



**T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İŞLETMELERDE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI

Gülser GÖÇÜLÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
HAZİRAN-2015**



T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞLETMELERDE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI

Gülser GÖÇÜLÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
HAZİRAN-2015

T.C.
MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

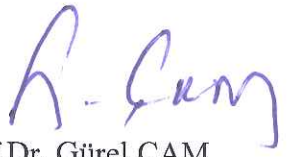
İŞLETMELERDE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI

GÜLSER GÖÇÜLÜ
MAKİNA ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

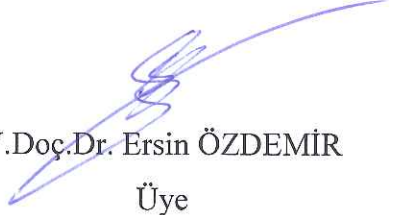
Doç.Dr.Selçuk MISTIKOĞLU danışmanlığında hazırlanan bu tez **17/06/2015** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.


Doç.Dr. Selçuk MISTIKOĞLU

Başkan


Prof.Dr. Gürel ÇAM

Üye


Y.Doç.Dr. Ersin ÖZDEMİR

Üye

Kod No: **842**

Doç.Dr. OKAN ŞENER

Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

17.06.2015

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Gülser GÖÇÜLÜ

ÖZET

İŞLETMELERDE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI

Bu çalışma, kestirimci bakım metotlarının uygulama esaslarını, işletmelere sağladığı faydaları ve diğer bakım uygulamalarına göre avantajlarını ortaya koymaktadır.

Çalışmada kestirimci bakım metotları tek tek ele alınmış, İskenderun ve Osmaniye Organize Sanayi Bölgelerinde faaliyet gösteren fabrikalarda uygulanan kestirimci bakım metotları incelenmiştir. Ayrıca çalışmada, ISO 9001 standardında üretim yapan bir fabrikada fırın sirkülasyonu yapan elektrik makine ve donanımlarının kızılötesi termografi yöntemiyle kontrollerinin yapılması, APL5L standardında boru üretimi yapan bir fabrikada üretim hattından çıkan boruların kalite kontrolünün hat dışı (off-line) ve hat içi (on-line) ultrasonik testler ile yapılması, boru üretimi yapan bir fabrikada hidrolik yağların yağ analiz yöntemi ile NAS-5 standardında değerlendirilmesi, demir-çelik ürünleri üreten bir fabrikada titreşim analizi ile thermex pompaların kontrolünün yapılması incelenerek; kestirimci bakım metotları ile arızalar daha oluşmadan ve daha sıkıntılı bir hal almadan tespit edilebileceği gösterilmiştir.

2015, 130 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kestirimci bakım, titreşim analizi, yağ analizi, ultrasonik test, kızılötesi termografi.

ABSTRACT

PREDICTIVE MAINTENANCE APPLICATIONS IN COMPANIES

This thesis presents the practice principles of predictive maintenance methods, the benefits for the business and the advantages according to the other maintenance methods.

In this thesis, the predictive maintenance methods are analyzed one by one and the predictive maintenance methods which are executed in Iskenderun and Osmaniye Industrial Zone are investigated. Moreover in the thesis, the controls over the electric machines and hardware that make oven circulation have been examined in a factory that manufactures compliant with ISO 9001 standards. Additionally the quality controls implemented with off-line and in-line ultrasonic tests over the pipes created in production line have been explored in a factory that produces pipes compliant with APL5L standards. The NAS-5 standard evaluations with oil analysis over the hydraulic oils have been controlled in a factory that manufactures pipes. Also the controls of the thermex pumps with vibration analyses were studied in a factory that creates iron and steel products. Finally all these investigations demonstrated that the predictive maintenance methods can determine the failures before they occur or become worse.

2015, 130 pages

Keywords: Predictive maintenance, vibration analysis, oil analysis, ultrasonic test, infrared thermography.

TEŞEKKÜRLER

Çalışmalarım süresince bilimsel katkıları, akademik tecrübesi ve ayırdığı değerli zamanı ile daima bana yön veren, yakın ilgi ve sabrını esirgemeyen Sayın hocam Doç.Dr.Selçuk MISTIKOĞLU' na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın yöntem bölümünü oluşturmamda desteğini esirgemeyen ve tüm olanaklardan yararlanmamı sağlayan Osmaniye Organize Sanayi Bölge Müdürü Sayın Hasan SEZER' e ve Tosçelik Profil Sac Endüstrisi A.Ş., Crown Bevcan Türkiye Ambalaj San. ve Tic.Ltd.Şti. ve Ekinciler Demir ve Çelik San.A.Ş.' ne ve çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen değerli arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM	40
3.1. Materyal	40
3.1.1. Kestirimci (Durum İzlemeye Dayalı) Bakım Kavram ve Teknikleri.....	40
3.1.2. Kestirimci Bakımın Faydaları	41
3.1.3. Kestirimci Bakım Yöntemleri	43
3.1.3.1. Yağ Analizi	43
3.1.3.1.1. Motor Yağ Analizi	47
3.1.3.1.2. Hidrolik Yağ Analizi	48
3.1.3.2. Akışkanları Ayırt Etmede Kullanılan Fiziksel Testler	49
3.1.3.2.1. Görsel ve Fiziksel Fiziksel Testler	49
3.1.3.2.2. Metal Aşınma Analizi	50
3.1.3.3. Kızılötesi Termografi	51
3.1.3.4. Ultrasonik Testler	60
3.1.3.5. Titreşim Ölçüm ve Analizi	66
3.1.3.5.1. Titreşim Parametreleri	68
3.1.3.5.2. Titreşim Sensörleri	73
3.1.3.5.3. Ölçüm Yönü	76
3.1.3.5.4. Sensör Dokundurma Yöntemleri	77
3.1.3.5.5. Titreşim Grafikleri	78
3.1.3.5.6. Titreşim Analizi ile Tespit Edilebilen Arızalar	83
3.1.3.5.7. Makinelerde Oluşan Arızalar	84
3.1.4. Kestirimci Bakım Uygulama Basamakları	96
3.1.5. Kestirimci Bakım Organizasyonlarında İzlenecek Yol	96
3.1.6. Kestirimci Bakım Uygulanacak Makinelerde Dikkate Alınması Gereken Tedbirlir	97
3.2. Yöntem	97
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	100
4.1. Thermex Su Pompalarında Titreşim Analizi İle Arıza Teşhisi	100
4.2. Doğalgaz Hat Borularının Ultrasonik Testler İle Kontrolü	108
4.3. Fırın Sirkülasyon Elektrik Makinelerinde Termografik Test İle Arıza Teşhisi ...	113
4.4. Hidrolik Sistemlerin Yağ Analizi	118
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR	126
ÖZGEÇMİŞ	130

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Arıza çıktıkça bakım zaman akışı (Köse, 2003)	7
Şekil 1.2.	Aylık periyotlarla bakım (Köse, 2003)	8
Şekil 1.3.	Kestirimci bakım zaman akışı (Köse, 2003).....	9
Şekil 1.4.	Ölçüm limit sınırına gelince yapılmış bakım (Köse, 2003).....	10
Şekil 3.1.	Kestirimci bakım akış şeması (Karadayı, 2011).....	41
Şekil 3.2.	Bir döküm potasının termal kamera ile arıza analizi	52
Şekil 3.3.	Termal kamera ile görüntü alma (Anonim, 2014-g).....	53
Şekil 3.4.	Elektrik trafosu izolatör bağlantılarından birinde gevşeklik olması durumu	55
Şekil 3.5.	Harmonik etkilerin sinüs dalga boyu üzerindeki etkileri (Anonim, 2014-ç).....	56
Şekil 3.6.	Turbo termal görüntüsü (Anonim, 2014-ğ)	57
Şekil 3.7.	Elektrik motorunun termal kamerada görüntüsü (Anonim, 2014-g)	57
Şekil 3.8.	Kablolarda indüksiyon ısınması termal görüntü (Anonymous, 2014-f).....	58
Şekil 3.9.	Buhar hattı termal görüntüsü (Anonim, 2014-c)	59
Şekil 3.10.	Ultrason ile kaçak tespiti (Anonymous, 2014-c)	62
Şekil 3.11.	Rulmanlarda ultrasonik test (Anonim, 2014-ı)	62
Şekil 3.12.	Buhar kapanının ultrasonik testi (Anonim, 2014-f).....	63
Şekil 3.13.	Korona tespiti (Anonymous, 2014-a)	65
Şekil 3.14.	İki kütle arasındaki faz farkı a. faz farkı 0° b. faz farkı 90° (Hancı, 2009)	68
Şekil 3.15.	Genliği tanımlayan büyüklükler (Hancı, 2009)	69
Şekil 3.16.	Harmonik hareket grafiği (Karadayı, 2011)	70
Şekil 3.17.	Genlik- frekans grafiği (Karadayı, 2011).	71
Şekil 3.18.	Yan bant oluşumu (Köse, 2005)	71
Şekil 3.19.	Sinyal çevrim akışı (Köse, 2005).....	74
Şekil 3.20.	Sismik ve piezoelektrik hız sensörü görüntüsü (Denli, 2007).....	74
Şekil 3.21.	Baskı tipi ve kesme tipi ivme sensörleri (Denli, 2007).....	75
Şekil 3.22.	Titreşim ölçüm yönleri (Köse, 2005).....	76
Şekil 3.23.	Yataktan alınan radyal ölçümler (Karadayı, 2007).....	77
Şekil 3.24.	Yataktan eksenel yönde alınan ölçüm (Karadayı, 2007)	77
Şekil 3.25.	Sensör dokundurma yöntemi (Köse, 2005)	78
Şekil 3.26.	Periyodu bir dönüş olan hareket (Köse, 2005)	79
Şekil 3.27.	Genlik ölçüm tipleri (Köse, 2005)	79
Şekil 3.28.	Frekans eksenine göre birim hassasiyeti (Köse, 2005).....	80
Şekil 3.29.	Üç fiziksel olayın dalga formu (Köse, 2005).....	81
Şekil 3.30.	Dalga formlarının tek grafikte toplanması (Köse, 2005).....	81
Şekil 3.31.	Makineden ölçülen örnek dalgaformu (Köse, 2005)	82
Şekil 3.32.	Karmaşık dalgaformunun FFT ile harmoniklerine ayırıp, çıkan bilginin frekans ekseninde dizilişinin 3 boyutlu görüntüsü (Köse, 2005)	82
Şekil 3.33.	Titreşim analizinin yapıldığı yerler (Kalyoncu, 2004)	84
Şekil 3.34.	Dengesizlik spektrum grafiği (Hancı, 2009).....	86
Şekil 3.35.	Dengesizlik dalga form grafiği (Hancı, 2009)	86

