadar olan motorlarla tahrik edilen makineleri
- Orta makinalar, 15 Kw ile 75 Kw arası gücü olan motorlar tarafından tahrik edilen makineleri
- Büyük makinalar GrupG, 75 Kw'dan yukarı ve rijit bir temel üzerine monte edilmiş büyük makineleri
- Büyük makinalar GrupG2, 75 Kw'dan yukarı ve yumuşak bir temel üzerine monte edilmiş büyük makineleri ifade eder.

Titreşim analiziyle tespit edilebilecek arızalar; balanssızlık, mil arızaları, rulman hasarları, kasnak-kaplin ayarsızlığı, elektriksel arızalar, dişli arızaları vb. arızalardır [9].

3.1.3 Sıcaklık testlerinin yapılması

Son yıllarda özellikle elektrik ekipmanları için sistemde performans verirken termal kamera ile sıcaklık ölçümü arıza tahmini ve tespiti için önemli bir araç haline gelmiştir [12]. Elektrik motorlarında özellikle sistem yük altındayken sıcaklık

ölçümleri ilk arıza tespitleri için önemli bir veridir. Yapılan sıcaklık analizinde problemlili bölgeler olması durumunda doğru değerlendirme ile arızaya başlangıç seviyesinde müdahale edilebilmektedir. Termal kamera, gözle görülmeyen IR enerjisi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiye göre oluşmuş renk ve şekillerin belirlediği görüntüleme sistemidir. Temassız ölçüm cihazları olan termal kameralar nesnelere yaymış oldukları bu görünmez infrared enerjisi algılayarak elektronik sinyale dönüştürdükten sonra, kamera ekranında termal görüntü şeklinde gösterirler. Termal kameralar içerisindeki sensörler vasıtasıyla bu sıcaklık değerleri tespit edilir ve arıza noktası belirlenerek arızanın boyutu tahmin edilir [22]. Termal kameranın kullanımı ve elde edilen sonuçlarla yapılan analizlerle üretim kaybı olabilecek potansiyel birçok arızanın önüne geçilebilmektedir. Bu ölçümlerin yapılmasıyla hem enerji kayıpları engellenmekte hem de ekonomik anlamda firmalar için büyük kazanç sağlamaktadır.

Termal kamera ile analiz yapılırken özellikle stator kısmı, ön rulman ve arka rulman kısımlarının sıcaklıkları ölçülmelidir. Ayrıca aktarma elemanları ve soğutma fanlarında ölçümlerinin detaylı analiz yapılması için önemlidir. Ölçülen ölçümler IEC34-1 tablosuna bakılarak yorumlanmalı ve motorun ısı durumuna göre arıza tespitleri yapılmalıdır.

Tablo 3.2 İzolasyon sınıfları IEC 34 – 1 tablosu

İzolasyon Sınıfı	Maksimum Sargı sıcaklık(°C)	Maksimum Isınma(°C)	Isınma Toleransı (°C)
A	105	60	5
E	120	75	5
B	130	80	10
F	150	105	10

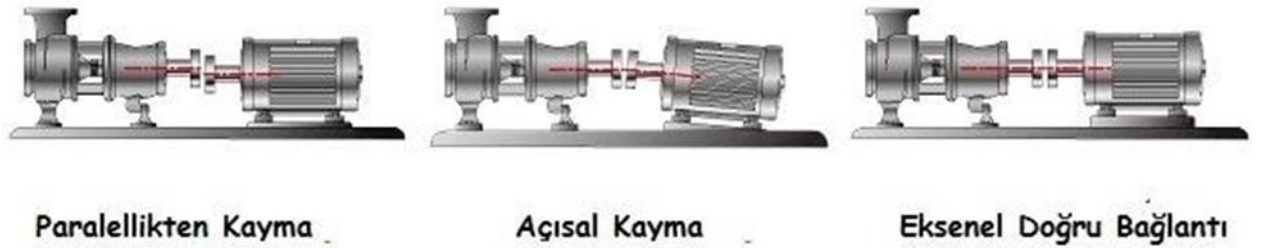
3.1.4 Kasnak-Kaplin Ayarının yapılması

Kasnak: Kasnaklar, iki mil arasında kayışlar yardımıyla güç aktarımı sayesinde aktarım yapan bağlantı elemanlarıdır. Kayış kasnak sistemiyle iki mil birbirine

esnek kayış ile bağlı olduğu için titreşim minimize edilmektedir. Günümüzde yaygın kullanılan kayış kasnak tipleri aşağıda belirtilmiştir.

- 1- Klasik V tipi kayış kasnak sistemleri
- 2- Triger kayış kasnak sistemleri
- 3- Polyv kayış kasnak sistemleri
- 4- Düz kayış kasnak sistemleri
- 5- Halat kasnak sistemleri
- 6- Variable kayış kasnak sistemleri

Kaplin: Elektrik motorlarındaki mekanik gücü karşı sisteme aktaran bağlantı elemanıdır. Sistemlerdeki makineleri mil doğrultusunda birbirine bağlar. Kaplin ayarı ile mil doğrultusunda aksel kontrol yapılır. Özellikle mekanik güç aktarımı esnasında kaplin ayarı doğru yapılmalıdır [24]. Şekil 3.1’de farklı bağlantı biçimleri gösterilmektedir



Şekil 3.1 Kaplin bağlantıları

Dönen makinalarda shaft merkezlerinin aynı doğrultuda hizalanması gerekmektedir. Bu hizalama için lazer hizalama sistemleri ile hizalama sonuçları yatay ve dikey olarak cihaz tarafından verilir. Elde edilen sonuçlara göre kaplin civatalarının gevşemesi, kayışların kontrolleri ve her iki milde ayarlamalar yapılarak doğru hizalama sonucu elde edilir.

Makinelerde arızaların özellikle büyük çoğunluğu aksel kaçıklık kaynaklıdır. Bu nedenle özellikle elektrik motorlarında aktarma elemanlarında aksel ayarın yapılması önemlidir.

Eksenel kaçıklık tespit edilmesi öncelikli ilk durumdur. Daha sonra bu durumun meydana getirebileceği arızaların tespit edilmesi gerekmektedir.

Eksenel Kaçıklık kaynaklı arızalar

- Rulmanların aşırı yükte çalışması,
- Düşük rulman ömrü,
- Rulman, keçe ve kaplin hasarları,
- Yüksek vibrasyon değerlerinde çalışma,
- Yüksek gürültü seviyesinde çalışma,
- Yüksek enerji sarfiyatı,
- Şaft hasarları,

3.1.5 İzolasyon Direnci Ölçümleri

Elektrik motorlarında sargı ile toprak arasında uygulanan gerilim ile sargı direnci ölçülmektedir. Bu gerilim DC olmaktadır. AC olması durumunda reaktans ve kapasitansın vektörel toplamı şeklide direnç olacağı için uygun olmayacaktır.

Ölçüm yapılırken öncelikle motorun izolasyon ölçümleri yapılacaksa sadece motor sargı kabloları üzerinden kontrol yapılmalıdır. Sürücü sisteminden gelen kablolar sistemden ayrılmalıdır. Aksi durumda tüm sisteme gerilim uygulandığı için yapılan işlem sağlıklı olmayacaktır.

Yeniden sarım yapılan motorlarda izolasyon seviyesi iyi ve üzeri olması gerekmektedir. Yeniden sarım işleminden sonra $10M\Omega$ ve aşağısındaki değerler ölçüldüğü takdirde sargıların kontrolleri yapılmalıdır. Özellikle nemli ortamlarda izolasyon düşüklüğü olabilir. Nemin kurutulması gerekmektedir.

Çalışan sistemlerde statik durumda izolasyon direnci ölçümü sargılar hakkında ilk bilgileri veren ölçümdür. İzolasyon direnci düşüklüğü sargılara müdahale edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu müdahale yeniden sarım ya da sargıların bakım işlemlerini kapsamaktadır. Sargıların bakım işlemleri sargıların kir, toz, pislikten basınçlı hava ile temizlik, yıkanma ve fırında kurutma işlemini kapsamaktadır.

Ölçüm yapılan izolasyon direnci ölçümünün sonuçlarına göre yorumlanması Tablo 3.3'te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda sargıların izolasyon seviyeleri hakkında yorum yapılabilmektedir.

Tablo 3.3 İzolasyon direnç ve seviye tablosu

İzolasyon Direnci	İzolasyon Seviyeleri
2 MΩ'dan küçük	Kötü
2MΩ-5MΩ arası	Kritik
5MΩ-10MΩ arası	Normal
10MΩ-50MΩ arası	İyi
50MΩ-100MΩ arası	Çok iyi
100MΩ ve üzeri	Mükemmel

3.1.6 İndüktans-Direnç Ölçümleri

AC motorlarda fazların kendi arasına indüktans ölçümleri sargıların kontrolü için önemli veridir. Ölçülen değerler motorun katalog değerleri ile kıyaslanarak kontrolleri yapılır. Katalog değerleri mevcut değilse fazlar arası ölçümde elde edilen veriler örtüşmelidir.

DC motorlarda ikaz ve armatür sargılarından elde edilen indüktans değerleri katalog değerleriyle kontrolleri sağlanmalıdır. İkaz sargılarının ölçülen direnç değeri etikette yer alan gerilim ve akım değerleri göz önüne alınarak kontrolleri yapılır.

3.1.7 Hi-Pot ve Surge testleri

Hi-Pot yüksek gerilim testidir. Sargılar ile şase arasında yüksek gerilim ile izolasyonun dayanımını kontrol etmek amacıyla yapılan testtir. Sargılardaki ilk problemlerle Hi-Pot testiyle görülebilir. Sargıların test voltajları iki türlü incelenmektedir. Yeni sarım yapılan ya da çalışan motorların sargılar için Hi-Pot test gerilim değerleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir [24] [25].

Tablodaki formüller IEEE 95, IEC ve ANSI/EASA AR100 standartlarında belirtilmiştir [26] [27].

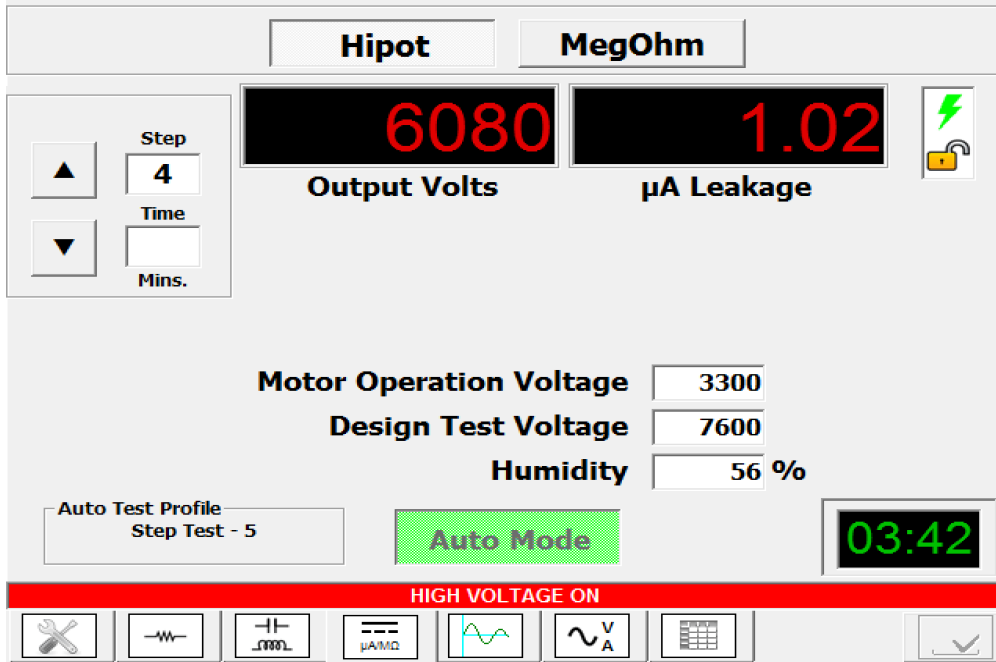
Bakım durumu değerlendirilerek aşağıdaki tablolara göre sargı analizleri yapılmaktadır. Bu testler DC motor endüvi sargılarında, AC motor stator ve Servo motor stator sargı değerlendirilmesinde bize yol göstermektedir.

Tablo 3.4: Yeni sarımı yapılan ya da yeni motorlar için test değerleri

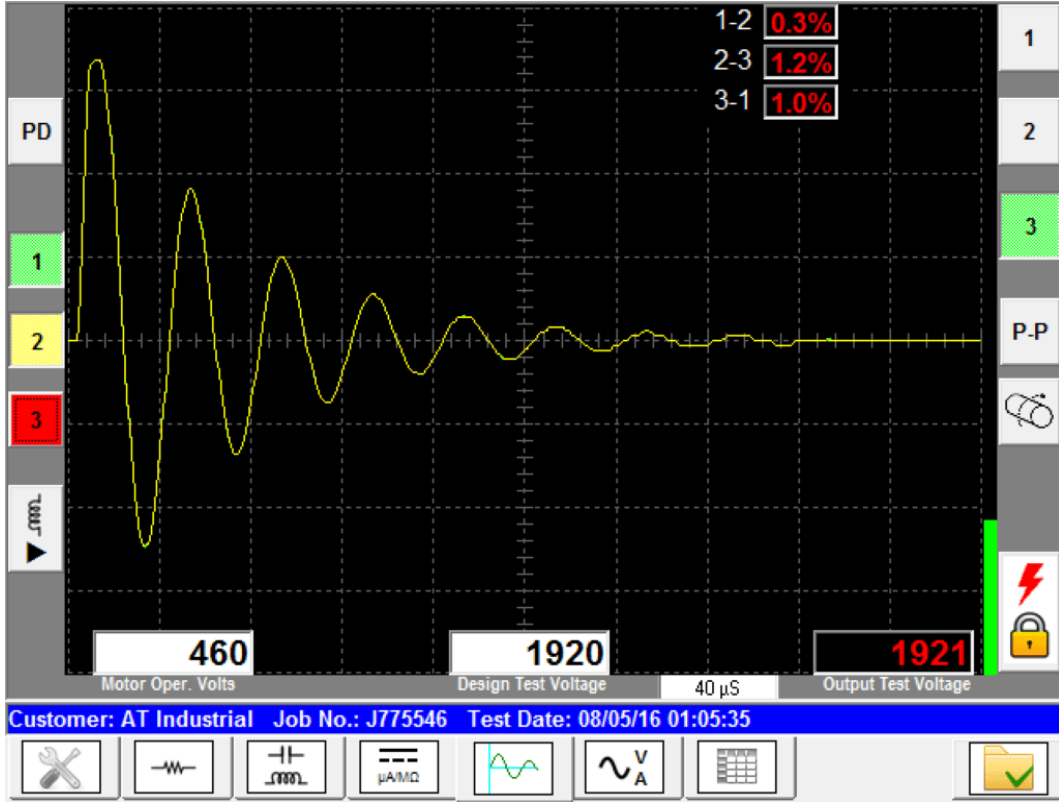
AC Hi-Pot	2E+1000V
DC Hi-Pot	(2E+1000V) x 1.7 = 3.4E + 1700V
E= V rms değeri	