Şekil 3.36.	Statik balanssızlık (Hancı, 2009).....	87
Şekil 3.37.	Kuvvet çifti balanssızlığı (Hancı, 2009).....	87
Şekil 3.38.	Mekanik gevşeklik spektrum grafiği (Karadayı, 2011).....	88
Şekil 3.39.	Rulman arızası gelişim grafiği (Karadayı, 2011).....	89
Şekil 3.40.	Rulman arızalarında birinci aşama (Kalyoncu, 2004).....	90
Şekil 3.41.	Rulman arızalarında ikinci aşama (Kalyoncu, 2004).....	90
Şekil 3.42.	Rulman arızalarında üçüncü aşama (Kalyoncu, 2004).....	91
Şekil 3.43.	Rulman arızalarında dördüncü aşama (Kalyoncu, 2004).....	91
Şekil 3.44.	Basit bir dişli kutusu gösterimi (Karadayı, 2011).....	92
Şekil 3.45.	Dişli geçiş frekansı ve dişli hasarının spektrum grafiğindeki görünümü (Karadayı, 2011).....	92
Şekil 3.46.	Açısal kaçıklık ve açısal kaçıklık spektrum grafiği (Karadayı, 2011).....	93
Şekil 3.47.	Paralel kaçıklık ve paralel eksenel kaçıklık spektrum grafiği (Karadayı, 2011).....	94
Şekil 3.48.	Eksen kaçıklığı dalga form grafiği (Hancı, 2009).....	95
Şekil 3.49.	Eksen kaçıklığı spektrum grafiği (Hancı, 2009).....	95
Şekil 4.1.	SKF CMXA 75 vibrasyon ölçüm ve analiz cihazı (Anonymous, 2014-d).....	101
Şekil 4.2.	Titreşim frekans analizinden elde edilebilecek veriler	102
Şekil 4.3.	Thermex su pompası	102
Şekil 4.4.	4 numaralı thermex pompasının ölçüm grafiği	104
Şekil 4.5.	3 numaralı thermex pompasının ölçüm grafiği	105
Şekil 4.6.	3 numaralı thermex pompasının ölçüm grafiği	106
Şekil 4.7.	Ultrasonik test cihazı	109
Şekil 4.8.	Kaynakta çatlak tespiti	110
Şekil 4.9.	Kaynak zaafiyeti tespiti	110
Şekil 4.10.	Hatasız ürün test sonucu	111
Şekil 4.11.	Dış hat ultrasonik test cihazı	111
Şekil 4.12.	FLIR 60i Termal ölçüm cihazı (Anonymous, 2014-e)	114
Şekil 4.13.	FLIR 60i Termal ölçüm cihazı ile alınan termal görüntü	114
Şekil 4.14.	Nominal sıcaklık değerinde çalışan sağlıklı fırın sirkülasyon motoru ...	115
Şekil 4.15.	Isı artışı gözlemlenen fırın sirkülasyon motoru	115
Şekil 4.16.	Gevşek bağlantı	116

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Bakım stratejisinin genel karakteristiği (Anonim, 2014-a)	5
Çizelge 3.1.	Yağ analizindeki koşulların karşılaştırılması (Orhan, 2009).....	45
Çizelge 3.2.	Makinelerin çalışma şartlarını belirleyen parametreler (Yücel, 2009).....	66
Çizelge 4.1.	Thermex su pompalarının fabrika değerleri	103
Çizelge 4.2.	Elektrik Motorlarının Titreşim sınır değerleri.....	103
Çizelge 4.3.	Thermex motorları vibrasyon ölçüm verileri	107
Çizelge 4.4.	Titreşim anailzi için SWOT analizi.....	107
Çizelge 4.5.	Ultrasonik test için SWOT analizi.....	112
Çizelge 4.6.	Termal ölçüm için SWOT analizi.....	117
Çizelge 4.7.	NAS sınıflandırılması (Anonim, 2014-b)	119
Çizelge 4.8.	Çeşitli hidrolik elemanlar için gerekli yağ temizliği (Anonim, 2014-e).....	120
Çizelge 4.9.	NAS-5 standardında kabul edilebilir analiz değerleri	120
Çizelge 4.10.	Örnek yağ analiz sonuç raporu-1.....	121
Çizelge 4.11.	Örnek yağ analiz sonuç raporu-2.....	122
Çizelge 4.12.	Yağ analizi için SWOT analizi.....	122

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

dB	: Desibel
f	: Frekans
pH	: Asitlik bazlık oranı
T	: Periyot
μ	: Mikron
Φ	: Faz
ω	: Açısal hız
π	: Pi
θ	: Kontak açısı

KISALTMALAR

A.B.D.	: Amerika Bileşik Devletleri
AC	: Alternating Current (Alternatif Akım)
AHP	: Analytic Hierarchy Process (Analitik Hiyerarşi Süreci)
APU	: Auxiliary Power Unit (Yardımcı Güç Tertibatı)
Ark.	: Arkadaşları
A.Ş	: Anonim Şirketi
ATAŞ	: Anadolu Tasfiyehanesi Anonim Şirketi
Bd	: Bilye veya dönen eleman çapı
CBM	: Condition-Based Maintenance (Durum Tabanlı Bakım)
CBPM	: Condition-Based Predictive Maintenance (Durum Tabanlı Kestirimci Bakım)
cm	: Santimetre
CPS	: Cycles Per Second (Saniyedeki Salınım Sayısı)
DSİ	: Devlet Su İşletmesi
E.L.İ.	: Ege Linyitleri İşletmesi
EBYS	: Erdemir Bakım Yönetim Sistemi
d/d	: Dev. min ⁻¹
Dr.	: Doktor
DTI	: Department of Trade and Industry (Ticaret ve Sanayi Bakanlığı)
FA	: Factor Analysis (Faktör Analizi)
FFT	: Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
Flash test	: Parlama noktası
FTIR	: Infrared Spektroskopi Analizi
GHCR	: General Hospital of Ciudad Real (İspanya Ciudad Real Tam Teşekküllü Hastanesi)
Hz	: Hertz (Saniye başına düşen devir sayısı)
Inst	: Institute (Enstitü)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartizasyon Örgütü)

İşl.	: İşletme
KW	: Kilowatt (Kilovat)
MACBETH	: Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique (Kategori Tabanlı Değerlendirme Tekniği ile Çekicilik Ölçümü)
MCM	: Motor Condition Monitor (Motor Durum İzleme Ekranı)
ml	: Mililitre
MSE	: Maintenance Safety Evaluation (Bakım Güvenliği Değerlendirmesi)
NAS	: National Aerospace Standard (Ulusal Havacılık ve Uzay Standardı)
Nb	: Bilye veya dönen eleman sayısı
NETA	: National Electrical Testing Association (Uluslararası Elektrik Testleri Birliği)
OEM	: Original Equipment Manufacturer (Orjinal Ürün Üreticisi)
Ltd.	: Limited
Pd	: Yuvarlanma dairesi çapı
PM	: Preventive Maintenance (Kestirimci Bakım)
PMPs	: Predictive Maintenance Programs (Kestirimci Bakım Programları)
RMS	: Etkin Değer
SIMAP	: Intelligent System for Predictive Maintenance (Kestirimci Bakım İçin Akıllı Sistemler)
SPC	: Statistical Process Control (Statik İşlem Kontrol)
SUS	: Saybolt Universal Seconds (Saybolt Evrensel Birimi)
TAN	: Toplam Asit Numarası
TBN	: Toplam Baz Numarası
TTT	: Time Temperature Transformation (Zaman-Sıcaklık Dönüşüm)
UT	: Ultrasonik Test
U.S.A.	: United State of America (Amerika Birleşik Devletleri)
YAPAL	: Yağ ve Aşınmış Parçacık analizleri

1. GİRİŞ

Otomotiv, giyim, gıda, v.b. tüm endüstri dallarında seri imalat yapan bir çok firma ve fabrikanın günümüz rekabet koşullarında ayakta kalabilmek için, üretim maliyetlerini düşürmeleri ve düşük kar marjlı çok fazla ürün satmaları zorunluluk haline gelmiştir. Tüm bunların yanında müşterinin de istekleri göz önünde bulundurulduğunda, üretim sistemi her geçen gün daha da karmaşık bir hal almaya başlamıştır. Her geçen gün daha da hızlı bir şekilde gelişen teknolojiye üretilmiş makinelerin arızalarının bakım ve onarımı hem maliyetli hem de çok zahmetlidir. Kullanıcıların karşılaştığı beklenmedik arızaların bakım ve onarımı uzun sürmekte, yedek parça bulmak ise her geçen gün zorlaşmaktadır. Bu da üretim kayıpları ve maliyette artış olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bir üretim hattında sürekli imalat olması beklenirken aniden oluşabilecek arıza ile üretim durmakta, ciddi zaman ve iş gücü kaybı yaşanmakta ve arızanın giderilmesi için harcanan kaynaklarda göz önüne alındığında firma için çok büyük kayıplar meydana gelmektedir. Bu durum firmaların içinde bulunduğu yoğun rekabet ortamında, rekabetin gerisinde kalmalarına neden olabilmektedir. Süreklilik arz eden üretim yapabilmek için üretimde yer alan makinelerde oluşabilecek arızaların oluşup büyümeden tespit edilmesi ve oluşmuş bir arızanın süratle giderilmesi çok önemlidir.

Fabrika ve firmalar bu olumsuzlukların önüne geçebilmek için çeşitli bakım metotları denemiş, periyodik yapılan yağ ve yedek parça değişimleri ile belli bir seviyede başarılı olmuşlar, fakat beklenmedik arızaların önüne geçememişlerdir (Denli, 2007). Makine ve ekipmanlarını sürekli çalışır bulundurmak zorunda olan fabrika ve firmalar, üretimin aksamaması ve aniden oluşabilecek arızaların önüne geçebilmek için erken uyarı niteliğinde olan "Kestirimci Bakım" yöntemini uygulamaya başlamıştır. Bu sayede aniden oluşabilecek arızaların önüne geçilebilmiş ve üretimde yaşanan aksaklıklar azalmış, ekstra maliyetlerin ve teslimat gecikmelerinden kaynaklanan müşteri memnuniyetsizliğinin önüne geçilmiştir.

Denli (2007) tarafından, kestirimci bakım yöntemlerinin erken uyarı özelliği sayesinde kritik süreçler için uygun olduğu, kestirimci bakım ile makinelerin durumları düzenli olarak izlendiğini ve önemli değişiklikler görüldüğünde, arıza meydana gelmeden müdahale edilebildiği böylece bakım ve onarım için ayrılan sürenin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir.

"Kestirimci Bakım" tanımı, 1988 yılında ODTÜ-Ankara' da düzenlenen 3. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat kongresinde sunulan bir bildiri ile **"Predictive Maintenance"** karşılığı olarak Türkçe' ye R.Kubilay KÖSE tarafından kazandırılmıştır. Kestirimci Bakım ile makineler üzerinden periyodik aralıklar ile alınan fiziksel parametre ölçümlerinin, zaman içindeki eğilimlerini izleyerek, makine durumu hakkında geleceğe yönelik bir kestirimde bulunma yöntemidir. Kestirimci Bakım yaklaşımının temeli, makineleri durdurmadan, tahribatsız, çalışma koşullarında, sağlıkları ile ilgili veriler alınması ve bu verilerin zaman içindeki değişimlerini izlemektir. Makine sağlığı hakkındaki en kapsamlı veriye titreşim analizi ile ulaşılır. Dönen makineler, arıza moduna girdiğinde titrer. Bu nedenle titreşim verilerinin izlenmesi, grafiklerinin analizi Kestirimci Bakım ana teması olmuştur (Anonim, 2014-h).