Tablo 3.5: Çalışan motorlar için test değerleri

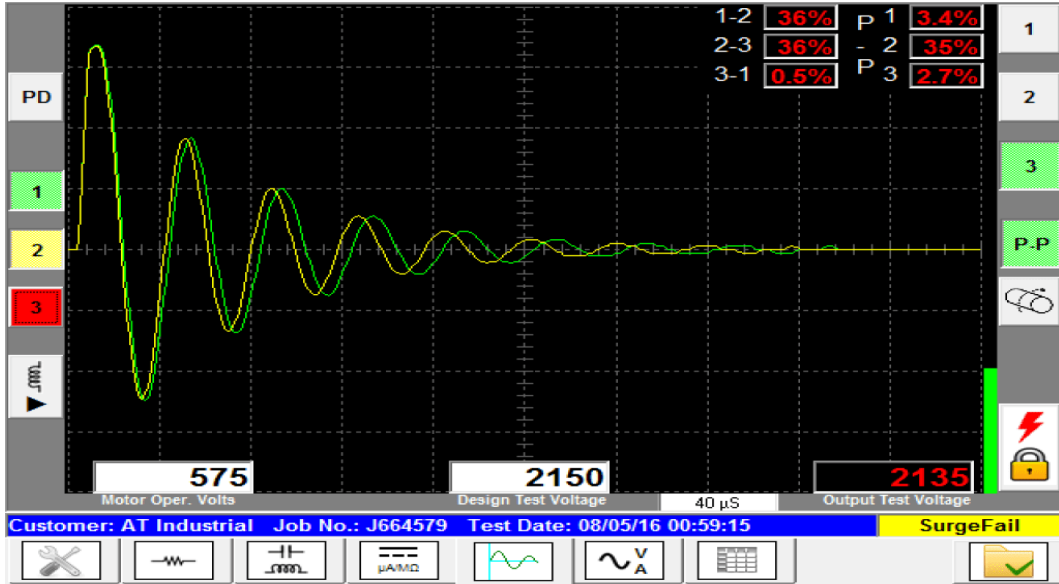
AC Hi-Pot	125%–150% Vrms
DC Hi-Pot	(3.4E+1700V) x 65%
E= V rms değeri	



Şekil 3.2 Hi-Pot sonuç fotoğrafı



Şekil 3.3 Ac stator sargı grafiği



Şekil 3.4 Arızalı ac stator sargı grafiği

Surge testinde elde edilen sinus dalgaların oluşumu;

Cihaz içerisindeki kondansatör istenilen voltaj değerinde şarj edilir ve tristör anahtarlama elamanı sayesinde bobin üzerine deşarj edilir. Bu sayede oluşan bobin ve kondansatör tank devresinde, frekanslı sönümlü sinus dalgası elde edilir.

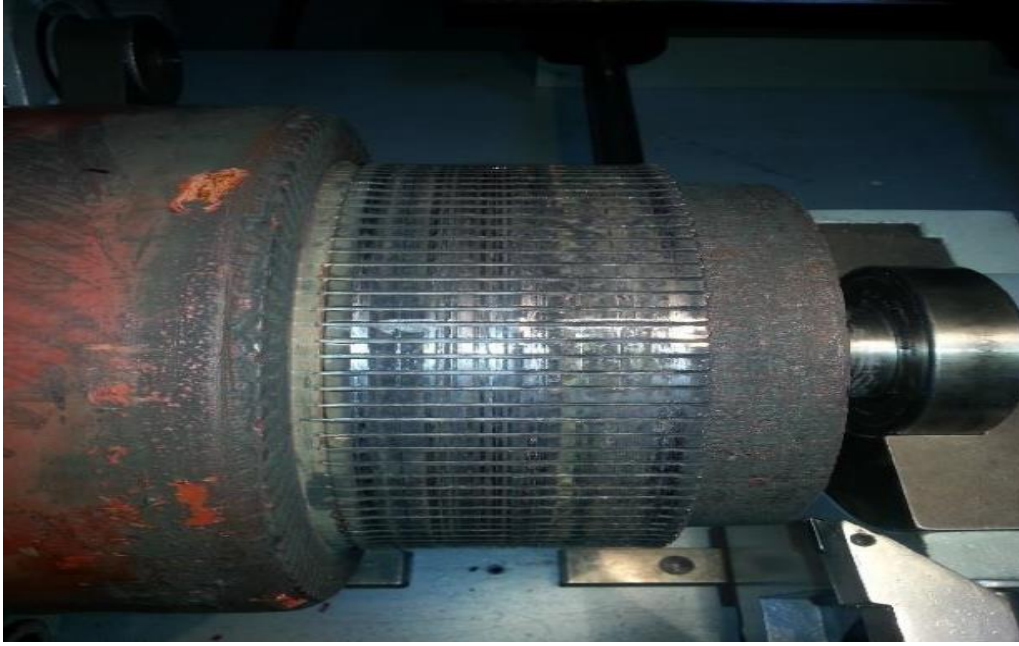
İndüktans değeri eğer izolasyon zayıfsa yüksek voltajlarda değişiklik gösterir. Tepe voltaj değerinin üzerinde ölçüm yapılırsa sorunlara karşı önlem alınabilir. Frekans ile indüktans değeri ters orantıda olup eğer indüktans değerinde düşme olursa frekans değerinde artış olur ve dalga farkları oluşur [24].

3.1.8 Kollektor ovalite ölçümlerinin yapılması

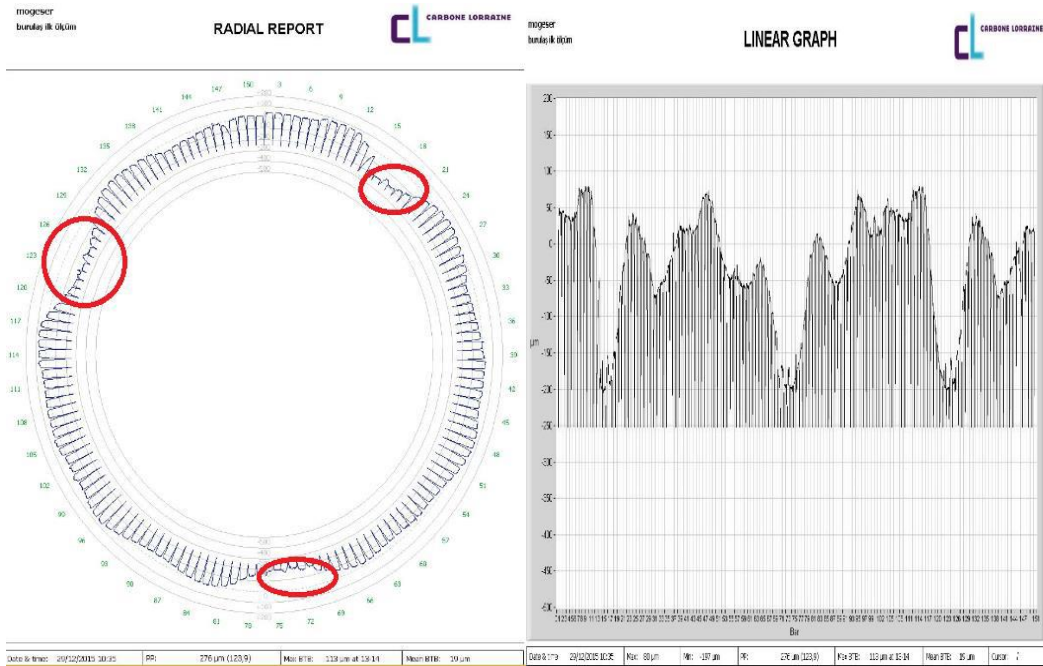
DC motor kollektörleri, elektrik motorlarının ana dönen parçalarından biridir ve motorun çalışması için gerekli olan enerjiyi iletmek amacıyla kullanılır. Kollektörler, motorun dönme hareketini sağlayan elektrik akımını fırçalar aracılığıyla ileterek motorun dönmesini ve performansını kontrol etmesini sağlar. Yüksek kaliteli ve dayanıklı malzemelerden üretilen DC motor kollektörleri, motorun verimliliğini artırarak uzun ömürlü ve güvenilir bir çalışma sağlar.

Kollektorlerin verimli olarak elektrik akımını iletmeleri kollektor yüzeyinin dairesel olmasıyla bağlantılıdır. Daireselliğinde problemler olması durumunda fırçaların arklı çalışmasına sebep olacaktır. Bu arklı çalışma hem kollektor yüzeyine daha büyük problemler hem de motorun diğer malzemelerine sebep olabilecek problemler yaratabilir.

Kollektor yüzeyindeki hasarlar Şekil 3.6'daki örnek raporda görüldüğü üzere ovalite açısından problemler ortaya koymaktadır. Kollektor bakımının doğru yapılması sonucunda Şekil 3.8'deki örnek rapordaki gibi ovalite açısında sorun kalmayacaktır.



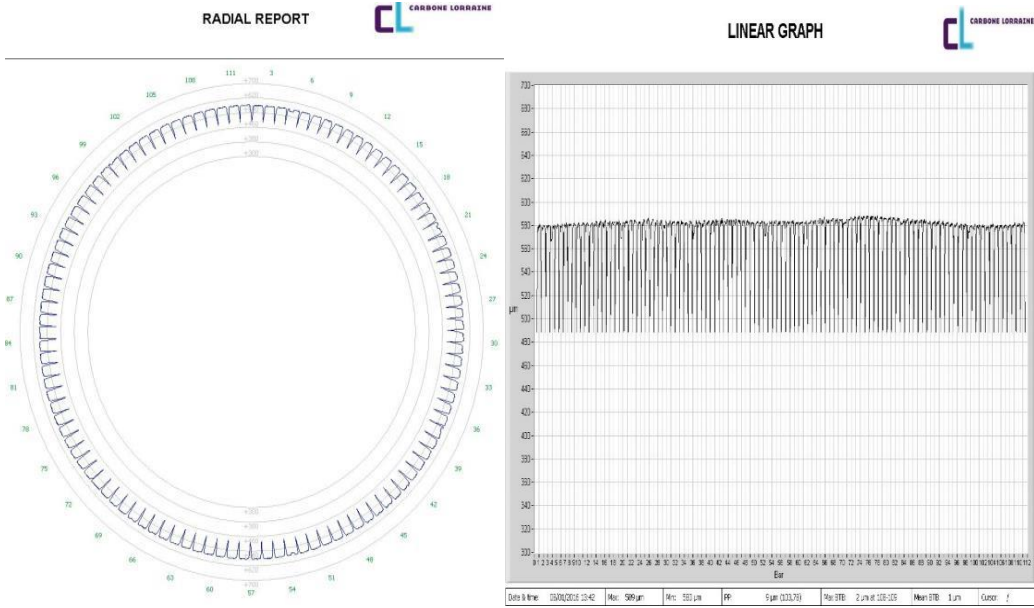
Şekil 3.5 Yüzei problemlili kollektor



Şekil 3.6 Yüzei problemlili kollektorun ovalite ölçümleri (Örnek rapor görseli)



Şekil 3.7 Bakımları yapılan kollektor



Şekil 3.8 Bakımları yapılan kollektor ovalite ölçümleri (Örnek rapor görseli)

Sonuçlardan görüleceği üzere kollektor yüzeyindeki problemlerin uygun tornalanması sonucunda ortadan kalktığı görülecektir. Kollektörde meydana

gelebilecek tüm arızalar hem motor verimliliği hem de sistemin tüm parçalarını etkileyebilmektedir

3.1.9 Balans alınması

Elektrik motorlarında rotordaki arızalar sistemde birçok probleme sebep olabilmektedir. Öncelikle rotorun balansının kontrolleri arıza tespitlerinde çok önemlidir. Balanssızlık problemi birçok nedene sebep olmaktadır.

Rotorun dönme eksenindeki kütleli olarak dengesizliği bu rotorun balanssızlığı olarak adlandırılır. Rotorun dönüş devir hızı bu balanssızlığın yarattığı etkiyi doğru orantılı olarak etkiler. Rotor dönüş devri arttıkça balanssızlığın merkez kaç kuvveti üzerindeki etkisi artacaktır, bu da balanssızlık sonucu ortaya çıkan titreşim rahatsız edici gürültü ve sistemin tüm parçalarında hasarlara sebep olabilmektedir. Bu nedenle balanssızlık problemi titreşim ölçümleri yapılarak tespit edilebilir. Tespit edildikten sonra balans alınması gerekmektedir [11]. Balanslama rotoru kütle anlamında dengeleme işlemidir. Bu dengeleme işlemini 3 şekilde yapabilir. Kütle eklemesi, kütle çıkarması ya da kütle yerini ayarlayarak yapılabilir. Balans halkaları ya da balans macunu kullanılarak kütle ekleme işlemleri yapılmaktadır. ISO 1940-1 standartıyla balans alınması ve sonuçlarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Şekil 3.9'daki örnek raporda görüleceği üzere 11.21-gram balans problemi standarda uygun balansın alınmasıyla ortadan kalkmıştır.

Balancing report

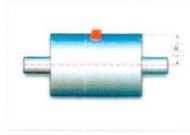
Configuration H4BU_AHF1241
User MOGESER ELEKTRIK MOTOR SERVIS SAN. A. Ş.
Rotor ID ANADOLU ISUZU

Type data

Rotor type SCHABMULLER 9.4kW AC ROTOR
Last change 13/02/2023 10:44 AM
Set speed 3000 rpm (Direction of Rotation: Forward)

ABC geometry

Radius 1 42.0 mm



DIN ISO 21940-11 calculation

Calculation based on Quality grade G
Deviation (+/-)% 0
Balancing quality grade G 6.3
Mass of rotor 450 g
Service speed 40000 rpm
Permissible unbalance 0.61 g.mm

Measuring Results, Run: 1

13/02/2023

User MOGESER ELEKTRIK MOTOR SERVIS SAN. A. Ş.
Active compensations Indexing
Measuring speed 3000rpm

Unbalance

Static 11.21 g.mm 63 °

Correction

Correction Plane 1 - Mass (Remove) 678mg 63 ° 18.37 * Tol

Measuring Results, Run: 5

13/02/2023

User MOGESER ELEKTRIK MOTOR SERVIS SAN. A. Ş.
Active compensations Indexing
Measuring speed 3000rpm

Unbalance

Static 0.06 g.mm 172 °

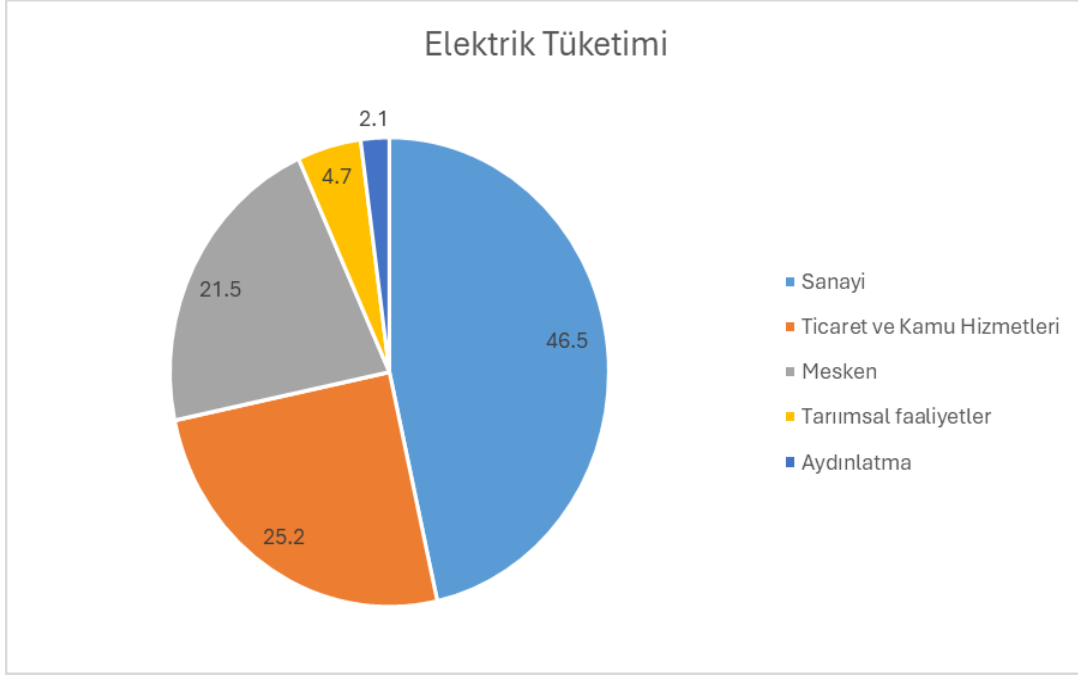
Correction

Correction Plane 1 - Mass (Remove) 1.64 mg 172 ° in Tol

Şekil 3.9 Balans raporu (Örnek rapor görseli)

4 ENERJİ TÜKETİMİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Son yıllarda elektrik tüketiminin maliyetlerinin artması nedeniyle motor verimliliği ve performansının iyileştirilmesi çalışmaları önemini arttırmaktadır. Ülkemizdeki elektrik tüketiminin %46.5 sanayide gerçekleşmektedir [16] [30]. Bu nedenle özellikle sanayide ana elektrik tüketimi elektrik motorları ve üretim hattı üzerinden olduğu için verimlilik, iyileştirme ve motor verimlilik sınıfları üzerine çalışmaların yoğunluğu artmıştır.



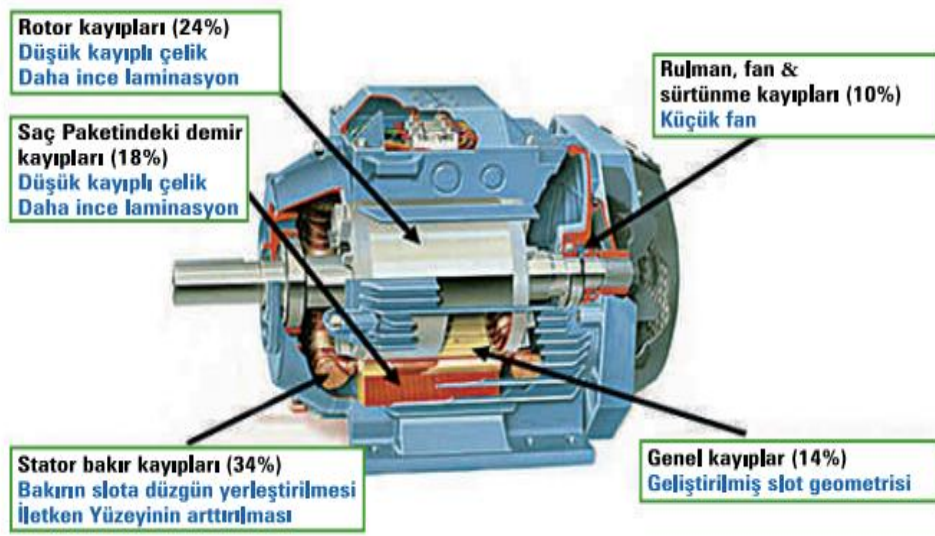
Şekil 4.1 Elektrik tüketim oranları

4.1 Elektrik Motor Verimliliği

Motor milinde alınan mekanik gücün motorun harcadığı elektrik gücüne oranı motor verimini belirtir. Bu iki güç arasındaki fark ise motor kayıplarıdır.

Elektrik motorlarındaki kayıplar motor verimliliğine böylece doğrudan etki etmektedir.

Asenkron motorlarda kayıplar rotor kayıpları, demir kayıpları, rulman-fan-sürtünme, bakır ve genel kayıplar şeklindedir [23]



Şekil 4.2 Motor Kayıpları

Bu kayıplar verimlilik sınıflarına göre öncelikle motor üretiminde oluşmaktadır. Motor kullanımı sonucunda ortaya çıkan arızalarda bu kayıplar kapsamındadır.

Arızalar sonucunda oluşabilecek kayıplar;

- Yeniden sarım durumunda kullanılacak bakır tipi ve cinsine göre oluşabilecek kayıplar
- Yeniden sarım durumunda bakır yerleştirilmesi ya da izolasyonunun sağlanması işlemlerinde oluşacak kayıplar
- Yeniden sarım işlemi önceki yapılan söküm işlemlerinde sac paketlerinde oluşabilecek kayıplar
- Yenilenmemiş çalışabilir rulmanlarda oluşabilecek kayıplar
- Rotor milinde meydana gelen arızalar sonucunda mil onarımı ya da değişimi sonucunda kullanılan malzeme cinsine göre oluşabilecek kayıplar
- Fan sisteminde motorda oluşabilecek kayıplar
- Kapakların onarımı işlemi sonucunda oluşabilecek kayıplar

vb. Kayıplar şeklinde belirtebiliriz.

Bu kayıpların oluşmaması için öncelikle yapılması gereken doğru arıza tespiti ve motor bakımlarının belirli periyotlarla yapılmasıdır.

4.2 Elektrik Motor Verimlilik Sınıfları

1998 senesinde elektrik motorları CEMEP Türkçe açılımı Avrupa Elektrik Makineleri ve Elektroniği İmalatçıları Komitesi tarafından yapılan çalışmalara göre 1.1 kW ile 90 kW arasında 3 temel verimlilik sınıfı bulunmaktadır.

- EFF1 Sınıfı: En Verimli Sınıf
- EFF2 Sınıfı: Orta Verimli Sınıf
- EFF3 Sınıfı: En Verimsiz Sınıf

Şu an kullanılmakta olan ve IEC 60034-30:2008 standardına göre 0.75 kW ile 375 kW arasında 4 temel verimlilik sınıfı bulunmaktadır.

- IE1 Sınıfı: Standart Verim Sınıfı
- IE2 Sınıfı: Yüksek Verimli Sınıf
- IE3 Sınıfı: Premium Verimli Sınıf
- IE4 Sınıfı: Süper Premium Verimli Sınıf

olarak adlandırılmıştır.

IE1-IE2 motorların üretimi ve satışı günümüzde artık yoktur. Sadece sanayide geçmişten gelen motorların kullanımı mümkündür. Ayrıca daha verimli sınıflara geçilmesi için Enerji Verimli Elektrik Motorları Değişimi Desteği olarak Kosgeb işletmelere destek vermektedir.

4.3 Enerji Tasarrufu ve Önemi

Özellikle enerji giderleri döviz bazlı ve ithal olan ülkemizde enerji tüketimi çok önemlidir. Tüketim arttıkça hem cari açık farkı artacak hem de ülkemizde artan döviz fiyatları sebebiyle yüksek tutarlar enerjiye ödenecektir. Bu nedenle ülkemizde enerji tasarrufu çok önemlidir.

Elektrik tüketiminin en büyük çoğunluğu ülkemizde sanayidedir. Sanayideki tüketimin en büyük kalemi ise elektrik motorlarının tükettiği güçtür. Bu nedenle enerji tasarrufu için en başlanması gereken kısım sanayi için üretim hatları ve bu hatlarda kullanılan elektrik motorlarıdır. Sürekli üretim yapılan tesislerde doğru yöntemlerle enerji tasarrufları sağlanarak maliyet durumu azaltılabilmektedir.

4.4 Verimlilik Enerji tasarrufu İlişkisi

Sanayide kullanılan elektrik motorlarında ve uygulamalarında verimlilik sağlayarak enerji tasarrufu elde etmenin temel yolları olarak aşağıdaki seçenekler sıklıkla önerilmektedir [28].

Doğru Motor Seçimi: Kullanılan üretim hattına uygun ve performans verebilen motor seçilmelidir. Bu motor seçiminde gerekli olan mekanik güç ve elektriksel güç hesaplanıp güç değerlerine uygun motor ve tipi seçilmelidir. Haddehanelerde DC motor kullanımı, Kompresorlerde AC motor kullanımı ve geri dönüşüm üretim hattında tork motorlarının kullanımı bu duruma örnektir.

Doğru motor seçiminde birçok yanlış yapılmaktadır. İşletmelerde hatta uygun motor yerine bulunabilecek uygun motor bakılmaktadır. Bu seçimde fiyat öncelikli olabilmektedir. Sistemde kullanılması gereken güçten daha yüksek güçlü motor kullanımında özellikle asenkron motorlarda daha yüksek enerji tüketimi olmaktadır. DC motorlarda ise güç tüketimi doğru olmadığı için ikaz sargıları ve motor devrindeki etiket değerlerin karşılanmaması sebebiyle arızalar olabilmektedir.

Sistemde kullanılması gereken güçten daha düşük güçte motor kullanımı durumunda aşırı yük sebebiyle hem motor arızalanmakta hem de yüksek enerji tüketimleri meydana gelmektedir. Bu durum maliyetleri özellikle arttırmaktadır.

Yüksek verimli motor kullanma: IE1 ve IE2 en düşük verim sınıfı olup bu verim sınıfları yerine IE3 yüksek verimli veya IE4 verimi iyileştirilmiş olarak adlandırılan motorlar kullanarak enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Motor Çıkış Gücü (kW)	90	90
Motor Çalışma Devri (d/dak)	1500	1500
Verim Sınıfı	IE2	IE3
Yılda Kaç Gün Çalışıyor (d)	300	
Günde Kaç Saat Çalışıyor (h)	24	
Elektrik Birim Fiyatı (₺/kWh)	3.705608	
Motor Verimi (%)	94,2	95,2
1 Saatte Harcanan Güç (kWh)	95.54	94.54
1 Saatte Yapılan Tasarruf (kWh)	1.00	
Yıllık Toplam Çalışma Zamanı (h)	7200	
Yıllık Toplam Tasarruf (kWh)	7225.82	
Yıllık Toplam Tasarruf (₺)	26776.06	

Şekil 4.3 IE2-IE3 verimlilik sınıfları elektrik tüketim karşılaştırılması

Motor Çıkış Gücü (kW)	90	90
Motor Çalışma Devri (d/dak)	1500	1500
Verim Sınıfı	IE2	IE4
Yılda Kaç Gün Çalışıyor (d)	300	
Günde Kaç Saat Çalışıyor (h)	24	
Elektrik Birim Fiyatı (₺/kWh)	3.705608	
Motor Verimi (%)	94,2	96,1
1 Saatte Harcanan Güç (kWh)	95.54	93.65
1 Saatte Yapılan Tasarruf (kWh)	1.89	
Yıllık Toplam Çalışma Zamanı (h)	7200	
Yıllık Toplam Tasarruf (kWh)	13600.48	
Yıllık Toplam Tasarruf (₺)	50398.06	

Şekil 4.4 IE2-IE4 verimlilik sınıfları elektrik tüketim karşılaştırılması

Asenkron motorlarda verim sınıfı arttırmak yıllık önemli bir enerji tasarrufu sağlanabilir. Böylece işletmelere maliyet kaleminde; IE2-IE3 ve IE2-IE4 karşılaştırılmalarında görüldüğü üzere önemli bir azalma sağlanabilir.

Enerji tasarrufu fizibilitesi: Özellikle sistemde titreşim analizleri, termal kamera ile kontroller yapılarak sürekli sistem takibinin ve bakımlarının yapılması. Arızaların önüne geçilmesi enerji tasarrufu için çok önemlidir.

Elektrik Enerji Kalitesi ve elektrik hatları: Sistemlere gelen elektriğin uygun gerilimde gelmesi, kayıpların önlenmesi enerji tasarrufunda önemlidir.

Motor Bakımları: Özellikle sistemlerde kullanılan motordan yüksek verim ve performans olmak enerji tasarrufu konusunda da çok önemlidir. Motorun arızalarının giderilmesi ya da belirli periyotlarla bakımının yapılması sistemden çektiği gücü azaltabilmektedir.

4.5 Elektrik Motor Arızaların Motor Performansı ve Enerji Tasarrufu Üzerindeki Etkisi

Elektrik motorlarında verim özellikle etiket değerlerindeki Gerilim ve akım değerlerinin sistemdeki performansında görülme durumudur. Motorun sistemde sorunsuz çalışması durumunda bu değerler üzerinden verim hesabı yapılmaktadır. Arıza durumunda ise hem motor performansı hem de motor verimliliğine olumsuz durumlar oluşmaktadır. Özellikle son yıllarda daha verimli motorlar kullanılmakta ama verim için en önemli durumlardan biri motor sağlığıdır [17]. Sağlıksız motorlarda çekilen güç hem elektrik tüketimi hem de motor verimliliği üzerinde olumsuz etki göstermektedir. Bu nedenle arızaların öncelikle tespit edilmesi ve arızalarının giderilmesi çok önemlidir. ABD Enerji Bakanlığı'nın araştırmalarına göre enerji verimliliğine odaklanmış bakım teknikleri ile bu motorların yaptığı enerji tüketiminde %20 tasarruf etmek mümkündür [29].

Ülkemizde de bakım tekniklerinin kullanılması için özellikle Kosgeb kapsamında destekler verilmektedir. Kestirimci bakım yöntemlerinin üretim tesislerinde kullanılması kapsamında işletmelere önemli destekler verilmektedir.