Kalyoncu (2004) tarafından kestirimci bakımın kullanıcıya sağlamış olduğu kalite, güvenilirlik ve hazır bulunma sayesinde, endüstrideki büyük gelişmelerden biri olduğu bildirilmiştir. Bu metot sayesinde maliyetlerde çok önemli azalmalar kaydedildiği, arıza bakım ve yedek parça maliyetlerinde %27, toplam duruş sürelerinde %40, koruyucu bakım maliyetlerinde ise %74 oranında azalma olduğu bildirilmiştir.

Kestirimci bakım, makinelerin çalışma esnasında çevrelerine yaydığı ısı, ses ve titreşimden yola çıkılarak, yapılan gözlem ve ölçümler neticesinde makinenin durumunun anlık fotoğrafını çeker ve önceki verilerle karşılaştırılarak yapılan analizler sonucunda, arıza büyümeden gerekli tedbirlerin alınmasını sağlar. Bu sayede ekipman ve tezgahlar her zaman hazır, çalışır durumda olur ve maksimum verimle çalışır. Kestirimci bakımın sayesinde beklenmeyen arızalar azalır ve bakım onarım masrafları minimum seviyeye çekilir.

Arıza Sebepleri:

Günümüz firmalarında üretimde ve diğer amaçlarla kullanılan makine teçhizatın arızalanma gerekçeleri; eskime, aşınma, kötü kullanım, bağlantıların kopması, tükenme, kirlenme, paslanma, sürtünme, kullanıcı hatası, alınan darbeler, gerilmeler, vibrasyon ve ısınmalardır.

Bakım Faaliyetlerinin Başarıya Ulaşabilmesi:

Bakım faaliyetlerinin başarıya ulaşabilmesi için;

- İşletmelerin bakım politikaları işletme, çevre ve teknolojik şartlara uygun olmalıdır.
- Bakım için ihtiyaç duyulan malzemeler depolarda stokta olmalıdır.
- Amacın arıza sıklığının azaltılması ve onarım süresinin azaltılması olduğu açıkça belirtilmelidir.
- Tüm bakım talepleri belirlenen bir merkezde toplanmalı ve merkezdeki yöneticinin onayı ve bilgisi dahilinde bakım işlemi yapılmalıdır.
- Tüm bakım faaliyetleri kayıt altına alınmalıdır.
- Çok acil durumlar dışında üretim hattında çalışan işçiler bakım işlemlerine müdahale etmemelidir.
- Çeşitli bakım önlemleri en alt kademeden en üst kademeye kadar tüm personel tarafından benimsenmeli ve personeli kapsamalıdır. Bakım konusunda işletmenin tüm bölümleri bir arada çalışırsa, verimli ve ekonomik ürün imali sağlanabilir (Anonim, 2014-d).

Bakım Faaliyetlerinin Amacı:

İşletmelerde, sistemin çalışabilirliğinin sürekli kılınması için yapılması gereken faaliyetlerin amaçları;

- Bakım onarım masraflarını en aza indirmek.
- Üretim verimini ve ürünün kalitesini artırmak, maliyeti düşürmek.
- Kapasite kullanım oranını en üst seviyeye ulaşmasını sağlamak.
- Makine duruşlarını azaltarak üretimin sürekliliğini sağlamak.
- Önceden planlanacak olan üretim programlarının gerçekleşmesini sağlamak.
- Her türlü makine ve ekipmanı kullanan personelin güvenliğini sağlamak.
- Her türlü makine, ekipman ve tesisin faydalı ömrünü uzatarak yatırımcılar için harcanan sermayeden maksimum verim elde edilmesini sağlamaktır.

Bakım Faaliyetlerinin Üretim Akışı, Verimlilik ve Maliyet Üzerindeki Etkileri:

Denli (2007) tarafından üretim akışında, verimlilik ve maliyetler üzerinde bakım-onarımın etkileri şu şekilde özetlenebildiği bildirilmiştir:

- Arızayı giderilirken ya da bakım sırasında makinelerin ve makine operatörlerinin boş kalması,
- Onarım ve bakımdan kaynaklanan dolaylı işçilik ve imalat genel masraflarının artması,
- Onarım ve bakımdan kaynaklanan zaman kayıplarından dolayı müşteri taleplerinin karşılanamaması ve müşteri memnuniyetinin azalması,
- Aksaklığın meydana geldiği kısımlarda ve bu kısımlarla ilgili diğer kısımlarda gecikme ve boş beklemlerin olması,
- Hatalı üretimin artması ve istenen kaliteye ulaşılamaması,
- Sipariş teslimlerinin zamanında yapılamaması sonucu müşteri kayıpları yaşanması.

Kestirimci bakımın istenilen verime ulaşması için önce çok iyi bir organizasyon ve yönetim düzeni kurulmalıdır. Ekonomik karın bir iki sene sonra kazanılacağı unutulmamalıdır.

Kestirimci bakım yöntemi ile kazanılan ekonomik girdiler için aşağıdaki örnekler verilebilir;

Elmacı ve Ziypak (1993) tarafından modern büyük bir jet motorunun normal rutin bakımı 1981 rakamları ile ilk maliyeti olan 800000 \$ değerinin %12.5 tutarında olduğu, entegre çalışan bir mile yataklık eden basit bir rulmanın aksaklık çıkarması ile sistemin durması sonucu, üretim kaybı olarak zararın çok yüksek rakamlara çıkabildiği bildirilmiştir. Yine benzer bir aksaklığın İngiltere Genel Elektrik Jeneratörleri İşletmesinde kullanılan bir modern jeneratörde arızaya yol açması dakikada 35 \$ a varan zarara sebep olabilmekte olduğu ve aynı tür aksaklığın Amerika Birleşik Devletlerinde 1985' teki maliyeti günlük 28000 \$ olduğu, U.S. Naval Aircraft Ltd. raporlarına göre aşınma sonucu uğranılan kayıp uçuş saati başına 243 \$ ve zorunlu program dışı birim maliyetleri ise 140 \$ olduğu bildirilmiştir.

Elmacı ve Ziypak (1993) tarafından British Coal' de 1988' de yapılan bir araştırmaya göre yeraltı işletmelerinde makine arızalarının dakikasının maliyeti \$1200' a kadar çıkabildiği, bu durumun 1987/8 döneminde revizyon planlamalarının ve makine aksamı değişimlerinin %70' i yağ ve aşınmış parçacık analizi sonuçlarına göre üretim faaliyetlerini kesmeden bakım günlerinde yapılmış olduğu bildirilmiştir.

Bakım Politikaları:

Günümüz endüstrisinde bakıma yönelik politikalarda;

- Koruyucu bakıma ağırlık vermek.
- Yedek üretim kapasitesi bulundurmak.
- İş istasyonları arasında yarı mamul stokları bulundurmak.
- Bakım onarım ekibini geniş, kullanılan araç sayısını yüksek tutmak.
- Makinelerin güvenilirlik derecesini arttırmak ön plana çıkmıştır (Anonim, 2014-a).

Bakım stratejisi; arıza, önleme, kestirimci ve güvenilir olmak üzere dört farklı karakteristik özellik göstermektedir (Çizelge 1.1.).

Çizelge 1.1. Bakım stratejisinin genel karakteristiği (Anonim, 2014-a)

ÜRETİM	1	2	3	4
Strateji	Arıza	Önleme	Kestirimci	Güvenilir
Yapı	Merkezi Bakım Grupları	Çoklu Bakım Grupları	Çok Fonksiyonlu Çalışmak	Çok İşlevli Teknisyenler
Arıza Yöntemi	Arızaya Müdahale	Planlı Bakım	Durum Ölçümlerine göre	Self-analiz
Veri Yöntemi	Kartlar	Bilgisayar Ortamında	Tam Fonksiyonlu Bakım Yöntemi Programı	Ağ Bağlantılı Çalışma Merkezleri

Bakım Yönteminin Seçimi:

Endüstriyel şirketlerin envanterinde bulunan makinelerin duruma göre bakım yöntemlerinden maliyet fayda analizine göre en uygun olanı uygulanmalıdır. Yöntem seçiminde aşağıdaki detaylar oldukça önemlidir.

- Makinenin üretim açısından kritikliği,
- Makinenin çalışma prensibi,
- Makinenin tipi,
- Sürekli veya aralıklı çalışma durumu,
- Arıza veya problemin oluşma sıklığı,
- Makinenin çalışma ve çevre şartları,

- Proje bilgileri,
- Makinenin yükü,
- Makinenin özellikleri.

Bakım Çeşitleri:

Geçmişten bu güne kadar, üretim sektöründeki firmalar tarafından imalatta kullanılan makine ve ekipmanların sürekli faal halde bulundurulabilmesi için mühendisler tarafından birçok bakım metodu geliştirmiştir. Bu bakım metotları; Bakım Onarım, Arıza Çıktıkça Bakım, Koruyucu Bakım (Periyodik Bakım), Kestirimci Bakım (Durum İzlemeye Dayalı Bakım), Proaktif Bakım ve Güvenirlilik Esaslı Bakımdır.

Bakım Onarım:

Bakım onarım, işletmelerdeki tüm donanım, sistem ve makinelerin işlevlerini eksiksiz ve tam olarak maksimum performansla yerine getirebilmeleri ve bu sürekliliğin sağlanabilmesi için gereken faaliyetlerin bütünüdür. İşletmelerde bu faaliyetlere her ne kadar önem verilirse de işletmenin bel kemiğini oluşturan etkenlerden birisi de bakım ve onarımdır. Üretimin sürekliliği, makine ve donanımlarda meydana gelebilecek ani arızaların minimize edilmesi ve giderilmesi ile sağlanabilmektedir. Bu da periyodik aralıklar ile yapılan bakım ile mümkündür.

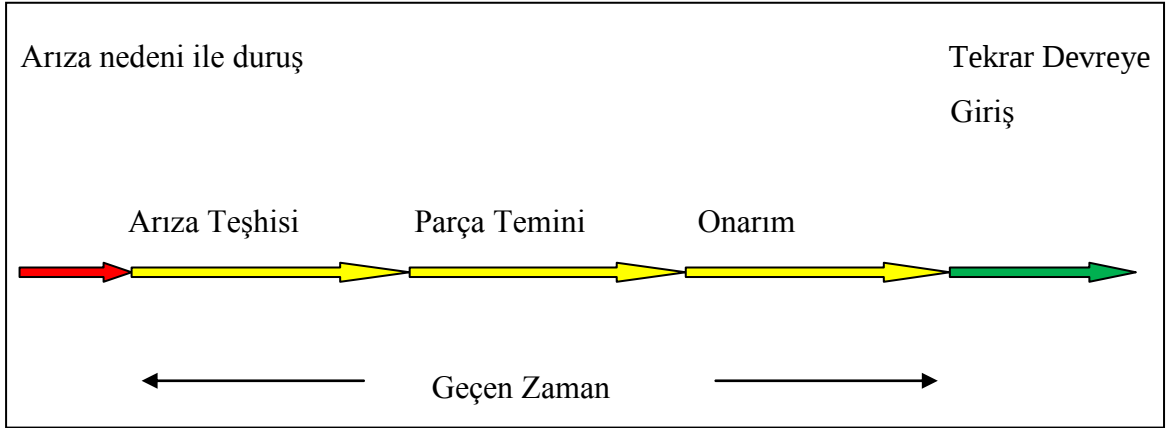
Bakımın önemi işletmeler büyüdükçe artar. Sipariş ile iş yapan firmalar oluşan ani arızalardan dolayı üretimin bir kısmını başka tezgahlara aktararak üretime devam etmeye çalışsa da seri imalat yapan firmalarda bu mümkün değildir. Üretim hattında oluşabilecek en küçük arıza tüm sistemin, dolayısıyla üretimin durmasına neden olmaktadır.

Eğitimli ve yetkin bir bakım ekibiyle arızalar çok kısa bir sürede giderilebilir. Bunun için arızalara müdahale edecek personelin çözümün tek anahtarı olduğu unutulmamalı ve bu personel sürekli eğitilmelidir.

Arıza Çıktıkça Bakım:

Bu yöntem arıza çıktığı anda uygulanan arızanın giderilmesi için az personele ihtiyaç duyulan bir çözüm yoludur. Her ne kadar dünyada yaygın olarak kullanılsa da, gelişen teknolojiye uyum sağlayan büyük şirketlerin terk ettiği bir yöntemdir. Bazı

dezavantajları; tezgahın arızalanması sonucunda başka bir arızanın oluşma olasılığı, parça değişimi ve ya tamir maliyeti, fazla mesai sonucu oluşan işçilik ücretleridir. Arıza nedeni ile duran makine ve ekipman, arıza tespiti, parçanın temin edilmesi ve onarım için gerekli zaman (Şekil 1.1.) oldukça uzundur ve bu da müşteri memnuniyetsizliğine ve ekstra maliyetlere neden olmaktadır.



Şekil 1.1. Arıza çıktıkça bakım zaman akışı (Köse, 2003)

Köse (2003) tarafından, bakım personelinin sürekli arızalarla ilgilendiğinden; durum değerlendirmesi yapmaya fırsat bulamadığı, ihtiyaç duyulan parçanın temin telaşı, bir an önce onarımın tamamlanması baskısı, az sayıda personel ile onarım, o anlık ihtiyacı karşılıyor gibi görünse de, arızanın yinelenmesi yada makine tekrar çalıştırıldığında onarımın gerçek çözüm olmama riski, teknik personel üzerinde yüksek stres yarattığı, zamansız çıkan arızalar planlama yapmaya fırsat vermediği, peş peşe aynı yerde yada yakın bölgelerde arıza çıkma riski yükselttiği ve arıza duruşu sürecinde yaşanan üretim kaybı nedeni ile maliyeti en yüksek uygulama olduğu bildirilmiştir.

Fakat bu yöntem kritik olmayan, oluşan bir arızanın bir diğerini tetiklemediği, üretimi olumsuz etkilemediği durumlarda en uygun metot olarak kullanılabilir. Örneğin ampullerin periyodik olarak değil bozulunca değiştirilmesi.

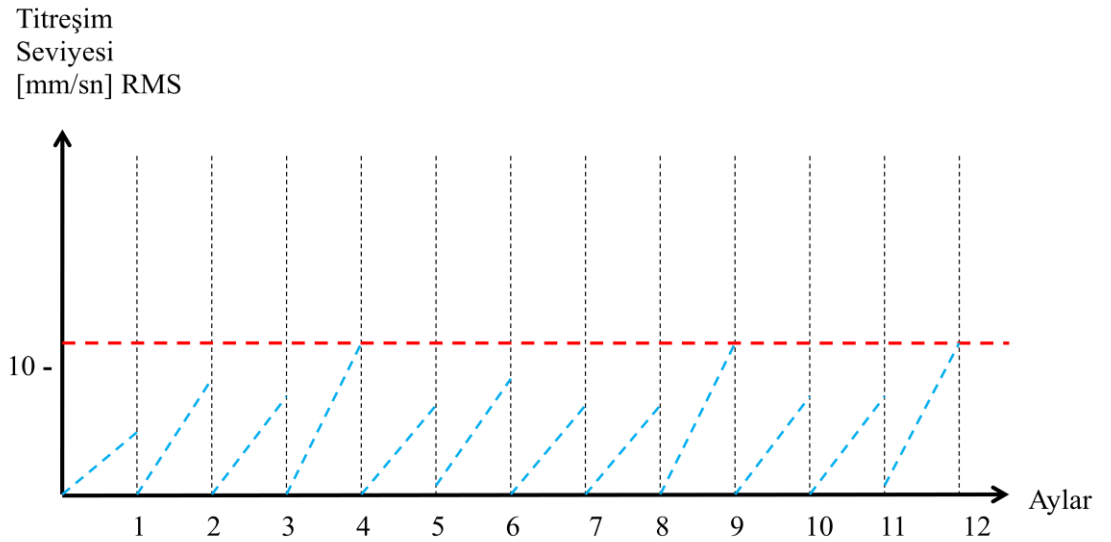
Koruyucu (Periyodik) Bakım:

Zamana dayalı bakım ya da planlı bakım olarak da adlandırılan bu metot, özellikle arızalanması durumunda, üretimi durduracak ve onarım maliyeti çok yüksek olacak kritik tezgah ve ekipmanlara uygulanır.

Üretimi durdurmamak ve yüksek maliyetlerle karşılaşmamak için bu tezgah ve ekipmanlar periyodik olarak temizleme, parça değişimi, yağlama ve yağ değişim işlemlerine tabi tutulurlar. Bu sayede oluşabilecek arızalar minimize edilirken, makinelerin kullanım ömürleri ve verimlilikleri ise maksimize edilmiş olur. Bunun yanında bakım periyotlarının kısa tutulması ile ömrünü tamamlamamış parçaların değiştirilmesinin maliyeti arttırması ve yapılan bakımlar sonrası bazı ayarlamaların yanlış yapılması nedeni ile bir sonraki bakım periyodundan önce arıza meydana gelmesi de mümkündür.

Periyodik bakımla her ne kadar bazı arızaların önüne geçilmiş olsa da, her zaman arızalar kesin olarak çözülememekle birlikte gereksiz maliyet artışına sebep olduğu için bakım sorununa kesin bir çözüm değildir.

Şekil 1.2.' de ayda bir periyodik bakım görünen makinenin grafiği verilmiştir. Periyodik bakım için makine yılda 12 kere durdurulmuştur. Makinenin her duruşunda, bilgi için titreşim ölçümleri de alınmıştır. Ölçümler sonucu her bakım periyodunda titreşimin farklı olduğunu ve bakım sonrası titreşim seviyelerin istenilen seviyeye düşmediği tespit edilmiştir (Köse, 2003).

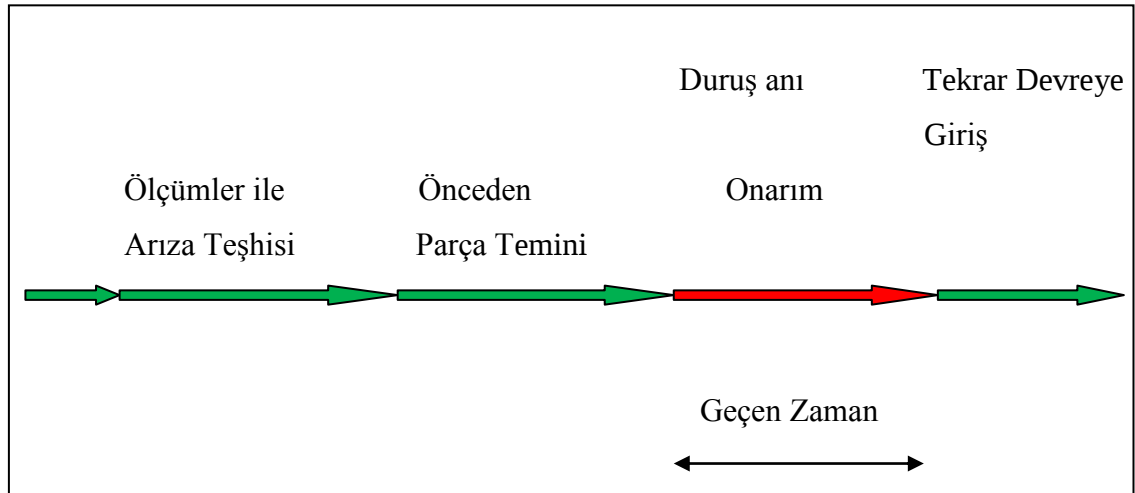


Şekil 1.2. Aylık periyotlarla bakım (Köse, 2003)

Kestirimci (Durum İzlemeye Dayalı) Bakım:

Kestirimci bakım yöntemi, makine çalışırken makine parçaları üzerinden alınan ölçüm değerlerinin (titreşim değerleri, termografik ölçümler, yağ analiz sonuçları gibi), performans bilgilerinin ve makine yağı numunelerinin sonuçlarının makine üretici firmaların belirlediği sınırlar dahilinde karşılaştırılması ve uzun yıllar istatistiksel olarak tecrübe edilerek değerlendirilip elde edilen verilere göre alınması gereken önlemler ilkesine dayanır.

Kestirimci bakımın sağladığı en önemli iki avantaj: Bozulma ile doğacak yüksek tamirat masraflarını düşürmesi ve tamirat süresinde ortaya çıkacak üretim kaybını engellemesidir. Kestirimci bakım uygulayan fabrika ve firmalarda; ömrünün sonuna geldiği kestirimci bakım metodu ile tespit edilen parçaların temini önceden yapılabilir ve ilk planlı duruşta bu parçalar değiştirilerek onarım için geçen süre daha kısadır (Şekil 1.3.). Böylece önceden yaşanan müşteri memnuniyetsizlikleri ve ekstra maliyetler ortadan kalkar.

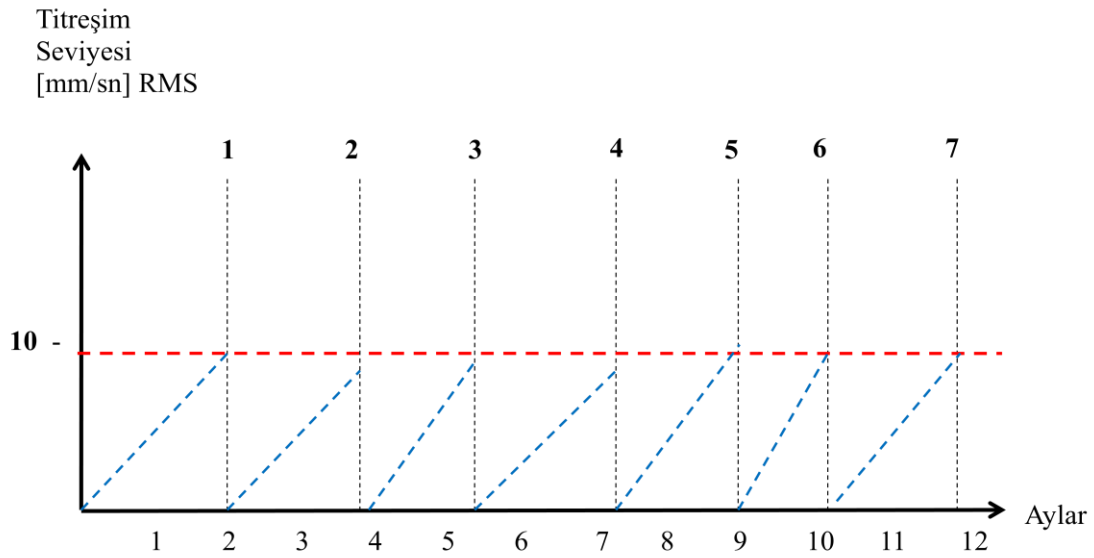


Şekil 1.3. Kestirimci bakım zaman akışı (Köse, 2003)

Elmacı ve Zıypak (1993) tarafından British Airways, British Coal, Naval Aircraft Materials Lab, Westland Helicopters Ltd.' de yapılan sürekli kontrollerden elde edilen verilere göre bu yöntem %75 oranında zamansız ve beklenmeyen arızayı elimine ettiği bildirilmiştir. Diğer yandan tüm sistemlerin kontrolü geniş oranda bilgi depolanmasını ve deneyleri gerektirdiğinden her sektör kendisine uygun kontrol seviyesini belirlenmesi gerektiği bildirilmiştir.