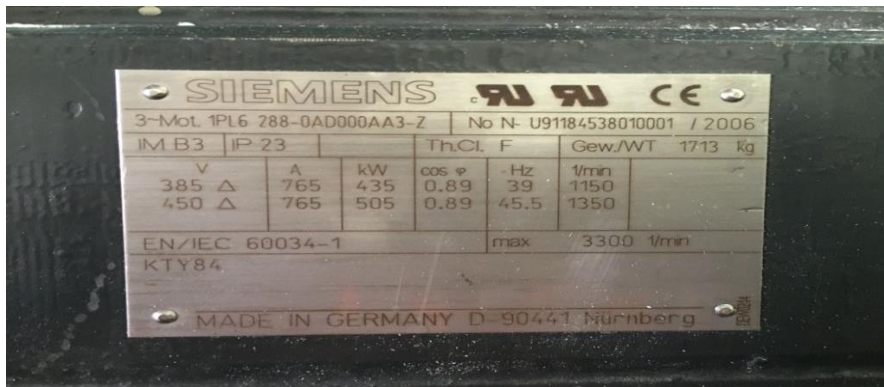
5

ELEKTRİK MOTORLARINDAKİ ARIZALARIN ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmalarda Elektrik motorunun öncelikle yerinde arıza tespit yöntemleri, arıza tespitinden sonra arıza giderilmesi ve arızaları giderilmiş motorun verileri incelenmiştir. Çalışmada doğru arıza tespitleriyle hem motor performansı hem de enerji sarfiyatı bakımından avantajları ve bu durumun ekonomik etkisinin ortaya çıkması amaçlanmıştır.

5.1 435 kW Asenkron Motor Çalışması

Bu çalışmada kullanılan motor Asenkron motordur. Çalışması yapılan sistem ise buzdolabı ekipmanları üretmektedir. Bu motoru özellikle seçilme sebebi fabrikanın extruder makinasının motoru olması ve motorun kritik bir konumda olmasıdır. Yapılan ölçümler; akım, gerilim, rpm, titreşim ölçümleri, ısı-sıcaklık ve kaplin ayarı şeklindedir. Etiket bilgileri Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 435 kW motor etiketi



Şekil 5.2 Motorun genel görüntüsü

5.1.1 Arıza Tespiti

Motorun sistemdeki performansı aşama aşama incelenerek ölçüm sonuçları kapsamında değerlendirilerek arızanın kaynağı ve olabilecek sebepleri incelenmiştir. Bu değerlendirme akım değerlerinin izlenmesi, titreşim değerlerinin sonuçları, termal kamera ile ısı-sıcaklık ölçülmesi ve kasnak ayarının sonuçları kapsamında yapılmıştır.

5.1.1.1 Akım Değerlerinin İzlenmesi

Motorun akım değerleri 3 aşamada incelenmiştir. İlk aşamada motor sistem üretimdeyken 10 dakika performansı izlenmiş ve değerler kayıt altına alınmıştır. Belli bir süre performansının izlenmesi motorda akım dalgalanması ile ilgili bir problem olup olmadığını görmek için yapılmıştır.

2.aşamada motorun tam yükte çektiği akım değeri kayıt altına alınmıştır. Bu değer kayıt altına alınmasının sebebi tam yükte ölçülen değer etiket değerlerine uygunluğunun kontrol edilmesidir.

Son aşamada motorun yüksüz(boşta) performansı kayıt altına alınmıştır.

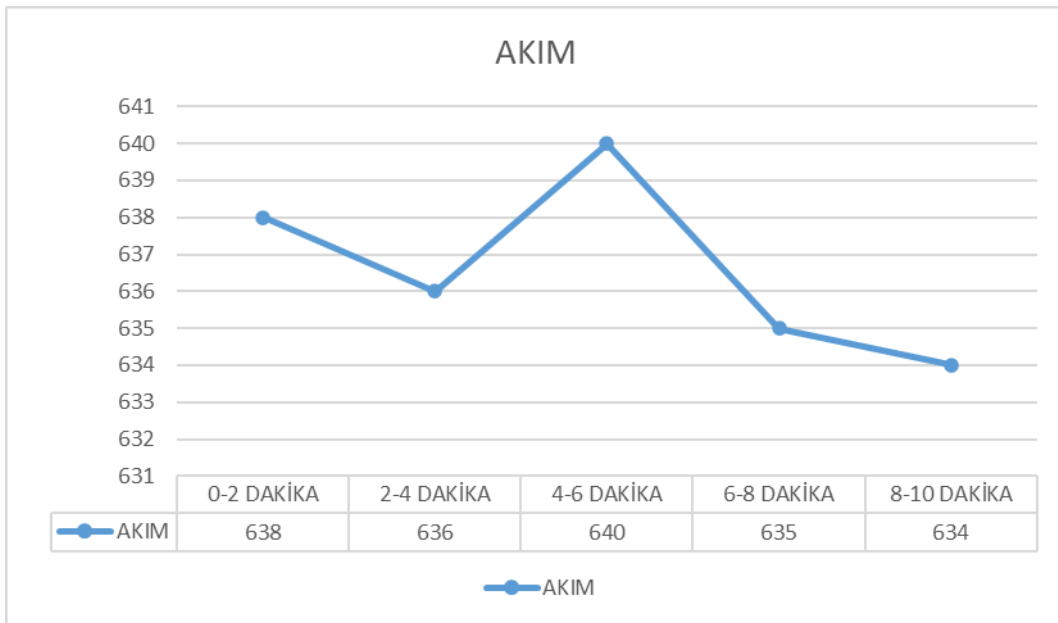
Ölçüm yapılan 3 aşamada Tablo 5.1’de belirtilmiştir.

Tablo 5.1 Motorun arıza giderimi öncesi akım değerleri

Performans Testleri					
Bağlantı Uçları	Durum	Gerilim	Akım	Devir	Frekans
L1-L2-L3	Boşta	385,8 V	189 A	1150 devir	39 Hz
L1-L2-L3	Ortalama	385,8 V	637 A	1150 devir	39 Hz
L1-L2-L3	Tam Yük	385,8 V	790 A	1150 devir	39 Hz

Motorda yapılan performans testlerinde tam yükte 790 Amper çektiği ölçülmüştür. Motorun etiket değerlerinde akım değeri 765 Amper'dir. Bu durum motorda bir arızanın olabileceğinin ilk tespitidir.

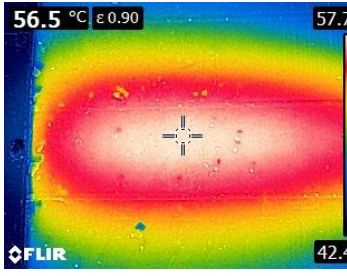

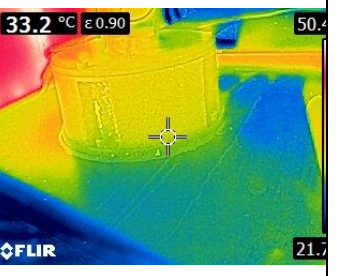



Motorun tabloda görülen ortalama değeri 10 dakika performansı izlenerek hesaplanmıştır. Belirli zaman diliminde motorun performansı izlenerek akım dalgalanması durumunda incelenmiştir. Şekil 5.3'de görüldüğü üzere akım değerleri kapsamında akım dalgalanması durumu gözlemlenmemiştir.



Şekil 5.3 Motorun arıza giderimi öncesi 10 dakikalık akım değerleri

5.1.1.2 Isı-Sıcaklık Değerlerinin İzlenmesi

Elektrik motorunun üretim sürecinde ısı kontrolleri de yapılmıştır. Ön kapak-Arka kapak ve stator kısmı olmak üzere 3 yönden ısı değerleri termal kamera ile izlenmiş ve sonuçları tabloda gösterilmiştir. İzolasyon Sınıfları IEC 34 – 1 standartları kapsamında yapılan ısı ölçümlerinde Şekil 5.4'te görüleceği üzere bir problem gözlemlenmemiştir.

Dinamik Test Sonuçları		
Termal Kamera ile belirli bölgelerde ısı kontrolü		
Stator	Ön Rulman	Arka Rulman
		
		
UYGUN	UYGUN	UYGUN

Şekil 5.4 Motorun arıza giderimi öncesi termal kamera ölçümleri

5.1.1.3 Titreşim Değerlerinin İzlenmesi

Ön kapak ve arka kapak yüzeylerinde x-y-z eksenlerinde titreşim analizleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde elde edilen Rms değerleri ISO 10816-3 standartına göre yorumlanmış ve aşağıda verilen tablodaki şekilde kayıt altına alınmıştır.

Sonuçlarda özellikle arka kapak y ve z ekseninde sorun olduğu ölçülmüştür. Bu elde edilen sonuçlar kapsamında motorun daha detaylı incelenip titreşim ölçümlerinin sağlıklı olma nedenlerin tespit edilmesi gerekmektedir.

Ayrıca ön kapak x-y-z eksenlerinde de ölçülen değerler sınır kapsamında bir süre çalışabilir aralıktadır. Ama bu değerlerin sınır değerlere yakın olması sebebiyle kontrolleri gerekmektedir.

Vibrasyon Test Sonuçları							
Ölçüm Yapılan Yer	Eksenler	Ölçülen Titreşim Hızı(r.m.s)	DIN ISO 10816-3	Grup 1		Grup 2	
Ön Kapak-1	X EKSENİ	4,5	Makine Tipi	Büyük Makineler 300 kW < P < 50 MW		Orta Büyüklükteki Mak. 15 kW < P < 300 Kw	
	Y EKSENİ	6,7					
	Z EKSENİ	6,9					
Arka Kapak-1	X EKSENİ	4,4		Motor H > 315 mm		Motor 160 mm < H < 315 mm	
	Y EKSENİ	7,9					
	Z EKSENİ	9,8					
Ön Kapak-2	X EKSENİ	4,7	Yerel Bağlantı Tipi	Esnek <input type="checkbox"/>	Rijid <input checked="" type="checkbox"/>	Esnek <input type="checkbox"/>	Rijid <input type="checkbox"/>
	Y EKSENİ	6,8					
	Z EKSENİ	7					
Arka Kapak-2	X EKSENİ	4,8	Hız V_{eff} mm/s rms	11,0	D		
	Y EKSENİ	8,4		7,1			
	Z EKSENİ	9,9		4,5	C		
Ön Kapak-3	X EKSENİ	4,9	10-1000Hz $r > 600$ rpm	3,5			
	Y EKSENİ	6,9		2,8	B		
	Z EKSENİ	6,9		2,3			
Arka Kapak-3	X EKSENİ	4,7	2-1000Hz $120 < r < 600$ rpm	1,4			
	Y EKSENİ	7,9		0	A		
	Z EKSENİ	9,6					

Şekil 5.5 Motorun arıza giderimi öncesi titreşim ölçümleri

5.1.1.4 Kaplin Ayarının Yapılması

Titreşim değerlerinin arızalı değer aralığında olması sebebiyle nedenleri arasında olan aksenal kaçıklığın kontrolleri için kaplin ayarı kontrolleri yapılmıştır. Yapılan kaplin ayar ölçümlerinde Şekil 5.6'da görüleceği üzere ölçüm değerleri eşik değerlerinde olduğu görülmüştür. Özellikle titreşim değerlerinin uygun olmaması nedeniyle kaplin hizalamanın motor bakımlarından sonra daha uygun şekilde yapılması gerekmektedir.

Shaft Alignment Report

Horizontal

EX6ANAMOTORKAPLINHIZALAMA

SKF**Machine ID**

Ex-6-ANA-MOTOR

Date

23.11.2023

Company

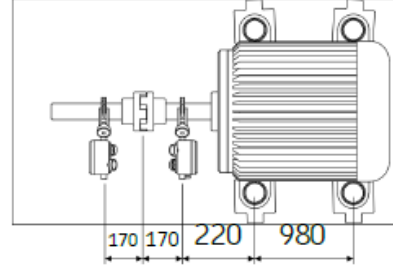
ARÇELİK BUZDOLABI İŞLETMESİ

Operator

KÜRŞAT TURKAY

Notes

Sonuçlara göre kaplinlerin hizası tam eşik değerindedir. Tarafımızdan yapılan değerlendirmelere göre, kaplin hizalamalarının iyileştirilmesi ve sıfırlanması tavsiye edilmektedir.

**Tolerances**

Speed (rpm)	Offset (mm)	Angular Error (mm/100)
1000-2000	0,10	0,08

Target Values

	Vertical	Horizontal
Offset (mm)	-	-
Angle (mm/100)	-	-

Stationary Unit (S): TKSA 51, 2012-0262**Movable Unit (M):** TKSA 51, 2012-0257**Soft Foot Check Performed:** No**Result**

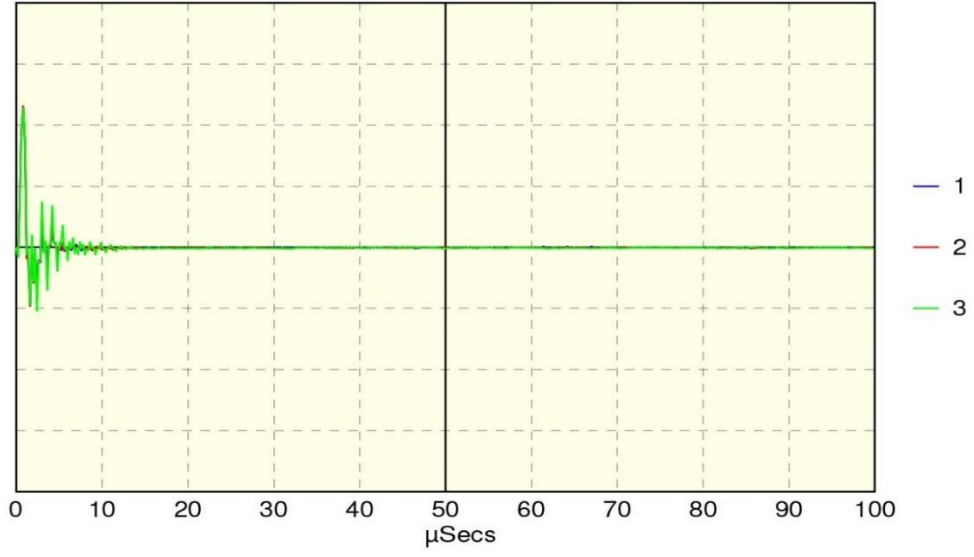
As Found	X	Vertical	Horizontal	As Corrected	Vertical	Horizontal
Offset (mm)		0,11	-0,03	Offset (mm)		
Angle (mm/100)		0,01	-0,19	Angle (mm/100)		
Front Feet (mm)		0,16	-0,76	Front Feet (mm)		
Rear Feet (mm)		0,27	-2,59	Rear Feet (mm)		

Şekil 5.6 Motorun arıza giderimi öncesi kaplin hizalama ölçümleri

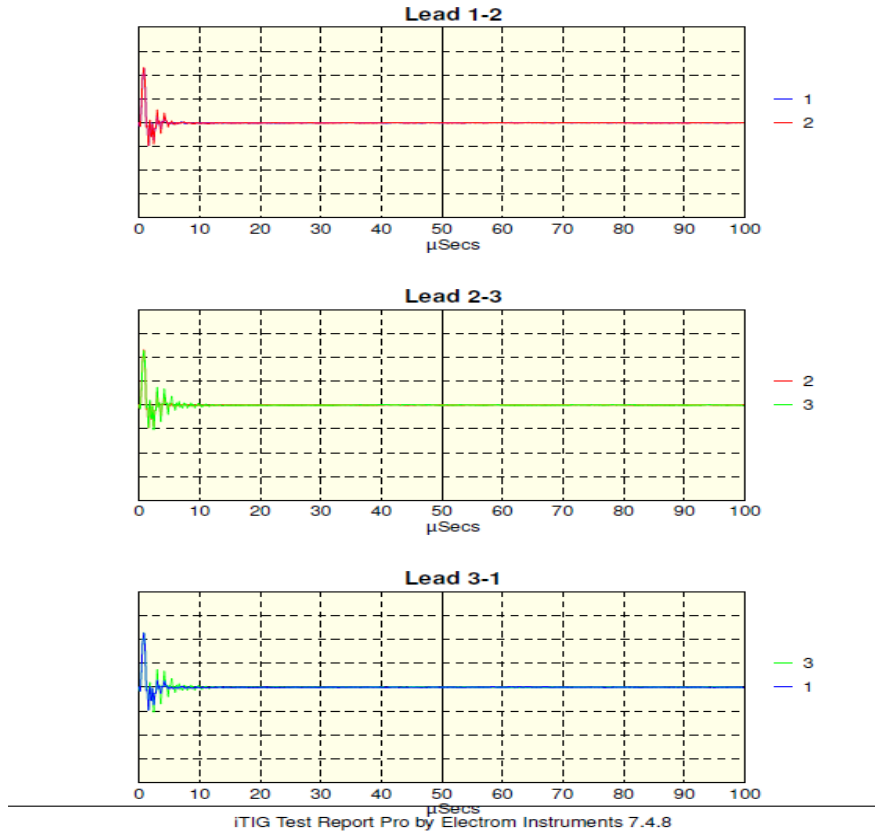
5.1.1.5 Sargı Analizinin Yapılması

Sistemde motorun kısa sürede durdurulması sonucunda sargı kontrolleri için surge analizi yapılmıştır. Fazlar arası sargı analizi kontrol edilmiştir. Şekil 5.7'de 1-2-3 olarak fazların tamamının grafikleri ve farkları tespit edilmiştir.