Köse (2003) tarafından, kestirimci bakım ile koruyucu bakım sırasında yapılan gereksiz bakım faaliyetlerinin yapılmadığı ve beklenmedik arızaların çıkmadan önceden tespit edilebildiği, onarım için gerekli yedek parça ve bakım personelinin arıza çıkmadan önce temin edilebildiği bildirilmiştir.

Kestirimci Bakım uygulaması ile Şekil 1.4.' te bir makineye gerektiğinde bakım yapılmış. Yıl boyunca "7" duruş gerçekleşmiş. Duruş sayılarındaki azalma ile yedek parça ve işçilik maliyetlerinden büyük oranda tasarruf edilmiştir. Bu nedenle, makine arızasının ölçülerek izlenebildiği her ortamda Kestirimci Bakımın uygulanması, maliyetleri düşürme imkanı sağlamaktadır (Köse, 2003).



Şekil 1.4. Ölçüm limit sınırına gelince yapılmış bakım (Köse, 2003)

Proaktif Bakım:

Proaktif bakım; problemi tanımlamak ve arıza kaynağını izole etmek için bakım metotları ile elde edilen verileri kullanır. Bu sayede hem ekipman ömrü artar hem de rastgele oluşan arızaların çoğunun önüne geçilmiş olur. Böylece aynı ekipmanların tekrar tekrar tamiri engellenmiş olur.

Bakım öncesinde ve sonrasında kaydedilen veri ve yapılan analizler uygulanan bakımın kalitesini ortaya koyar. Her yapılan onarım sonunda, onarımın doğrulanması yapılır ve sonuç istenilen düzeyde değilse, yakın zamanda tekrar duruş olmaması için gereken önlemler alınır.

Güvenirlik Esaslı Bakım:

Güvenirlik esaslı bakım; proaktif, kestirimci ve periyodik bakım metotlarının birleşimidir. Yapılan çok sayıda analiz ve ölçümlerle arıza kaynağı ve gelişimi doğrulanır. Ölçümlerle izlenebilecek arızalar kestirimci bakım, ölçümle izlenemeyecek olanlar ise koruyucu bakım bünyesinde takip edilerek çözülmeye çalışılır. Uygulanan bu bakımın kalitesi ise proaktif bakım ile kontrol edilir (Köse, 2003).

Bu tez çalışmasında Kestirimci Bakım uygulamalarının işletmelere sağladığı; bakım giderlerini azaltması, iş güvenliğini arttırması, faydalı üretim süresini arttırması, onarım için geçen süreyi azaltması gibi faydaları, diğer bakım yöntemlerine göre işletmelere katkısının çok daha fazla olduğunun yapılan uygulamalar ve elde edilen veriler neticesinde ortaya konması amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Belek ve Güvenç (1988), Ankara' da yapmış oldukları "Endüstriyel Tesislerin Bakımında Modern Yaklaşım" konulu çalışmalarında; titreşim ölçümü için gerekli aletler, "erken uyarıcı dinamik bakım" tekniklerinin işletmede karlı sonuçlar verecekse kullanılabileceğini söylemişlerdir. Karlılık kavramı önceden belirli olmadığı için ilk aşamada bu tür uygulamalar sanayi çevrelerinde çekinilerek karşılanabileceğine değinmişlerdir.

1975 ve 1978' de İngiltere Endüstri Bakanlığı için hazırlanan raporlarda İngiliz endüstrisinin "erken uyarıcı dinamik bakım" teknikleri kullanılması durumunda elde edeceği kazancın derecesi Belek ve Güvenç tarafından araştırılmıştır. Buna göre eğer 2000 fabrika 1975' de bu yöntemle bakım uygulamış olsa idi, 1978' de en az 18 milyar TL kar etmiş olacaktı. Bu raporda, işletme ve yatırım masraflarının 2000 fabrika için yılda 3 milyar TL olduğu hesaplanmış ve yıllık net kazancın 15 milyar TL olduğu Belek ve Güvenç tarafından ifade edilmiştir. Sonuç olarak, planlı ve dikkatli bir şekilde bu konuda yapılan bir yatırımın, kabaca kendisinin 5 katı bir kazanç sağlayacağını belirtmişlerdir. Endüstri yatırımları her yıl artan bir tempoda devam eden ülkemizde de "erken uyarıcı dinamik bakım" tekniklerinin uygulanması ve yaygınlaştırılmasının ekonomiye önemli yararlar sağlayacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Elmacı ve Ziypak (1993), Manisa' da yapmış oldukları "E.L.İ. Müessesesindeki Kestirimci Bakım Uygulamaları" konulu çalışmalarında; maden makinelerinde problem yaratan zamansız ve istenmeyen arızaların önceden belirlenip önlenmesi için uygulanan kestirimci bakımın, faydalarını ve kullanım alanlarını diğer bakım yöntemleri ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir.

Bu genel başlık altında Ege Linyitleri İşletmesi Müessesesi bünyesinde yürütülen Makine Yağı ve Aşınmış Parçacık analizleri (YAPAL) ve sonuçlarını sunmuşlardır. YAPAL analiz işlem sıraları, analiz sonuçlarının doğruluğuna, sistemin etkinliğine ve verimine etki eden faktörler ve önemli bulgular detaylı olarak tartışmışlardır.

Çağlayan (1993), Ankara' da yapmış olduğu "Bilgisayar Destekli Uyarıcı Bakım ve Endüstride Uygulanması Nasıl Başlamalı? Nelere Dikkat Edilmeli?" konulu çalışmasında; Uyarıcı Bakım (Predictive Maintenance) temelinde ölçme olan ve makine sağlığının izlendiği, bir Bilgisayar Destekli Modern Bakım Teknolojisi olduğunu

bildirmiştir. Bu tekniğin, daha çok döner akşamlı makinelere uygulanmakta olup, uygulamanın en ideal verimle gerçekleştirilebilmesi için işletmenin uygulama şartlarına yatkın olması gerektiğini söylemiştir.

Bilgisayar Destekli Uyarıcı Bakımın, teknolojinin gerektirdiği şekilde uygulanırsa, işletmeye büyük kazançlar sağlayacağını ve işletmede bakımcılığa yaklaşımı kökten değiştirecek bir Modern Bakım Teknolojisi olduğunu bildirmiştir. Çağlayan, Türkçe'ye "Uyarıcı Bakım" olarak tercüme ettiği "Predictive Maintenance" tanımını, bazı işletmelerde "Kestirimci Bakım" olarak da kullanılmakta olduğunu bildirmiştir.

Orak ve Par (1994), Eskişehir' de yapmış oldukları "Bakım Yöntemleri ve Kestirimci Bakım Yönteminin Bir Uygulaması" konulu çalışmalarında; Bakım yöntemlerini tanımlamış ve kestirimci bakım yönteminin bir uygulaması olarak, çimento fabrikasında gale yatakları, çekiçli değirmen fanı ve bilyalı eğirmen ana tahrik sistemini ele almışlardı. Veri toplama cihazıyla alınan titreşimleri bilgisayarda analizler yaparak incelenmiş ve sonuçları değerlendirmişlerdir.

Köse (1996), Ankara' da yapmış olduğu " İşletmelerde Neden Kestirimci Bakım Uygulanmalı" konulu çalışmasında; İşletmelerde kesinlikle Kestirimci Bakım uygulanması gerektiğini bildirmiş, aksi takdirde kaçan teknoloji trenini yakalamanın oldukça zor olduğunu bildirmiştir.

Kestirimci Bakım uygulamasını, hem bakım mühendisinin ve hem de yöneticinin, büyük bir şevkle istemesi gerektiğini bildirmiştir. Katkı sadece mühendisin, firmanın kapasite yükseltimi ile sınırlı kalmayarak, ülkeye ve dünyaya da yansıtılacağına değinmiştir. Bu katkının, üretimin gücünü artırmakla sınırlı kalmayarak, aile yaşantısı ile sosyal yaşantıya da yansıtılacağını söylemiştir. Ayrıca, mevcut kıt kaynakların daha yararlı şekilde maksimum ömründe kullanılacağını ve bu sayede hurdaya atılan malzemede azalma ile geri dönüşü sağlanamayan artıkların üremesinin yavaşlatılacağını bildirmiştir.

Erçelebi ve Ergin (1997), İstanbul' da yapmış oldukları "Maden Makinelerinde Koruyucu Bakım Onarımın Planlanması" konulu çalışmalarında; maden işletmelerinin zor çalışma koşulları altında üretim faaliyetlerinin kesintisiz bir şekilde devamı için etkin bir koruyucu bakım onarım planlamasının istatistiksel yöntemlerle nasıl yapılacağı anlatılmıştır. Yöntemleri analitik ve grafik yöntemler olarak iki kısımda incelemiş ve

uygulamaları göstermiştir. Yeraltı maden işletmesi örneği olarak mekanizeyi uzun ayak seçmiş ve ayakta tamburlu kesici için koruyucu bakım onarım planlaması yapmıştır. Açık işletme örneğinde elektrikli ekskavatöre uygulanması gereken optimum bakım onarım zamanlamasının TTT grafik yöntemi ile her 32 saatte bir olacağını bulmuştur.

Löfsten (1998), İsveç' te yapmış olduğu "Bakım Performansının Ölçümü - Verimlilik Endeksi Araştırması" konulu çalışmasında; kısmi bakım verimliliğinin amacının, firmanın bakım verimliliğinin ekonomik şartlar dahilinde en üst seviyeye çıkarma arayışında olması ve üretim sisteminin durumuna göre belirlenmiş minimum bakım maliyeti seviyesinde kalmayı hedeflemesi, olduğunu belirtmiştir. Üretim sistemlerinin veya malzemenin durumunun bu tür nitelikleri oluşturduğunu, diğer bir deyişle çok boyutlu niteliği oluşturduğunu açıklamıştır. Bu makalede, bu farklı boyutları ilgili niteliğin tek bir ölçüsü olacak şekilde birleştirmiştir. Dikkate aldığı her şeyi "ideal bütçe" adı verilen bakım girdilerine dayandırarak, kısmi bakım veriminin ölçülmesinde ve bakım maliyetlerinin en aza indirilmesinde birer alt hedef olarak ele almıştır. Hesaplanan bu emsal bakım maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmak zorunda olmadığını, fakat yüksek verimlilik endeksinin oluşturulmasında bir yan ürün olarak yer aldığına değinmiştir. Löfsten' in kısmi verimlilik modelinde, üretilen ürünlerin çıkış fiyatları ve giriş fiyatları (bakım maliyetleri) zamanla değişmektedir. Çıkışların ve mevcut girişlerin fiyatlarındaki beklenen değişikliklerin, model içinde gösterilebileceğini bildirmiştir.