Şekil 5.8'de ise 1-2/2-3/3-1 olarak fazların surge analizleri incelenmiş ve farklarda görülmüştür. Bu durum motor sargılarında bir problemin olduğunu göstermektedir. Bu durumun ayrıntılı tespit edilmesi için motorun de monte edilip sargıların kontrolleri gerekmektedir.



Şekil 5.7 Motor sargılarının arıza giderimi öncesi 3 fazının surge testi grafiği



Şekil 5.8 Motor sargılarının arıza giderimi öncesi 3 fazının karşılaştırılmalı surge testi grafiği

5.1.1.6 Arıza Tespit Değerlendirilmesinin Yapılması

Motorla ilgili ilk aşamada arıza tespitine yönelik dinamik testler yapılmıştır. Ayrıca sistemde statik olarak surge analizi testi yapılmıştır. Yapılan testler ışığında öncelikle ilk tespit edilen motorun tam kapasitede yüksek akım değerlerine ulaştığıdır. Bunun sebepleri açısından öncelikle ısı-sıcaklık ve titreşim ölçümleri yapılmıştır. Titreşim analizinde 3 ekseninde inceleme yapılmıştır. Eksenlerde ölçülen değerlerde problemler olduğu ISO 10816-3 standartına göre limit dışı değerler ölçülmüştür. Bu durumun nedenleri arasında olabilecek aksel kaçıklık ölçülmüştür. Yapılan kaplin ayar ölçümleri sonucunda kaplinde hizalama değerleri eşik değerdedir. Bu nedenle kaplin ayarının yapılması ve sorunsuz hale gelmesi gerekmektedir.

Ayrıca akım değerlerinde yükseklik için sargılarda kontrol edilmiş olup yapılan surge analizinde sargılar arası farklar tespit edilmiştir. Bu durumun en azından daha büyük problemlere ulaşmadığı yapılan ısı-sıcaklık ölçümlerinde gözlemlenmiştir. Sıcaklık değerleri standart kapsamında uygun değerlerdedir.

Motorun titreşimli çalışmasının rulman, kapak ve mil ekseninde zarar verebileceği için motorun ayrıntılı tespitlerinin yapılması gerekmektedir.

5.1.2 Arızanın Giderilmesi

Motorun de monte işlemi yapıldıktan sonra ilk arıza tespitlerinde tespit edilen arızaların kaynakları konusunda işlemler yapılmıştır. Sargı analizi ve titreşim testlerinde problemler görüldüğü için hem elektriksel hem de mekaniksel ölçümler yapılmıştır.

Öncelikle sargıların ilk kontrollerde içlerine kadar kirlilik tespit edilmiştir. Bu durum Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Bu nedenle sağlıklı analiz yapılması için tüm kirlilerden arındırılmıştır. Surge testleri tekrar yapılmıştır. Şekil 5.10'da sonuçlardan görüleceği üzere sargılarda problem ortadan kalkmıştır.



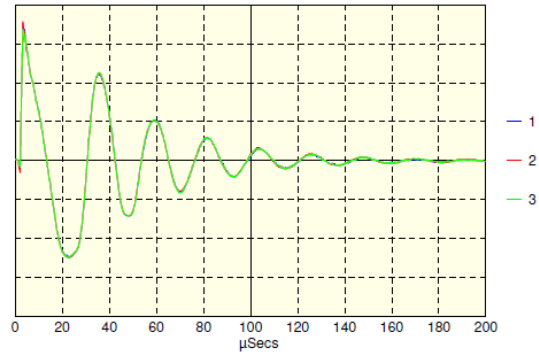
Şekil 5.9 Motorun kirlilik görüntüsü

Equipment Test Report

AC Off-line Surge - Summary

Recommended Voltage: 3000
Voltage Reached:
2958 / 2990 / 2953
Wave Difference P-P:
4.2% / 4.8% / 4.2%
Wave Difference L1-L2: 2.9%
Wave Difference L2-L3: 3.1%
Wave Difference L3-L1: 2.9%

Surge Result: **PASS**



Şekil 5.10 Kirlerinden arındırılmış sargıların surge testi grafiği

Yapılan titreşim ölçülerinde özellikle problemlili olan arka kapakta mekanik ölçümler yapılmıştır. Rulman yuvasında bollaşma tespit edilmiştir. +0,05 bollaşma Şekil 5.11’de görülmektedir. Motorda meydana gelen titreşimin mekanik arızalar sonucunda olduğu gözönüne alınarak kapaktaki problem motorda titreşim yaratmaktadır. Bu nedenle kapakta bollaşma yapılan işlemler sonucunda giderilmiştir.



Şekil 5.11 Arka kapak mekanik ölçümü

5.1.3 Arıza Giderilmesi Sonrası Ölçümler

Motorun tüm arızaları giderildikten sonra yerinde yapılan testler tekrar yapılarak aradaki farklar ve iyileşme durumu izlenmiştir.

5.1.3.1 Akım Değerlerinin İzlenmesi

Motorun akım değerleri 3 aşamada incelenmiştir. İlk aşamada motor sistem üretimdeyken 10 dakika performansı izlenmiş ve değerler kayıt altına alınmıştır. Belli bir süre performansının izlenmesi motorda akım dalgalanması ile ilgili bir problem olup olmadığını görmek için yapılmıştır.

2.aşamada motorun tam yükte çektiği akım değeri kayıt altına alınmıştır. Bu değer kayıt altına alınmasının sebebi tam yükte ölçülen değer etiket değerlerine uygunluğunun kontrol edilmesidir.

Son aşamada motorun yüksüz(boşta) performansı kayıt altına alınmıştır.

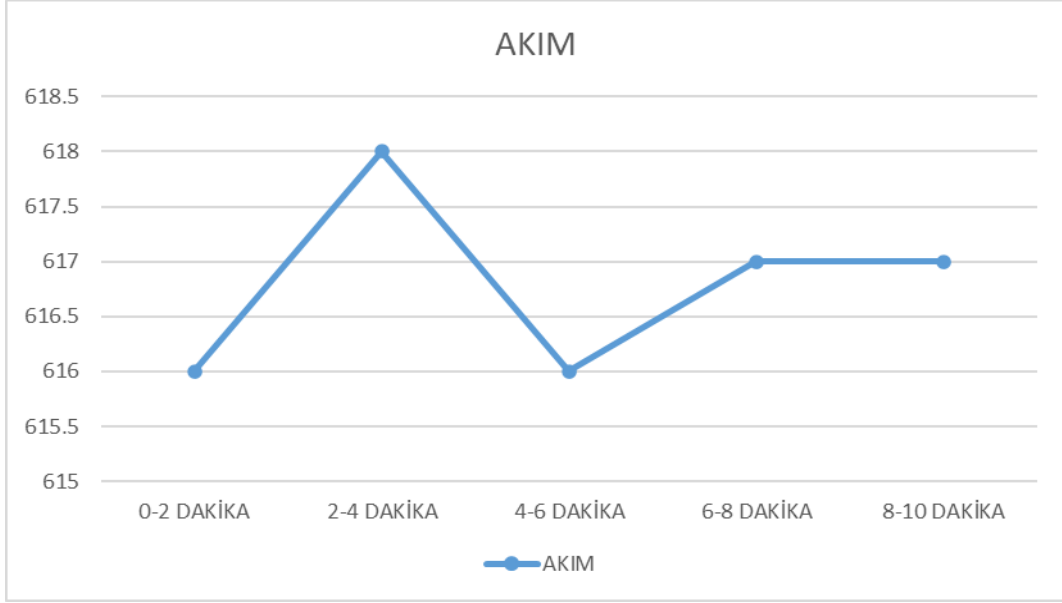
3 Motor performansı boşta, tam yükte ve üretim sürecinde 10 dakika sürecinde değerleri Tablo 5.2'deki şekilde kayıt altına alınıp ortalama akım değerleri alınmıştır.

Tablo 5.2 Motorun arıza giderim sonrası akım değerleri

Performans Testleri					
Bağlantı Uçları	Durum	Gerilim	Akım	Devir	Frekans
L1-L2-L3	Boşta	385,8 V	169 A	1150 devir	39
L1-L2-L3	Ortalama	385,8 V	617 A	1150 devir	39
L1-L2-L3	Tam Yük	385,8 V	760 A	1150 devir	39

Bakım ve arıza giderimi sonrasında yapılan performans testlerinde tam yükte motorun akım değerlerinde azalma olduğu llmştr. Etiket değerinde 765 A şeklinde olan motor maksimum yükte tam kapasite ve tam devir değerlerinde 760 A olarak llmştr. Arızalı motorda bu değer 790 A olarak llmşt. Böylece aynı ham madde ve koşullarda motorun tam yükteki akım değeri %4 azalarak etiket değerlerine uygundur duruma gelmiştir.

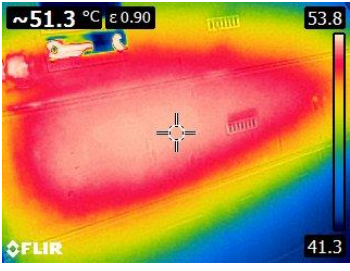
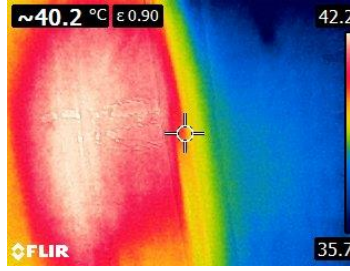
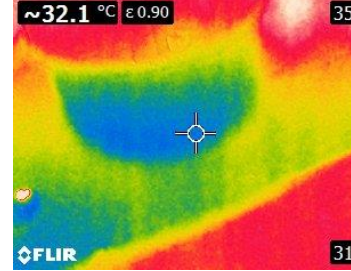



Ayrıca belirli zaman dilimin akım değerlerinin izlenmesi ile akım dalgalanması durumu da incelenmiştir. şekil 5.12'de görüldüğü üzere akım dalgalanması ile bir durum gözlemlenmemiştir. Üretim sürecinde akım değerleri birbirine yakın şekilde llmştr. İlk ölümlerde ortalama akım 637 idi. Yapılan son ölümlerde bu değer %3 azalarak 617 değerine gelmiştir. Bu iyileşme sürekli bu yüklerde çalışan sistem için enerji tüketimi açısından olumlu bir gelişmedir.



Şekil 5.12 Motorun arıza giderimi sonrası 10 dakikalık akım değerleri

5.1.3.2 Isı-Sıcaklık Değerlerinin İzlenmesi

Elektrik motorunun üretim sürecinde ısı kontrolleri de yapılmıştır. Ön kapak-Arka kapak ve stator kısmı olmak üzere 3 yönden ısı değerleri termal kamera ile izlenmiş ve sonuçları tabloda gösterilmiştir. İzolasyon Sınıfları IEC 34 – 1 standartları kapsamında yapılan ısı ölçümlerinde bir problem gözlemlenmemiştir. Şekil 5.13’de görülen sonuçlar ilk tespit sonuçları kapsamında olumlu olarak değişme ve değerlerde azalma görülmüştür. Bu durum motorun sıcaklık değerlerinde azalması kapsamında performansı ve uzun süreli kullanımı açısından pozitif bir gelişmedir. Yapılan ölçümler ilk ölçümlerde yapılan yerlerle aynı olmasına dikkat edilmiştir. Ayrıca motorun belli bir süre çalışmasında sonra yapılarak sonuçların ilk sonuçlarla karşılaştırılabilmesi için aynı koşullar sağlanmıştır.

Dinamik Test Sonuçları		
Termal Kamera ile belirli bölgelerde ısı kontrolü		
Stator	Ön Rulman	Arka Rulman
		
		
UYGUN	UYGUN	UYGUN

Şekil 5.13 Motorun arıza giderimi sonrası termal kamera ölçümleri

5.1.3.3 Titreşim Değerlerinin İzlenmesi

Ön kapak ve arka kapak yüzeylerinde x-y-z eksenlerinde titreşim analizleri yapılmıştır. Şekil 5.14'te ISO 10816-3 standartına göre yapılan ölçümler gösterilmiş olup tüm eksenlerde sorun olmadığı ölçülmüştür. Böylece arıza tespiti sonrasında tüm titreşim problemlerinin ortadan kalktığı ve motorun sağlıklı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Yapılan ilk tespit ölçümlerinde özellikle arka kapakta y-z eksen doğrultusunda problem olduğu tespit edilmişti. Ayrıca ön kapakta tüm eksenler ve arka kapak x ekseninde değerler sınır değerler kapsamında idi. Arıza giderimi sonrasında tüm değerler olumlu seviyeye gelerek yeni makine değerlerine gelmiştir.

Vibrasyon Test Sonuçları							
Ölçüm Yapılan Yer	Eksenler	Ölçülen Titreşim Hızı(r.m.s)	DIN ISO 10816-3	Grup 1		Grup 2	
Ön Kapak-1	X EKSENİ	1,8	Makine Tipi	Büyük Makineler 300 kW < P < 50 MW		Orta Büyüklükteki Mak. 15 kW < P < 300 Kw	
	Y EKSENİ	1,9					
	Z EKSENİ	1,7					
Arka Kapak-1	X EKSENİ	1,9		Motor H > 315 mm		Motor 160 mm < H < 315 mm	
	Y EKSENİ	2,1					
	Z EKSENİ	1,9					
Ön Kapak-2	X EKSENİ	2,2	Yerel Bağlantı Tipi	Esnek <input type="checkbox"/>	Rijid <input checked="" type="checkbox"/>	Esnek <input type="checkbox"/>	Rijid <input type="checkbox"/>
	Y EKSENİ	1,9					
	Z EKSENİ	1,7					
Arka Kapak-2	X EKSENİ	1,9	Hız V_{eff} mm/s rms	11,0	D		
	Y EKSENİ	1,7		7,1			
	Z EKSENİ	1,9		4,5	C		
Ön Kapak-3	X EKSENİ	1,9	10-1000Hz $r > 600rpm$	3,5			
	Y EKSENİ	1,9		2,8	B		
	Z EKSENİ	1,9		2,3			
Arka Kapak-3	X EKSENİ	2,1	2-1000Hz $120 < r < 600rpm$	1,4			
	Y EKSENİ	1,9		0	A		
	Z EKSENİ	1,9					


Şekil 5.14 Motorun arıza giderimi sonrası titreşim ölçümleri

5.1.3.4 Kaplin ayarın yapılması

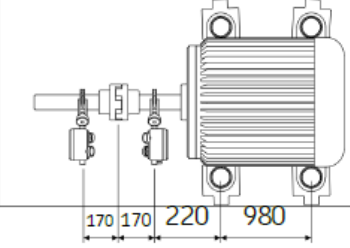

Arıza öncesi kaplin hizalama eşik değerlerde olduğu için motor bağlandıktan sonra gerekli düzenlemeler sonucunda kaplin ayarı yapılmış olup sorunsuz şekilde kaplin sisteme bağlanmıştır.

Shaft Alignment Report

Horizontal
EX6ANAMOTORKAPLINHIZALAMA



Machine ID Ex-6-ANA-MOTOR	Date 	
Company ARÇELİK BUZDOLABI İŞLETMESİ	Operator KÜRŞAT TURKAY	
Notes Kaplin ayarı sorunsuz şekilde yapılmıştır.		
Tolerances		
Speed (rpm)	Offset (mm)	Angular Error (mm/100)
1000-2000	0,10	0,08
Target Values		
	Vertical	Horizontal
Offset (mm)	-	-
Angle (mm/100)	-	-
Stationary Unit (S):	TKSA 51, 2012-0262	
Movable Unit (M):	TKSA 51, 2012-0257	
Soft Foot Check Performed:	No	

Result

As Found		Vertical	Horizontal	As Corrected	Vertical	Horizontal
Offset (mm)	X	0,11	-0,03	0,01	✓	0,01
Angle (mm/100)		0,01	-0,19	0,01	✓	-0,03
Front Feet (mm)		0,16	-0,76			
Rear Feet (mm)		0,27	-2,59			

Şekil 5.15 Motorun arıza giderimi sonrası kaplin hizalama ölçümleri

5.1.4 Değerlendirme

Çalışmada görüldüğü üzere arıza tespiti için doğru testlerin yapılması gerekliliği görülmüştür. Yapılan titreşim testleri ile motorda mekanik bir problem olduğu ölçülmüştür. Ayrıca yapılan sargı analizi sonucunda sargılarda da problem olduğu tespit edilmiştir. Bu şekilde motorun çalışmaya devam etmesi durumunda hem sargıların sarım ihtiyacı hem de mekanik titreşimden dolayı motordaki daha büyük arızalar ve sistemde titreşim kaynaklı problemler olabilecektir.

Tam yükte arıza öncesi ve sonrası akım değerlerinde %4 fark tespit edilmiştir. Bu durum tam yükte motorun çalışması durumunda yüksek akım çekmesine ve bu durum kaynaklı arızalara sebep olacaktır.

Yapılan 10 dakikalık akım testlerinde ortalama akım değerinde %3 azalma ölçülmüştür. Bu durum motorun sistemden daha az güç çekmesini sağlamaktadır.

Tüketilen güçteki azalmalara ait bilgiler Tablo 5.3'te belirtilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere 7.71 kW azalma olmuştur. Motorun tüm arızaları giderildikten sonra yerinde yapılan testler tekrar yapılarak aradaki farklar ve iyileşme durumu izlenmiştir.

Tablo 5.3 Motor güç tablosu

	GERİLİM(V)	AKIM(A)	GÜÇ (kW)
ARIZA TESPİTİ ÖNCESİ	385.5	637	245.56
ARIZA GİDERİMİ SONRASI	385.5	617	237.85

Motorun çektiği akım değerlerindeki azalmalar özellikle enerji tüketimi açısından çok önemlidir.

Sanayideki elektrik Birim Fiyatı Sanayi için: 3,705608 TL şeklindedir. Elektrik sarfiyatı açısından tabloda da görüldüğü üzere 7.71 kW bir azalma sağlanmıştır. Bu azalma sayesinde saatte 28,566 TL bir tasarruf sağlamaktadır. Yılda fabrikanın ortalama 350 gün 24 saat çalıştığı bilgisi kapsamında.

$350 \times 24 = 8400$ saat fabrika çalışması mevcut olup yılda 239954,4 TL bir kazanç sağlamaktadır. Tam yükte arıza öncesi ve sonrası akım değerlerinde %4 fark tespit edilmiştir. Bu durum tam yükte motorun çalışması durumunda yüksek akım çekmesine ve bu durum kaynaklı arızalara sebep olacaktır.

Tablo 5.4 İşletme Kazanç Durumu

Enerji Tüketim Kazancı (Yıllık-TL)	Enerji Tüketim Kazancı (Yıllık-Euro)	Bakım Onarım Maliyeti (TL)	Bakım Onarım Maliyeti (Euro)
239954,4 TL	6650 Euro	117801,2 TL	3250 Euro

Tablo 5.4'te görüldüğü üzere arızalı motorda yapılan bakım onarım işlemleri yıllık elde edilen kazancın %49 maliyeti şekilde yapılmıştır. Ele aldığımız motor kapsamında bu durum işletmenin ekonomik verileri için önemli bir kazanç durumudur. Arıza tespitinin yapılması ve arızanın giderilmesi sonucunda hem motorun performansı artmış hem de enerji tüketimi gider kaleminde azalış olmuştur. Enerjiyi ithal eden ülkemiz için enerji sarfiyatının daha az olması ülke yararına bir durum oluşturmaktadır.

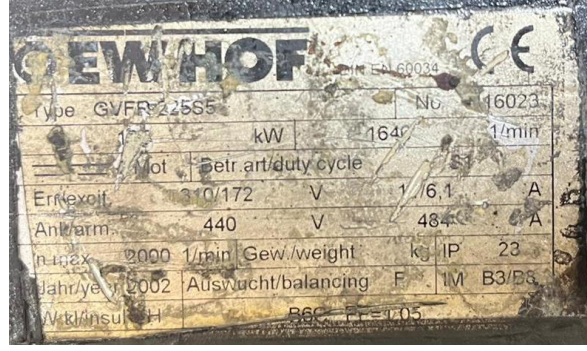
Fabrikalarda sistemde çalışan motorların hem kestirimci bakım uygulamalarının yapılması hem de doğru arıza analiziyle motorun sorunsuz hale gelmesi sonucunda.

- Enerji sarfiyatında azalmalar
- Motorun çalışması performansının artması
- Sistemin sorunsuz çalışması
- Daha büyük bakım onarım maliyetlerinin olmaması
- Üretimdeki kayıpların engellenmesi
- Motorun çalışma ömrünün artması

şeklinde birçok avantaj sağlamaktadır

5.2 165 kW DC motor Çalışması

Ölçüm sonuçları alınan motor DC motordur. Çalışması yapılan sistem ise plastik şişe üretmektedir. Motorun seçilme sebebi özellikle sargı arızalarının giderilmesi sonucunda elde edilen enerji tüketim azalışını ele almaktır. Yapılan ölçümler; akım, gerilim, rpm değerlerinin yükteki performansıdır. Motorun etiketi Şekil 5.16'da ayrıntılı bilgileri Tablo 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.16 165 kw dc motor etiketi

Tablo 5.5 Motor ayrıntılı etiket bilgileri

1.1 Etiket Bilgileri			
Marka	EW HOF	Tip	GVFR 225 S5
Seri No	16023	Güç	165 kW
Devir	1646/2000 rpm	Fan	
İkaz Sargıları		Armatür Sargıları	
Uf(V)	310/172 V	Va(V)	440 V
Ia(A)	11/6,1 A	Ia(A)	484 A

5.2.1 Arıza Tespiti

Fabrikadaki plastik enjeksiyon makinasının ana motorunun üretimdeyken %20 yükte çalışma performansı incelenmiştir. Yapılan ölçümler Tablo 5.6’da belirtilmiş olup motorun 140 A çektiği ölçülmüştür. Bu durum etiket değeri 400 A’lik motorda için bir problemin olduğunun ilk belirtisidir. Ayrıca ölçülen sonuçlarda ikaz akım değerlerindeki yükseklikte ikaz sargılarında da problem olduğunu göstermektedir.

Ayrıca yapılan statik ölçümlerde bu durum net şekilde tespit edilmiştir. 1000 V izolasyon test cihazında Field sargısının izolasyon direnci 2.7 MΩ yardımcı sargıların 0.8 MΩ ölçülmüştür.

Tablo 5.6 Motorun arıza giderimi öncesi %20 yükte motorun elektriksel değerleri

Performans Testleri					
Ölçüm Y	Arm V	Arm A	İkaz V	İkaz A	Rpm
Arıza Tespiti Sırasında	440	140 A	170	11,4	1968

5.2.2 Arızanın Giderilmesi

Motorun de monte işlemi sonrasında yapılan tespitlerde hem ikaz hem de yardımcı sargılarda kavrulma tespit edilmiştir.

İkaz sargılarında yapılan ilk izolasyon ölçümlerinde $2.7 \text{ M}\Omega$ ölçülmüş ve bu sonuç sargılarda problem olabileceğini gösteren ilk tespittir. Endüktör detaylı kontrol edildiğinde Şekil 5.17’de görülen ikaz sargılarında bakır tel üzerindeki emayelerin kalmadığı ve kavrulduğu görülmüştür.



Şekil 5.17 İkaz sargılarındaki kavrulma

Yardımcı sargılarında yapılan ilk izolasyon ölçümlerinde $0.8 \text{ M}\Omega$ ölçülmüş ve bu sonuç sargılarda problem olabileceğini gösteren ilk tespittir. Endüktör detaylı kontrol edildiğinde Şekil 5.18’de görüldüğü üzere yardımcı sargılarında yassı bakır tel üzerindeki emayelerin kalmadığı ve kavrulduğu görülmüştür.



Şekil 5.18 Yardımcı sargılarındaki kavrulma

Hem ikaz hem de yardımcı sargıları Şekil 5.19’da görüleceği üzere orjinal ölçülerinde aynı tel ölçüsü ve sipir sayısıyla bobinleri hazırlanmıştır. Aynı bağlantı ile bağlanarak izolasyonları sağlanmıştır.



Şekil 5.19 Sargıları yenilenmiş endüktör

5.2.3 Arıza Giderilmesi Sonrası Ölçümler

Sistemde %20 yükte motor performansı tekrar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.7’deki şekilde kayıt altına alınmıştır.

Tablo 5.7 Motorun arıza giderimi sonrası %20 yükte motorun elektriksel değerleri

Performans Testleri					
Ölçüm Y	Arm V	Arm A	İkaz V	İkaz A	Rpm
Arıza Giderim Sonrasında	440	85 A	170	6.8	1978

5.2.4 Değerlendirme

Sistemde %20 yükte motor performansına bakıldığında ikaz A değerlerinde düşme görülmüştür. Bu durum hem motorun performansı arttırmaktadır hem de motorda

en çabuk ısının sargılar olan ikaz sargılarının verimli çalışması sonucunda motor ısısını düşürmektedir.

Elektrik tüketimi, motor verimliliği ve motor performansı olarak bizim için en önemli değer olan Armatür akımında ise 140'tan 85'e düşüş gözlemlenmiştir.

Bu da enerji sarfiyatı ve motor verimliliği için çok önemli bir düşüştür. Ortalama %41 azalma tespit edilmiştir. Bu durum göstermektedir ki doğru arıza tespiti ve arızaların çözümlenmesi motor verim ve performansını olumlu etkilemektedir.

Tablo 5.8 165 kW motor güç tablosu

	GERİLİM(V)	AKIM(A)	GÜÇ (kW)
ARIZA TESPİTİ ÖNCESİ	440	140	61.6
ARIZA GİDERİMİ SONRASI	440	85	37.4

Sanayideki elektrik Birim Fiyatı Sanayi için: 3,705608 TL şeklindedir. Elektrik sarfiyatı açısından tabloda da görüldüğü üzere 24.2 kW bir azalma sağlanmıştır. Bu azalma sayesinde saatte 89,676 TL bir tasarruf sağlamaktadır. Yılda fabrikanın ortalama 350 gün 24 saat çalıştığı bilgisi kapsamında.

$350 \times 24 = 8400$ saat fabrika çalışması mevcut olup yılda 753278,4 TL bir kazanç sağlamaktadır.

Tablo 5.9 İşletme kazanç durumu

Enerji Tüketim Kazancı (Yıllık-TL)	Enerji Tüketim Kazancı (Yıllık-Euro) Kur:32.7049(09.01.2024)	Bakım Onarım Maliyeti (TL)	Bakım Onarım Maliyeti (Euro)
753278,4 TL	23032.59 Euro	186417.93 TL	5700 Euro

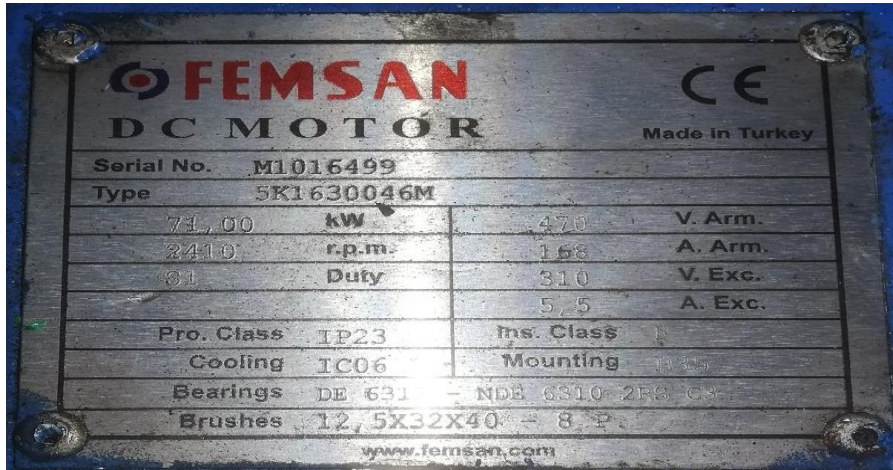
Tablo 5.9'te görüldüğü üzere arızalı motorda yapılan bakım onarım işlemleri yıllık elde edilen kazancın %25 maliyeti şekilde yapılmıştır. Ele aldığımız motor kapsamında bu durum işletmenin ekonomik verileri için önemli bir kazanç durumudur. Arıza tespitinin yapılması ve arızanın giderilmesi sonucunda hem motorun performansı artmış hem de enerji tüketimi gider kaleminde azalış

olmuştur. Enerjiyi ithal eden ülkemiz için enerji sarfiyatının daha az olması ülke yararına bir durum oluşturmaktadır.