Aktürk ve ark. (2000), Ankara' da yapmış oldukları "Titreşim Analiziyle Rulmanların Çalışabilirlik Durumlarının Belirlenmesi" konulu çalışmalarında; titreşimlerin ölçülmesi, izlenmesi ve değerlendirilmesi yoluyla gerçekleştirilen bilgisayar destekli uyarıcı bakım sayesinde önemli ölçüde tasarruf ve üretim artışı sağlanacağını bildirmişlerdir. Öte yandan kestirimci bakımda titreşimin etkili şekilde kullanılabilmesi için gözlemlenen makine elemanlarının titreşim karakteristiklerinin bilinmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Bu sebeple bu makalede, dönen makinelerde vazgeçilmez makine elemanı olarak kullanılan rulmanların titreşimlerinin incelenmesinde ihtiyaç duyulan bilgi birikiminin bir özeti sunulmuş, analiz hatalarının kaynakları ve analiz aşamasında dikkate alınması gereken konuları vurgulamışlardır. Rulmanların titreşimlerinin izlenmesinde önemli bazı frekanslar ve bunların

hesaplanmasında kullanılan formüller verilerek kestirimci bakım mühendislerinin işlerini kolaylaştırmışlardır.

Feyzullahoğlu (2001), Kocaeli' de yapmış olduğu "Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Uygulamaları" konulu çalışmasında; üretim maliyetini etkileyen parametreler arasında en önemlilerinin; amortisman, hammadde, enerji, işçilik ve bakım masrafları olduğunu bildirmiştir. İşletme tarafından kontrol edilebilen bakımın, bir işletmenin üretiminin sürekliliğinde, makine ve sistemlerin ömürlerinin uzatılmasında önem kazandığına değinmiştir. Yeni kurulan tesislerde başlangıçta üretimin kesintisiz olduğunu ve ürün kalitesinin de oldukça yüksek olduğunu belirtmiş, zamanla sistemin çalışması esnasında ortaya çıkan birtakım aksaklıkların, üretime engel olduğundan ürün kalitesinin bozulduğunu bildirmiştir. Belli bir süre sonra, başlangıçta hedeflenen üretim kapasitesine ve ürün kalitesine ulaşamayacağını, bu durumunda üretim esnasında ortaya çıkan arızaların tespitini ve bu arızaların giderilmesi ve arıza ihtimali olan durumların önceden belirlenmesinde oldukça önemli olduğunu vurgulamıştır. İşletmelerde yapılacak olan bir bakım organizasyonu sayesinde, bu tür olumsuzlukların büyük ölçüde azaltılabileceğini bildirmiştir.

Orhan (2002), Kırıkkale' de yapmış olduğu "Rulmanlarla Yataklanmış Dinamik Sistemlerin Titreşim Analizi ile Kestirimci Bakımı" konulu çalışmasında; rulmanların çalışma ömrünün; makinenin ömrünü, yapılan işin hassasiyetini, üretim zaman kaybını ve bakım masraflarını doğrudan etkilediği için önemli bir parametre olarak değerlendirmiştir. Rulman arızalarına ek olarak makinenin kendi yapısından kaynaklanan dengesizlik, eksen kaçıklığı, gevşeklik, v.b. arızaların da makineyi bozulmaya götüren diğer problemlerin kaynağı olduğunu bildirmiştir. Bu arızaları önlemenin en iyi yolunun, daha başlangıç aşamasında iken henüz tehlikeli bir duruma erişmeden ve makinenin çalışmasını kesintiye uğratmadan arızayı belirlemek olduğunu bildirmiştir. Titreşim analizi ile kestirimci bakımın günümüzde mevcut olan metotların en iyisi olduğunu vurgulamıştır. Orhan çalışmasında rulmanlarla yataklanmış dönen makine elemanlarında titreşim analizi kullanarak kestirimci bakım uygulamasını gerçekleştirmiştir. Bu amaçla makine grubunda, fan ve pompalardan oluşan titreşim ölçümleri periyodik olarak alınmış, elde edilen titreşim verilerini "frekans analizi" metodu ile değerlendirerek, makinelerde zamanla oluşan dengesizlik, eksen kaçıklığı, mekanik gevşeklik ve rulman hasarları ilk oluşma anlarında belirlemeye çalışmıştır.

Henüz oluşmadan önce, muhtemel arızaların, "kestirimci bakım" ile tespit edilebildiğini göstermiştir. Aynı zamanda elde edilen saha ölçüm sonuçlarının diğer araştırmacılar tarafından verilen teoriler ile uyum içinde olduğunu tespit etmiştir.

Aktürk ve ark. (2003), Ankara ve Kırıkkale' de yapmış oldukları "Bir Santrifüj Pompa Rulmanlarının Çalışabilirliğinin Titreşim Analizi ile Belirlenmesi" konulu çalışmalarında; titreşim analizine dayalı kestirimci bakım tekniğinin işleyişini kısaca ele almış ve tekniğin gerçek bir sistemde yapılan uygulamasını sunmuşlardır. Bir santrifüj pompanın rulmanlarının çalışılabilirliğini titreşim analizi yardımıyla incelemişlerdir. Rulman titreşimlerinde görülen titreşim genlik artışlarından dolayı pompa rulmanlarını değiştirmiş ve rulmanların tahmin edildiği gibi ömürlerini tamamlamak üzere olduğunu görmüşlerdir. Yeni rulmanlar taktıktan sonra titreşim seviyelerinde gözle görülür bir düşüş meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Aktürk ve ark. (2003), Ankara ve Kırıkkale' de yapmış oldukları "Titreşim Analizi ile Rulman Arızalarının Belirlenmesi" konulu çalışmalarında; mevcut olan titreşim analizi metodu ile rulman arızalarının belirlenmesini ele almışlardır. Rulman titreşimlerinin ölçüm ve analizini özet olarak açıklanıp, silindirik tip yuvarlanma elemanına sahip bir rulmanda oluşan dış bilezik hasarının titreşim analizi ile tespit edilmesi örneklendirilmiştir. Literatürde de belirtildiği gibi rulman dış bileziğinde oluşan tek nokta hasarının neden olduğu titreşimin dalga formu grafiğinde frekansı dış bilezik bilye geçiş frekansına eşit olan darbe sinyalleri oluştuğu, spektrum grafiğinde ise rulman arıza frekansının katlarında frekanslar oluştuğu belirtilmiştir. Titreşim analizinin rulman hasarlarını belirlemede etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Aktürk ve Orhan (2003), Ankara' da yapmış oldukları "Aktarma Organı Dişlilerinde Oluşan Fiziksel Hataların Titreşim Analizi ile Belirlenmesi" konulu çalışmalarında; dişlilerin hareket veya güç iletimini sağlayan önemli makine elemanlarından olduğunu bildirmişlerdir. Bir makinede bir elemandan diğerine hareket iletiminin kesintisiz ve sağlıklı olması yapılan işin hassasiyet ve kalitesine etki etmektedir. Bu yüzden özellikle sürekli üretim sistemlerinde kullanılan dişlilerde oluşan hataların belirlenmesi ve tamiratının üretimi etkilemeyecek şekilde yapılması önem kazanmaktadır. Bu çalışmada dişlilerde oluşan hataların neden olduğu titreşimlerin analizi ile uygulanan erken uyarıcı bakım konusunda özet bilgi verilmiş ve bir

kompresör dişli kutusunda yapılan uygulama çalışmasının sonuçları sunulmuştur. Titreşimlerin dişli kutusu hatalarını belirlemede etkili bir araç olduğu belirlenmiştir.

Aydın ve ark. (2003), Denizli' de yapmış oldukları "Erdemir Bakım Yönetim Sistemi" konulu çalışmalarında; Erdemir' deki bakım maliyetlerinin optimize edilmesi ve işletme verimliliğinin artırılması amacı ile, Erdemir' de bilgisayar destekli ve WEB tabanlı Erdemir Bakım Yönetim Sistemini (EBYS) kurulmuştur. Bu çalışmada Erdemir' de kurulan ve kullanılan bilgisayar destekli bakım yönetim sistemi anlatılmaktadır. EBYS' nin tasarımı, Erdemir bakım ve bilgi işlem gruplarının ortak çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Erdemir' deki tüm bakım faaliyetleri bu sistem yardımı ile yapılmaktadır. Sistem; arıza bakımın kaldırılarak, tamamen planlı ve kestirimci bakıma geçmeyi ve işletme verimliliğinde artışı hedeflemiştir.

Aydın ve ark. (2003), Denizli' de yapmış oldukları "Erdemir Bakım Yönetim Sistemi (EBYS) Yardımı ile Hidrolik ve Pnömatik Sistemlerin Periyodik Bakımı" konulu çalışmalarında; Erdemir Bakım Yönetim Sistemi (EBYS) yardımı ile hidrolik ve pnömatik sistemlerin bakımlarının yapılış şeklini anlatmışlardır. Erdemir' deki bakım maliyetlerini minimize etmek ve işletme verimliliğini artırmak amacı ile bilgisayar destekli ve WEB tabanlı EBYS (Erdemir Bakım Yönetim Sistemi) kurulduğunu, EBYS aracılığı ile hidrolik, pnömatik , mekanik, elektrik, elektronik gibi tüm sistemlerde arıza bakımın kaldırılarak, tamamen planlı ve kestirimci bakıma geçmeyi hedeflediklerini belirtmektedirler. Erdemir Bakım Yönetim Sistemi (EBYS), ISO 9001:2000 sistemini alt yapı olarak desteklemektedir. EBYS, Erdemir' deki tüm bakım birimlerini kapsayacak şekilde tasarlanarak uygulamaya açıldığını bildirmişlerdir.

Carnero (2003), İspanya' da yapmış olduğu "Kestirimci Bakım Programında Teşhis Tekniği ve Araçlarının Seçimi: Bir Durum Çalışması" konulu çalışmada; endüstri tesislerindeki kalite ve güvenlik ile maliyetin azaltılması konularında kestirimci bakım programlarının (Predictive Maintenance Programs - PMPs) önemli avantajlar sağladığını bildirmiştir. Bununla beraber, programın oluşturulması esnasında, en uygun teşhis tekniklerinin seçimi gibi farklı karar süreçlerinin de işletildiğini bildirmiştir. Bu programların oluşturulmasının stratejik bir karar olduğundan, yanlış bir karar kestirimci bakım program oluşturulmasında başarısızlıklara yada programın tümünden iptal olmasına, bununla birlikte ekonomik kayıplara neden olabileceğine değinmiştir. Carnero makalesinde, kestirimci bakım programlarındaki teşhis tekniklerinin ve

araçların seçimine ilişkin karar verme işlemini yerine getiren bir model önermiştir. Modelin analitik hiyerarşi süreci (Analytic Hierarchy Process - AHP) ve faktör analizi (Factor Analysis - FA) gibi işlevsel araştırma araçlarının bir kombinasyonunu kullanmakta olduğunu bildirmiştir. Modele yağlayıcı madde ve titreşim analizlerini de dâhil ederek vidalı kompresörleri test etmiştir.