Özellikle yapılan ölçümlerde görüldüğü üzere motor sargılarında problem kaynaklı akım değerlerinde büyük değişimler görülmektedir. Bu nedenle özellikle sargıların değerleri ve belirli periyotlarda bakımları sargıların uzun süreli dayanımını sağlayabilmektedir.

5.3 71 kW DC Motor Çalışması

Motor Femsan marka olarak 71 kW DC motordur. Motorda yapılan çalışma motorun imalatından sonra boştaki ilk değerleri alınmıştır. Her arıza öncesi ölçüm sonuçları, arıza maliyet bilgisi ve arıza sonra ölçüm sonuçları alınarak değerlerdeki farklar izlenmiştir.



Şekil 5.20 İmalatı yapılan motor etiketi

5.3.1 İmalat Sonrası İlk Ölçümler

11.03.2017 tarihinde motorun imalat işlemleri tamamlanmış olup çıkış testleri yapılmıştır. Çıkış değerleri Tablo 5.8’de belirtilmiş olup sorunsuz şekilde sisteme bağlanmıştır.

Tablo 5.10 İmalat sonrası motorun yüksüz (boşta) performansı

Açıklama	Çıkış Tarihi	ArmV	ArmA	İkazV	İkazA	RPM
Sfır Motor Çıkış	11.03.2017	470	3.7	310	5.9	2410

5.3.2 Motorun 1.Arızalı Gelişi Öncesi ve Sonrası Ölçümler

Sistemde yaklaşık 3 yıl çalışan motor 08.04.2020 tarihinde ısınma kaynaklı arızadan dolayı sistemden sökülüştür. Öncelikle motorun yüksüz şekilde testleri yapılarak elektriksel değerleri Tablo 5.9'daki şekilde ölçülmüştür.

Tablo 5.11 1. arıza gelişi motorun yüksüz(boşta)performansı

Açıklama	Çıkış Tarihi	ArmV	ArmA	İkazV	İkazA	RPM
Arızalı 1.Geliş	08.04.2020	470	5.6	310	7.8	2408

5.3.2.1 Arıza Tespitleri ve Arızanın Giderilmesi

Ölçüm sonuçlarına göre ArmA ve İkaz A değerlerinde ilk çıkış testleriyle kıyasladığımızda artış olduğu görülmüştür.

Bu sonuçlar sonucunda yapılan arıza tespitlerinde Şekil 5.21'deki ikaz sargılarında kavrulma olduğu görülmüştür.



Şekil 5.21 İkaz sargılarının kavrulması

Motorda tüm arıza tespitleri kapsamında yapılan onarım işlemleri aşağıda belirtilmiştir.

Yapılan Onarım İşlemleri

- Kollektör tornası yapılması (0.002 hassasiyette)
- Kollektör mikalan kesilmesi ve 90 derece pahlarının kırılması
- Rotor balansının kontrol edilmesi
- Rulmanın (Ön) değişimi

- Rulmanın (Arka) değişimi
- Motor içinin özel solüsyon ile pislikten anndırılması
- İkaz sargılarının komple yeniden sarımı
- Enduktore vernikleme ve ısı kontrollü fırında kurutma
- Endüvi vernikleme ve ısı kontrollü fırında kurutma
- Motor içerisine izo|asyon arttırıcı epoksi boya yapılması
- Mukayeseli darbe gerilim testi (surge test) yapılması
- İzolasyon ve growler testlerinin yapılması
- Nötr bölgesinin set edilmesi
- Performans testinin yapı lması
- Boya yenilenmesi

5.3.2.2 1.Arıza Giderimi Sonrası Ölçümler

Onarım işlemleri sonucunda işlemleri tamamlanan motorun çıkış sonuçları ölçülmüştür. Tablo 5.10’da gösterilen sonuçlar motorun arızalı geldiği değerler ile kıyaslandığında değerlerinde olumlu değişmeler gözlemlenmiştir

Tablo 5.12 1. arıza giderilmesi sonrası motorun yüksüz(boşta)performansı

Açıklama	Çıkış Tarihi	ArmV	ArmA	İkazV	İkazA	RPM
Arızasız 1.Çıkış	09.04.2020	470	4.2	310	6.1	2408

5.3.3 Motorun 2.Arızalı Gelişi Öncesi ve Sonrası Ölçümler

Motor 10.04.2020 tarihinde tekrar sisteme bağlanmış ve üretime devam etmiştir.2 yıla yakın süre çalışmaya devam ettikten sonra tekrar ısınma problemi kaynaklı sistemden sökülmüştür. Tablo 5.11’deki şekilde ilk ölçümler yapılmıştır.

Tablo 5.13 2. arıza gelişi motorun yüksüz (boşta)performansı

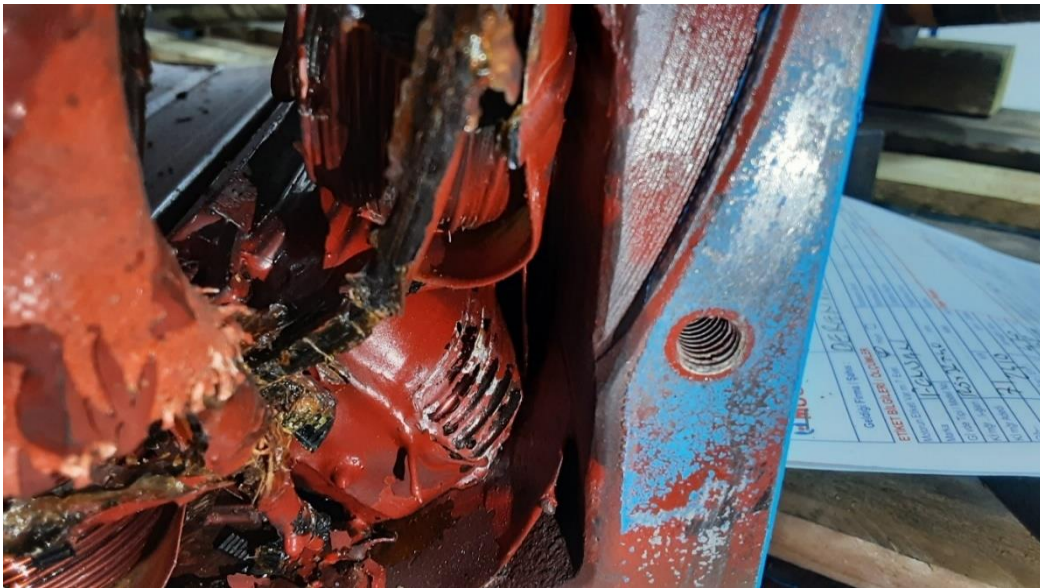
Açıklama	Çıkış Tarihi	ArmV	ArmA	İkazV	İkazA	RPM
Arızalı 2.Geliş	23.02.2022	470	7.1	310	8.8	2408

5.3.3.1 Arıza Tespitleri ve Arızanın giderilmesi

Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre ArmA ve İkaz A değerlerinde ilk çıkış ve arızası 1. çıkış ile kıyasladığımızda artış olduğu görülmüştür. Yapılan arıza tespitlerinde ikaz sargılarında kavrulma ve kollektörde bozulmaların kapsamlı araştırması sonucunda yardımcı sargılarda kavrulma tespit edilmiştir. Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te bu sargı kavrulmaları gösterilmiştir. Ayrıca yardımcı sargılar etkisiyle bozulan kollektor yüzeyi de Şekil 5.24'te gösterilmiştir.



Şekil 5.22 2.kez ikaz sargılarının kavrulması



Şekil 5.23 Yardımcı sargılarının kavrulması



Şekil 5.24 Kollektor yüzeyinde bozulmalar

Yapılan Onarım İşlemleri

- Kollektör tornası yapılması (0.002 hassasiyette)
- Kollektör mikalan kesilmesi ve 90 derece pahlarının kırılması
- Rotor balansının kontrol edilmesi
- Rulmanın (Ön) değişimi
- Rulmanın (Arka) değişimi
- Motor içinin özel solüsyon ile pislikten anndırılması
- İkaz sargılarının komple yeniden sarımı
- Yardımcı sargıların yeniden sarımı
- Enduktore vernikleme ve ısı kontrollü fırında kurutma
- Endüvi vernikleme ve ısı kontrollü fırında kurutma
- Motor içerisine izo|asyon arttırıcı epoksi boya yapılması
- Mukayeseli darbe gerilim testi (surge test) yapılması
- İzolasyon ve growler testlerinin yapılması
- Nötr bölgesinin set edilmesi

- Performans testinin yapılması
- Boya yenilenmesi

5.3.3.2 2.Arıza Giderimi Sonrası ölçümler

Onarım işlemleri sonucunda işlemleri tamamlanan motorun çıkış sonuçları Tablo 5.12'deki şekilde ölçülmüştür. Motorun arızalı geldiği değerler ile kıyaslandığında değerlerinde olumlu değişimler gözlemlenmiştir.

Tablo 5.14 2. arıza giderilmesi sonrası motorun yüksüz (boşta)performansı

Açıklama	Çıkış Tarihi	ArmV	ArmA	İkazV	İkazA	RPM
Arızasız 2.Çıkış	28.02.2022	470	4.4	310	6.3	2408

5.3.4 Motorun 3.Arızalı Gelişi Öncesi ve Sonrası Ölçümler

Motor 02.03.2022 tarihinde tekrar sisteme bağlanmış ve üretime devam etmiştir.2 yıla yakın süre çalışmaya devam ettikten sonra arklanma problemi kaynaklı sistemden sökülüştür. Öncelikle motorun yüksüz şekilde testleri yapılarak Tablo 5.13'teki gibi elektriksel değerleri ölçülmüştür.

Tablo 5.15 3. arıza gelişi motorun yüksüz (boşta)performansı

Açıklama	Çıkış Tarihi	ArmV	ArmA	İkazV	İkazA	RPM
Arızalı 3.Geliş	26.03.2024	470	4.8	310	6.6	2405

5.3.4.1 Arıza Tespitleri ve Arızanın giderilmesi

Ölçüm sonuçlarına göre ArmA ve İkaz A değerlerinde ilk çıkış, arızasız 1. çıkış ve arızasız 2. çıkış ile kıyasladığımızda çok az artış olduğu görülmüştür. Yapılan arıza tespitlerinde Şekil 5.25'te görülen kollektor yüzeyinde problem olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.25 2.kez kollektor yüzeyinde bozulmalar

Yapılan Onarım İşlemleri

- Kollektör tornası yapılması (0.002 hassasiyette)
- Kollektör mikalan kesilmesi ve 90 derece pahlarının kırılması
- Rotor balansının kontrol edilmesi
- Rulmanın (Ön) değişimi
- Rulmanın (Arka) değişimi
- Motor içinin özel solüsyon ile pislikten arındırılması
- Endütre vernikleme ve ısı kontrollü fırında kurutma
- Endüvi vernikleme ve ısı kontrollü fırında kurutma
- Motor içerisine izolasyon arttırıcı epoksi boya yapılması
- Mukayeseli darbe gerilim testi (surge test) yapılması
- İzolasyon ve growler testlerinin yapılması
- Nötr bölgesinin set edilmesi
- Performans testinin yapılması
- Boya yenilenmesi

5.3.4.2 3.Arıza Giderimi Sonrası Ölçümler

Onarım işlemleri sonucunda işlemleri tamamlanan motorun çıkış sonuçları ölçülmüştür. Tablo 5.14'teki değerler motorun arızalı geldiği değerler ile kıyaslandığında değerlerinde olumlu değişimler gözlemlenmiştir.

Tablo 5.16 3. arıza giderilmesi sonrası motorun yüksüz(boşta)performansı

Açıklama	Çıkış Tarihi	ArmV	ArmA	İkazV	İkazA	RPM
Arızasız 3.Çıkış	03.04.2024	470	4.5	310	6.4	2406

5.3.5 Değerlendirme

Bu çalışmada motorun imalat sürecinden itibaren tüm aşamaları incelenmiştir. Bu aşamaların tamamında ölçülen değerler Tablo 5.15'te gösterilmiştir. Belirli periyotlarla arızalanan motorun değerlerinde değişimler ve arıza giderildikten sonra değerindeki olumlu değişimler incelenmiştir. Yapılan çalışmadan çıkarılacak ilk sonuç motorun arıza aşamaları başladıktan sonra akım değerlerinde yükselmeler başlamıştır. Bu durum sonucunda arızalanan motorun performansı ve verimi olumsuz anlamda değişmektedir. Ayrıca arızalanma öncesi ve sonrası Arm A değerlerinde %25 %62 ve %6 azalmalar görülmüştür. Doğru arıza giderme ile motor performansının arttığı ölçüm sonuçlarıyla doğrulanmaktadır. Bu azalmalar elektrik sarfiyatı açısından önemli avantajlar getirmektedir.

Tablo 5.17 İmalat sürecinden itibaren motor performans tablosu

Açıklama	Çıkış Tarihi	ArmV	ArmA	FieldV	FieldA	RPM
Sıfır Motor Çıkış	11.03.2017	470	3.7	310	5.9	2410
Arızalı 1.Geliş	08.04.2020	470	5.6	310	7.8	2408
Arızasız 1.Çıkış	09.04.2020	470	4.2	310	6.1	2408
Arızalı 2.Geliş	23.02.2022	470	7.1	310	8.8	2408
Arızasız 2.Çıkış	28.02.2022	470	4.4	310	6.3	2408
Arızalı 3.Geliş	26.03.2024	470	4.8	310	6.6	2405
Arızasız 3.Çıkış	03.04.2024	470	4.5	310	6.4	2406

3 kez gelen motor farklı arızalar sonucunda işlemleri yapılmıştır. Motor maliyetleri ve bakım onarım maliyetleri Tablo 5.16'da belirtilmiştir.

Tablo 5.18 Motor maliyet tablosu

MALİYET KALEMİ	MALİYET TUTARI
Sıfır Motor Maliyeti	7.800 EURO
1.Bakım Onarım Maliyeti	1.150 EURO
2.Bakım Onarım Maliyeti	2.350 EURO
3.Bakım Onarım Maliyeti	1.850 EURO

Belirli periyotlarla arızalanan motora üretim sonrasında toplam 5.350 Euro bakım onarım ücreti ödenmiştir. Bu toplam tutar alınan motorun %70'idir. Ayrıca akım değerleri incelendiğinde ilk çıkış değeri ve son çıkış değeri arasında %18 fark görülmektedir. Tablo 5.17'de belirtildiği üzere ikaz sargıları 2 kez, yardımcı sargılar 1 kez sarılmıştır.