Koyuncu (2003), Niğde' de yapmış olduğu "Endüstriyel Sistemlerde Kestirimci Bakım Açısından Kademeli Pompanın İncelenmesi" konulu çalışmasında; dönen mekanik sistemlerin dinamik davranışının analizini yapmak için endüstride kullanılan bir kademeli pompa üzerinde, çeşitli işletme şartları için sistem, titreşim parametreleri (genlik, hız ve ivme) yönünden araştırmıştır. Sistem üzerinde 8 farklı ölçüm noktası belirlemiştir. Belirlediği ölçüm noktalarından 180 günlük çalışma periyodunda sistemin trendini gözlemlemiş ve 3 Nisan 2002 tarihinde aldığı verileri analiz etmeye çalışmıştır. Sonuç olarak bakım öncesi ve sonrası değerleri irdelerken, özellikle pompada, titreşim değerlerinde belirgin bir şekilde azalma olduğu, yaptığı ölçümler sonucunda bakım öncesine oranla %80' lere varan bir azalma gözlemlemiştir.

Köse (2003), Denizli' de yapmış olduğu "Kestirimci Bakım" konulu çalışmasında; Kestirimci bakımın; makineler üzerinden periyodik aralıklar ile alınan, fiziksel parametre ölçümlerinin zaman içindeki eğilimlerini izleyerek, makine sağlığı hakkında geleceğe yönelik bir kestirimde bulunma yöntemi olduğunu belirtmiştir. "Kestirimci Bakım" tanımı, 1988 yılında ODTÜ-Ankara'da düzenlenen 3' üncü Ulusal Makine Tasarım ve İmalat kongresinde, sunulan bir bildiri ile "Predictive Maintenance" karşılığı olarak Türkçe' ye kazandırıldığını bildirmiştir.

Sistemin, istatistiksel yöntemlerin bakım amacı ile kullanımı düşüncesiyle geliştirildiğini bildirmiştir. Mühendisliğin en önemli özelliğinin araştırmacılığı olduğunu vurgulamış, bu disiplinle, farklı branşların ürettiği kuramları uygulamaya soktuğunu ve onu günlük yaşamın bir parçası yaptığını bildirmiştir. İşletmede, bakım faaliyetlerinden sorumlu mühendisin, karşılaştığı sorunların istatistiksel karşılığının arayışı içinde olmaması halinde sürekli aynı sorunlarla karşılaşacağını vurgulamıştır.

Kestirimci Bakım yaklaşımının temelini, makineleri durdurmadan, tahribatsız, çalışma koşullarında, sağlıkları ile ilgili veriler alınması ve bu verilerin zaman içindeki değişimini izlemek olduğunu söylemiş, makine sağlığı hakkındaki en kapsamlı veriye titreşim analizi ile ulaşılacağını; dönen makinelerin, arıza moduna girdiğinde titrediğini,

bu nedenle titreşim verilerinin izlenmesi ve grafiklerin analiz edilmesinin kestirimci bakımın ana temasını oluşturduğunu söylemiştir.

Makine sağlığı izlenmesinde, balanssızlık sorunu, eksen ayarsızlığı, mekanik gevşeklik, rulman arızası ve dişli arızasının birer parametre olduğunu; bu gibi sorunların titreşim frekansının ölçülmesi ve analizi ile belirlenebileceğini açıklamıştır.

Köse (2003), Denizli' de yapmış olduğu "Makine Arızalarının Belirlenmesinde Titreşim Analizi" konulu çalışmasında; döner makinelerin sağlığı ile ilgili en detaylı bilgiye yataklar üzerinden alınan titreşim (vibrasyon) ölçümlerinin analizi ile elde edileceğini ve her arızanın, fiziksel özelliklerine göre farklı frekanslarda kendini göstereceğini söylemiştir.

Titreşimin, bir rakamla nitelenmesini, bir orkestra müziğinin 85 dBA gibi bir değerle tanımlanmasına benzetmiştir. Bu değer müziğin notaları yerine, ses şiddetinin alçak yada yüksek ayırımı yapılmasını sağladığını ve bu sayede rakamla verinin sürekli izlemesi sonucu, herhangi bir artış olduğunda uyarı alındığını belirtmiştir. Ancak yükselme nedeninin, bu örnekte hangi müzik aleti tarafından üretildiğini ve hangi notadan kaynaklandığını, yaylı sazlardan kemandan mı yoksa sesli sazlardan flütten mi geldiği bilgisine ulaşamayacağını bildirmiştir. Titreşim analizi bunun aksine; vibrasyonun rulman arızasından mı, kaplin ayasızlığından mı, dişli sorunundan mı yoksa balanssızlıktan mı kaynaklandığının ayırt edilmesini sağladığını bildirmiştir.

Köse (2003), Denizli' de yapmış olduğu "Makine Sağlığı Yönetimi" konulu çalışmasında; makinelerin işletmeler için birer demirbaş olduğunu vurgulamıştır. Günümüze kadar, demirbaşların amortisman takibi dışında bir izlemeye alınmadığını, bu yönde sistemler kullanılmadığını belirtmiştir. Daha kaliteliyi daha ucuza üretilip daha çok kâr etmeyi hedefleyen firmaların, otomasyon sistemleri ile üretimlerini belirli bir düzene taşımış olduklarını ve bu konuda yapabilecekleri her şeyi yaptıklarını söylemiştir. Böylece makinenin ömrünü daha nasıl uzatılabileceği, olası arızaların önceden belirlenerek en az duruş ile kaliteli üretime devam edebilme arayışına geçildiğini belirtmiştir. Bu yaklaşım ile değişik bakım yöntemlerine odaklanıldığını, makine sağlığı izlenmesi seviyesine gelindiğini bildirmiştir. Bu amaçla Kestirimci Bakım Teknolojisinin hızlı bir gelişme sürecine girdiğini söylemiştir. Uygulamalar neticesinde, sadece arızanın belirlenmesinin yeterli olmadığını, arızanın onarım faaliyetlerinin sonucunun birlikte izlenmesinin, sık tekrarlayan arızaların makinelerde

yapılacak değişiklikler ile önlenmesinin gerekli olduğu sonucuna ulaşmıştır. Malzeme yorulması, makine ömrünün uzatılması çalışmaları yapılmaya başlandığını bildirmiş, makine sağlığının yönetimi ve bakım onarım yöntemlerinin günümüzde erişilen en üst seviyede olduğunu bildirmiştir.

Moya (2003), İspanya' da yapmış olduğu "Göstergeler Sistemi Kullanarak Bir Kestirimci Bakım Programının Oluşturulmasının Kontrolü" konulu çalışmasında; Kestirimci Bakımın; endüstriyel tesislerdeki güvenlik, kalite ve kullanılabilirlik alanlarında büyük bir artışa neden olduğu için, endüstride köklü değişikliklere neden olan bakım politikalarından biri olduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, kestirimci bakım programının (Predictive Maintenance Programme - PMP) oluşturulmasının stratejik bir karar olduğuna ve hâlihazırda bu programın oluşturulmasına, yönetimine ve denetimine ilişkin hususların incelenmesinin ve analizinin yeterli seviyede icra edildiğine değinmiştir. Moya makalesinde, PMP' lerin oluşturulmasını kontrol etmek için, programların oluşturulması esnasında ortaya çıkabilecek uyumsuzlukların erken tanısının yapılmasına katkı sağlayacak, böylece bu programların başarısız olmasını engelleyecek göstergelerden oluşan bir sistemi örnekleyerek açıklamıştır. Geliştirilen bu sistem PMP' nin kestirimci bir kontrolü olarak kabul edilebileceğini bildirmiştir.

Saraç (2003), Denizli' de yapmış olduğu "Kestirimci Bakım Yöntemleri Pratik Uygulamaları" konulu çalışması; 2 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde rafineride uygulanan güvenilirlik olgusunun şirketlerindeki yerleşimi, ikinci bölümde ekipmanların güvenilirliğini arttırmak amacı ile kullanılan vibrasyon analizi tekniğinin kullanımı yardımı ile tespit edilen rezonansların ve bozuk ekipman yerleşimlerinin ekipman ömrüne etkisi ve bu konudaki çalışmaları anlatmıştır.

Güvenilirlik olgusu ve bu olgunun vazgeçilmez araçlarından biri olan kestirimci bakım tekniklerinin daha iyi üretim, daha fazla üretim, daha az bakım işçiliği, daha planlı bakım, daha kaliteli bakım, daha az maliyetli bakım için yüzyılın son çeyreğinde şirketlerin birbirine rekabet avantajı yakalaması için olmazsa olmazların arasına girdiğini söylemiştir. Bu olgunun gelişmesi ile birlikte işletmelerdeki birçok problemin doğru teşhis edildiği ve doğru bakımlar yapılabildiğini belirtmiş, araştırmada bu işin kapsamında ATAŞ rafinerisinde yapılan doğru ekipman montajlarının ekipmanlardaki titreşimi azaltması buna örnek vermiştir. İlk bakışta insan ve ekipmana ciddi bir yatırım

gerektiren bu işin uzun vadede kendisini göstererek, şirketlere dünya pazarında gerekli yeri bulmasına yardımcı olacağını vurgulamıştır.

Sönmez (2003), Denizli' de yapmış olduğu "Kestirimci Bakımda Titreşim Analizi Uygulamaları" konulu çalışmasında; titreşim ölçüm ve analizi ile makinelerin sağlığının sürekli ölçümlerle izlenerek, güvenli çalışmasının ve zamanında yapılan bakım ile düşük maliyetli üretimin devamlılığının sağlandığını açıklamıştır. Kestirimci bakım teknikleri gelişen teknolojiye bağlı olarak ilave ölçüm ve analiz metotları ile desteklenmekte olduğunu, daha kesin karar vermeye yönelik kestirimlerin doğru ve hızlı yapılabildiğini bildirmiştir. Bu amaca yönelik cihazların maliyetlerindeki hızlı düşüşün geniş kullanım kitlelerinin bu tekniği uygulamasını kolaylaştırmakta olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Kalyoncu (2004), Konya' da yapmış olduğu "Titreşim Analizi ile Makine Elemanları Arızalarının Belirlenmesi" konulu çalışmasında; makinelerde ve makine elemanlarında meydana gelen arızaların tespitinde titreşim analizinin kullanımı ve faydalarını açıklamıştır. Makine veya teçhizatın sürekli gözlenmesi ve işlem görme şartlarının ve bunların zamanla gelişiminin analiz edilebilmesini içeren ve esas olarak titreşim ölçümü metodu kullanılan kestirimci bakımı irdelemiştir. Örnek uygulama olarak rulmanlarda meydana gelen arızaları incelemiş ve titreşim analiz sonuçlarını grafik olarak vermiştir.