Tablo 5.19 İmalat sürecinden itibaren motor arıza tablosu

 <p>ikaz sargılarında kavrulma</p>		
1.BAKIM ONARIM İkaz(Field)Sargılarında Kavrulma Yapılan İşlemler İkaz(Field) sargılarının yeniden sarımı Kollektor bakımının yapılması Rulmanların değişimi Rotor balansının kontrol edilmesi Surge-Hipot-İzolasyon testlerinin yapılması Verniklenmesi	2.BAKIM ONARIM İkaz(Field)ve Yardımcı sargılarında Kavrulma Yapılan İşlemler İkaz(Field)ve Yardımcı sargılarının yeniden sarımı Kollektor bakımının yapılması Rulmanların değişimi Rotor balansının kontrol edilmesi Surge-Hipot-İzolasyon testlerinin yapılması Verniklenmesi	3.BAKIM ONARIM Kollektörde Bozulmalar Yapılan İşlemler Kollektor bakımının yapılması(ara açma,torna) Rotor balansının kontrol edilmesi Surge-Hipot-İzolasyon testlerinin yapılması

Her sarım işlemnde bakır kayıpları, enduktorun sökülmesi-ısınması kaynaklı demir kayıpları sebebiyle verim azalmaktadır. Bu azalma performans değerleriyle de görülmüştür. Bu nedenle belirli periyotlarda arızalanmaya başlayan elektrik motorlarının arızasının giderilmesi yerine yeni motor ile değişimi hem enerji sarfiyatı hem de motor verimliliği için önemli bir yer tutmaktadır.

6 SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada elektrik motorlarında arıza durumundaki elektriksel değerler ile arıza giderilmesi sonrasındaki değerlerin karşılaştırılması yapılarak enerji tüketimine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada arıza giderimi sonucunda hem motor performansının arttığı hem de enerji tüketimindeki büyük azalışlar olduğunun gösterilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada yer verilen her 3 örnek içinde bu durum incelenmiştir. Ayrıca bakım onarım maliyetleri göz önüne alınarak arıza tekrarı ya da arıza çeşitlerinin artması durumunda elektrik motorunun değişiminin daha ekonomik olma durumu araştırılmıştır.

435 kW Asenkron motor incelemesinde ilk olarak arıza tespiti için yöntemler ve bu yöntemler kapsamında doğru arıza tespitinin önemi vurgulanmıştır. Bu motorun çalışmada seçilme nedeni motorun extruder makinasının motoru olması ve sistemin sorunsuz çalışması için kritik durumda olmasıdır. Yapılan çalışmada ilk önce tüm arıza tespit yöntemleri uygulanarak ölçüm değerleri alınmıştır. Titreşim testlerinde değerlerin standart dışı olması, tam yükte çektiği akım değerinin etiket değerleri üzerinde olması, kaplin ayarının eşik değerlerde olması ve yapılan surge testinde motor sargılarının grafiklerinin sağlıklı olması durumu tespit edilmiştir. Daha sonraki aşamada bu tespitlerin motor de montesi sonrasında doğruluğu kapak ölçümleri ve sargılarının kirlerinden arındırılması sonucunda surge testinin sağlıklı hale gelmesi ile görülmüştür. Arıza giderimi sonrasında çektiği akım değerlerinde azalma sayesinde tam tüketilen enerji tüketimindeki azalma miktarı hesaplanmış ve motorun çalışma gün-saat durumu göz önüne alınarak yıllık kazanç miktarı hesaplanmıştır. Bakım onarım maliyeti de göz önüne alınarak işletmenin bu durumdaki kazanç miktarı hesaplanmıştır. Arıza giderimi sonrasında enerji tüketimindeki yıllık kazancın %49'u bakım onarım maliyetine eşdir. Bu durum fabrikanın yaklaşık 6 aydan sonra hem performansı artan hem de enerji tüketiminde kazanç durumuna geçmiştir. Bu durum arıza tespitinin önemini ve arıza gideriminin son yıllara maliyetleri çok artan enerji fiyatları sebebiyle işletmelere yüksek kazançlar getirebileceğini göstermektedir.

165 kW DC motor incelemesinde ilk olarak arıza tespiti için yöntemler ve bu yöntemler kapsamında doğru arıza tespitinin önemi vurgulanmıştır. Bu motorun seçilme sebebi özellikle sargı arızalarının enerji tüketimine etkisinin çok olması kaynaklıdır. Bu motorda sargıların yeniden sarımı sonucunda çektiği akım değerlerinde %41 oranında azalma olduğu ölçülmüştür. Bu durum enerji tüketimi ve motor sağlığı açısından büyük avantajlar getirmektedir. Bakım onarım maliyeti de göz önüne alınarak işletmenin bu durumdaki kazanç miktarı hesaplanmıştır. Arıza giderimi sonrasında enerji tüketimindeki yıllık kazancın %25'İ bakım onarım maliyetine eşdir. Bu durum fabrikanın yaklaşık 3 aydan sonra hem performansı artan hem de enerji tüketiminde kazanç durumuna geçmiştir. Bu durum arıza tespitinin önemini ve arıza gideriminin son yıllara maliyetleri çok artan enerji fiyatları sebebiyle işletmelere yüksek kazançlar getirebileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak tablo 5.20'de görüldüğü üzere motor bakım onarımlarının yapılması sonucunda kısa sürede ödenen maliyetler enerji tüketiminin olumlu performansı sayesinde kazanca dönüşmektedir.

Tablo 5.20 Bakım onarım maliyetlerin kazanca dönme süresi

Motor Bilgileri	Bakım Onarım Maliyeti-Euro	Enerji Tüketim Yıllık Kazancı-Euro	Kazanca dönme süresi
435 kW	3250 Euro	6650 Euro	6 AY
165 kW	5700 Euro	23032.59 Euro	3 AY

71 kW DC motor incelenmesinde ise imalat sürecinden itibaren motorun çalışma ve arıza tarihçesi ele alınmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda motorun her arıza durumunda yüksüz(boşta) çektiği akımın değerlerinin olumsuz yönde olduğu ölçüm sonuçlarıyla gözlemlenmiştir. Motorun arıza giderim maliyetleri ve motorun elektriksel değerlerindeki olumsuzluklar dikkate alınarak yeni motor ile değişimi konusunda incelenmiştir. Bu durumun avantajları ortaya konmuştur.

Yapılan tüm incelemelerde elde edilen sonuçlar arıza tespitinin doğru yapılması ya da belirli periyotlarla motor bakımının yapılması enerji tüketimi üzerine büyük

avantajlar sağlamaktadır. Sistemin sorunsuz çalışması ya da plansız arızaların önüne geçilmesi için bu durum çok önemlidir. Bu nedenle işletmelerin kestirimci bakım uygulamalarına önem vermesi ve belirli periyotlarla bu bakımların yapılması gerekmektedir.

Tekrarlayan arıza durumlarında yapılması gereken motorun arıza maliyetlerinin yeni motor ile oransal karşılaştırılmasıdır. Tekrarlayan arızalarda motor veriminin düşeceği de göz önüne alınmalıdır. Motor veriminin düşmesi, arızalı durumda enerji tüketiminin artması ve arıza maliyetleri kapsamında detaylı bir çalışma yapıp yeni motorun ekonomik olma durumu hesaplanmalıdır.

- [1] J. E. S. Robles, V. B. Monterde and J. A. Antonino-Daviu, "Advanced Analysis of Armature Currents Signals for Sparking Detection in DC Motors and Generators," 2024 International Conference on Electrical Machines (ICEM), Torino, Italy, 2024, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICEM60801.2024.10700490.
- [2] K. Akbayır, T. Göktaş ve M. Arkan, "Asenkron Motorlarda Stator Sarım-Sarım Arası Kısa Devre Arızasının Elektriksel, Mekaniksel ve Manyetiksel Motor Parametrelerine Dinamik Etkileri", DEUFMD, c. 24, sy. 72, ss. 815–824, 2022, doi: 10.21205/deufmd.2022247211.
- [3] J. Portos, K. Dean, B. Parker and J. Cannon, "Most Common Mechanisms and Reasons for Electric Motor Failures in Industry," 2019 IEEE IAS Pulp, Paper and Forest Industries Conference (PPFIC), Jacksonville, FL, USA, 2019, pp. 1-11, doi: 10.1109/PPFIC43189.2019.9052384.
- [4] L. T. Ergene, M. Yılmaz, M. İmeryüz, L. Xheladini, A. Tap ve T. Aşan, "Sürekli Mıknatıs Destekli Senkron Relüktans Motorlarda Mıknatıs Yerleşiminin Performansa Etkisi", EMO Bilimsel Dergi, c. 8, sy. 1, ss. 19–24, 2018.
- [5] J. Bazurto, E. C. Quispe and R. C. Mendoza, "Causes and failures classification of industrial electric motor," 2016 IEEE ANDESCON, Arequipa, Peru, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/ANDESCON.2016.7836190.
- [6] A. Ünsal, O. Karakaya., 2015. Asenkron Motor Rotor Arızalarının Analizi. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, s. 34, Haziran 2015
- [7] C. C. Yeh et al., "A Reconfigurable Motor for Experimental Emulation of Stator Winding Interturn and Broken Bar Faults in Polyphase Induction Machines," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 23, no. 4, pp. 1005-1014, Dec. 2008, doi: 10.1109/TEC.2008.2001443.
- [8] Tabak and P. D. M. Özkaymak, "Elektrik motorlarında uygulanan bakım yöntemlerinin incelenmesi, karşılaştırılması ve uzaktan erişimin kestirimci bakıma etkisi", KONJES, vol. 8, no. 4, pp. 889–905, 2020, doi: 10.36306/konjes.750404.

- [9] G. Aydın, C. Meran Çimento Sektöründe Kestirimci Bakımla Arıza Teşhisi ve Önlenmesi, *Mühendis ve Makina*, 59 (692), 48–67, 2018
- [10] T. Doğruer, M. Akar, İndüksiyon motorlarında durağan olmayan çalışma şartlarında kırık rotor çubuğu arızasının tespiti, *EEB2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, Tokat, Mayıs 2016.
- [11] V. Uysal and Ö. Morgül, “Dönen Makinelerdeki Dengesizlik (Balanssızlık) Arızasının Titreşim Analizi ve Faz Açısı Yardımıyla Teşhisi”, *SAUJS*, vol. 19, no. 3, pp. 245–256, 2015, doi: 10.16984/saufenbilder.74357.
- [12] M. S. Jadin, K. H. Ghazali, S. Taib and N. Huda, "Finding ROIs in infrared image of electrical installation for qualitative thermal condition evaluation," 2012 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, Penang, Malaysia, 2012, pp. 244-249, doi: 10.1109/ICCSCE.2012.6487149.
- [13] S. Orhan, "Balanssızlık ve Rulman Arızası Saha Örnekleri," 5. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi, Sakarya, Turkey, pp.249-260, 2011
- [14] H. Behbahanifard, H. Karshenas and A. Sadoughi, "Non-invasive on-line detection of winding faults in induction motors—A review," 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, 2008, pp. 188-191, doi: 10.1109/CMD.2008.4580260.
- [15] A. Siddique, G. S. Yadava and B. Singh, "A review of stator fault monitoring techniques of induction motors," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 20, no. 1, pp. 106-114, March 2005, doi: 10.1109/TEC.2004.837304.
- [16] A. Keleşoğlu, S. Kocaoglu, M. Yöntem, S. Çağlar, İ. N. Aydın, E. Bayır, C. Yılmaz, E. Yenilmez Demirel ve Ü. Ünver, “Elektrik motorlarında enerji sınıfları arası tüketim farklılıkları ve verimlilik artırıcı metotlar”, *Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi*, c. 1, sy. 35, ss. 1–15, 2023, doi: 10.47118/somatbd.1238976.
- [17] J. Herrera-Guachamin and J. Antonino-Daviu, "Laboratory experiments for the evaluation of the efficiency of induction motors operating under different electrical and mechanical faults," *IECON 2019- 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Lisbon, Portugal, 2019, pp. 6319-6322, doi: 10.1109/IECON.2019.8927328.

- [18] Y. B. Koca, A. Ünsal. "Asenkron Motorların Elektriksel ve Mekaniksel Arızalarının Değerlendirilmesi". *Teknik Bilimler Dergisi*, 7(2), 37-46,2017
- [19] A. Ünsal, "Asenkron Motorlarda Paralel Hizalama Hatalarının Entropi Analizi ile İncelenmesi", *Politeknik Dergisi*, c. 23, sy. 4, ss. 1037–1050, 2020, doi: 10.2339/politeknik.551490.
- [20] Seramik bilyalı rulmanları Erişim: <https://www.nsk.com/eu-tr/products/data-sheets/ball-bearings-ceramic-coated/> Erişim Tarihi:12.12.2024
- [21] "IEEE Guide for Insulation Maintenance of Electric Machines," in *IEEE Std 56-2016*, vol., no., pp.1-86, 11 Nov. 2016, doi: 10.1109/IEEESTD.2016.7740867.
- [22] A.S. Huda, S. Taib. Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defects in electrical equipment. *Applied Thermal Engineering*, 61, 220-227,2013
- [23] B. Demircan Asenkron Motorlar ile Enerji Santralleri Kurmak. TMMOB Makine Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi
- [24] Electrominst Surge Test Voltages and Standards, Erişim: <https://electrominst.com/test-technology/surge-test-methods/surge-test-voltages-and-standards/> Erişim Tarihi:11.11.2024
- [25] Electrominst Surge Test Voltages and Standards, Erişim: <https://electrominst.com/test-technology/dc-hipot-test-methods/>Erişim Tarihi:11.11.2024
- [26] IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage," in *IEEE Std 95-2002* (Revision of IEEE Std 95-1977), vol., no., pp.1-56, 12 April 2002, doi: 10.1109/IEEESTD.2002.93574
- [27] ANSI/EASA AR100–2020" in Recommended Practice for the Repair of Rotating Electrical Apparatus, Electrical Apparatus Service Association, 2020.
- [28] S. E. Rüßen, Elektrik Motorlarının Verimlilik ve CO2 Emisyon Analizi; Bir Gıda Fabrikası Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (17), 564-569,2019

- [29] Operations & Maintenance Best Practices- A Guide to Achieving Operational Efficiency, Federal Energy Management Program, U.S. Department of Energy, August 2010
- [30] Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü, 2023. 2023 Yılı Türkiye Elektrik Dağıtım Sektör Raporu. Erişim Tarihi: Kasım 2024.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1.K. Turkay, E. Ayçiçek, Elektrik makinalarını arızaların tespit yöntemleri ve arızaların makine performansına etkisi,7. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi, 25-26 Mayıs 2024, İstanbul, Türkiye, ss 279-287, ISBN: 978-625-6471-29-0