Arnaiz ve Gilabert (2005), İspanya' da yapmış oldukları "Kestirimci Bakım İçin Akıllı Otomasyon Sistemleri: Durum Çalışması" konulu çalışmalarında; kritik olmayan makineler (asansörler ve imalat tezgâhları gibi) için kestirimci bakımın araştırıldığı bir durum çalışması sunmuşlardır. Sundukları her iki durum da birbirinden farklıdır. Asansör takibi ve bu konudaki teşhis konusunda hiç deneyim bulunmamakta ve modellemeyi yapay sinir ağları kullanılarak yapmışlardır. Diğer yandan, imalat tezgahlarını belli bir tecrübe birikiminin olduğu titreşim sistemleri aracılığıyla gözlenmişlerdir. Ağ içinde modellenen bilgi için bir miktar 'adaptasyon' mekanizmasının eklenmesi de önerildiği için, durum çalışmasında seçim bayes ağlarından yana yapmışlardır. Nihai sistem bir sensör işlem ünitesi ve her iki uygulama için otomatik uzaktan durum takip ihtiyacını karşılayan bir uzak bakım modülünü de içermektedir. Sonuçlar gözlem ve teşhis konusunda kısmi çözümlerin uygulanabilirliğine işaret etmekte, ancak tam bir çözüm oluşturulması için gelecekte

geliştirme yapılmasına ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Bu makale yüksek süratli makine tezgâhları için geliştirilen nihai bayes ağı çözümünün karakteristiklerini açıklamakta, bunun güçlü ve zayıf yönlerini değerlendirmekte ve gelecekte yapılması gereken iyileştirmelere işaret etmektedir.

Carnero (2005), İspanya' da yapmış olduğu " Kestirimci Bakım Programlarının Oluşturulması İçin Bir Değerlendirme Sistemi" konulu çalışmasında; kestirimci bakımın endüstriyel fabrikalardaki güvenlik, kalite ve elverişliliğin artırılmasını sağlayabileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte, şimdiye kadar oluşturulması, yönetimi ve kontrolüne ilişkin analizlerinin ortaya konmadığını kestirimci bakım programının oluşturulması kararının stratejik bir karar olduğunu bildirmiştir. Bu makalede, oluşturulma işleminin fizibilitesine ilişkin olarak karar verme süreçlerinin yürütüldüğü bir değerlendirme sistemi önerilmiştir. Değerlendirme sisteminin işlevsel araştırmanın parçası olan bir araç kombinasyonunu kullanmakta olduğunu bildirilmiştir. Bu araçlar: Analitik hiyerarşi süreci, karar verme kuralları ve bayes araçlarıdır. Hem oluşturulmuş kestirimci bakım programı sayısını artırabilen, hem de bu programlardaki hataları engelleyebilen bu sistem, kestirimci bakım programı yöneticilerinin kullanımına sunulmuş yardımcı bir araçtır. Değerlendirme sistemi bir petrokimya tesisi ile bir gıda sanayi uygulamasında test edilmiştir.

Crowder ve Lawless (2005), İngiltere ve Kanada' da yapmış oldukları "Kestirimci Bakım" konulu çalışmalarında; işleyen bir sistem zamanla yıprandığını (örneğin zamanla artan hasar) tespit edebilecek, değiştirilebilir ünitelerden/ birimlerden oluştuğunu bildirmişlerdir. Ünitelerdeki yıpranmanın belirli bir seviyeye ulaştığında bu birim artık kendisinden beklendiği şekilde görevini icra edemeyeceği ve değiştirilmesi gerekeceği sonucuna ulaşmışlardır. Her ne kadar birimler aynı nominal teknik kriterlere göre üretilse de yıpranma oranları arasında hala gelişigüzel bir fark vardır. Özgün performans kaybı modelinde bu fark rastgele bir etki, ya da zaaf terimi eklenerek gösterilir. Birim üzerindeki yıpranmanın takip edilmesinin, bir ünitenin değiştirilmesinin ve değiştirilmeden önce bir ünitenin arızalanmasına göz yumulmasının maliyetleri vardır. Son maliyet görece olarak diğerlerinden daha fazlaysa arıza oluşmadan önce birimin değiştirilmesi tercih edilebilir. Yıpranma sürecine ilişkin olarak bazı standart örneklerde arızaların ömür süresinde dağılımlar oluşturduğu ve belirli bakım programlarının maliyetlerini araştırmışlardır.

Engür (2005), Kocaeli' de yapmış olduğu "Kestirimci Bakımda Titreşim Analizi" konulu çalışmasında; elektrik motorları, fanlar, pompalar, blowerlar, kompresörler, dizel motor-jeneratör grupları, vs. gibi içinde belli bir devirde verisini alabileceği noktadan ölçüm alınması gerektiğini bildirmiştir. Yataklara ulaşılabilen yerlerde yine gövdeden ölçüm almaya dikkat ederek çalışan parçalara yakın yerler seçilmesi gerektiğini bildirmiştir. Titreşim ölçümü yapacağımız makinenin olabileceği yerlerde titreşimin ölçüm yapılan makineden geldiğinin bilinmesi için öncelikli irdelenmesi gereken büyüklük olduğunu belirtmiştir. Yapılacak ölçüm de makinenin diğer etmenlerden olabildiği kadar izole edilmesi öncelikli olarak mobilitiyi düzeltecek ve olası büyük bir faciayı bile önceden belirleyerek müdahale etmemizi sağlayacağı sonucuna ulaşmıştır.

Her bir hareketin hız ve ivmesinin birbirine bağımlı olmasından kaynaklanan ilgili kuvvet değışikliklerinin kaydı ile düzen altında yapılacak ölçümler ile döner tüm makinelerin arızalanmadan önce tespiti yapılarak; bu arızaların daha büyük arızalara yol açması, nükleer santrallerdeki gibi insan hayatının tehlikeye atılması ve düzelmesi uzun yıllar sürecek doğal dengenin bozulması, ilaç sektöründe dezenfektasyonda kullanılacak buhar gibi yüksek ısılı gazların sirkülesinin bir motor rulmanı kadar küçük bir sebepten arızalanıp ihmal edilmesi sonucu tehlikeye atılacak insan hayatları vb. sebeplerden doğacak kayıplar bu yöntemle oluşmadan önlenabilir. Bakımın arızalanma olaylarından önce yapılması işletmeleri büyük kayıplardan koruyabileceği gibi çeşitli durum ve koşullarda insan hayatı için de kritiktir. Dünyada uygun mobilitenin sağlanarak yapıldığı ölçüm ve değerlendirmeler bu sebeple olay anında bakım ve periyodik bakım yöntemlerinin yerini almakta olduğunu belirtmiştir.

Karahan (2005), Manisa' da yapmış olduğu "Titreşim Analizi ile Makinelerde Arıza Teşhisi" konulu çalışmada; makinelerde beklenmedik ani arızaların oluşması üretim planını aksattığı gibi büyük finansal kayıplara da yol açtığına değinmiştir. Bu nedenle makinelerde kestirimci bakım önemli yer tutmakta olduğunu bildirmiştir. Kestirimci bakım yöntemlerinden en önemlisi ve en kapsamlısının titreşim analizi ile kestirimci bakım olduğunu söylemiştir. Bu yöntemde ana prensip, üretim sırasında yapılan ölçmelerle makinelerin performansını izleyerek, ne zaman bakıma gerek olacağına karar verip, kısa bir süre üretime ara vererek daha önceden belirlenen arızayı

onarmaktır. Bu yöntemde arıza önceden belirlenip kısa bir sürede onarıldığından üretim aksamasına ve finansal kayıplara yol açmayacağı sonucuna ulaşmıştır.

Garcia ve ark. (2006), İspanya' da yapmış oldukları "SIMAP: Kestirimci Bakım İçin Akıllı Sistemler: Bir Rüzgar Türbini Şanzımanı Sağlık Durumu Gözlemine Yönelik Uygulama" konulu çalışmalarında; SIMAP, Kestirimci Bakım için Akıllı Sistem (Intelligent System for Predictive Maintenance) ifadesinin kısaltması ve sanayi süreçlerinin gerçek zamanlı olarak takip edilmesini sağlayan bir yazılım uygulaması olduğunu açıklamışlardır. Farklı sensörlerden ve diğer bilgi kaynaklarından gerçek zamanda gelen bilgileri dikkate alarak ve endüstriyel bileşenlerin beklenen normal davranışlarındaki muhtemel anormallikleri tespit ederek, anormalliklerin başlangıç aşamasında tespiti için erken teşhis yapılmasına ve etkin bakım tedbirlerinin planlanmasına imkân sağladığını belirtmişlerdir. Aynı zamanda, sürekli icra edilen gözetim bileşenlerin sağlık durumlarına ilişkin nicel bir kanaatin oluşturulmasına da olanak sağlamaktadır. SIMAP endüstriyel süreçlerin bakımına ve teşhisine yönelik genel bir araç olmasına karşın, uygulanmasına yönelik ilk tecrübe bir rüzgâr çiftliğinde gerçekleştirilmiştir. Bu gerçek durum uygulamasında; SIMAP, takip ettiği rüzgâr türbini için bakım takvimini gerçek ihtiyaçlar ve işletim ömrü gereksinimlerinin yanı sıra diğer teknik ve ekonomik kriterlere göre optimize etmiş ve dinamik olarak değiştirebilmiştir. Makalede bilhassa, SIMAP' ın kabiliyetleri ve temel özelliklerinin bir örneği olarak, rüzgâr türbini şanzımanının sağlık durumunun takip edildiği bir SIMAP uygulaması sunulmuştur.

Zhou ve ark. (2006), ABD ve Çin' de yapmış oldukları "Bozulmaya/ Performans Kaybına Maruz Sürekli Takip Edilen Bir Sistem İçin Güvenilirlik Odaklı Kestirimci Bakım Programlama" konulu çalışmalarında; ardışık arıza bakım politikasını, durum tabanlı kestirimci bakımla (Condition-Based Predictive Maintenance - CBPM) birleştirmeyi denemişlerdir. Arıza bakımı nedeniyle performans kaybına maruz kalan sürekli takip edilen bir sistem için bir güvenilirlik odaklı kestirimci bakım politikası olarak teklif etmişlerdir. Bozulma oranının sistem durumunun bilinen bir fonksiyonu olduğu ve daha sonra CBPM ile doğrudan türetilbildiği varsaymışlardır. Farklı bakım döngülerindeki sistem güvenilirliğine ilişkin gelişimin önceden tahmin edilebilmesi için yaş indirgeme faktörüne bağlı melez bir bozulma oranı tekrarlama kuralı ve bozulma oranı artış faktörü oluşturmuşlardır. Sistem güvenilirliği R eşiğine her ulaştığında,

sistemde bir arıza önleyici bakım (Preventive Maintenance - PM) uygulamış, en uygun R eşiği, simülasyonla gösterilen kalan sistem ömrünün birim zamanı başına toplam bakım maliyeti en aza indirgenecek şekilde belirlemişlerdir. Son olarak, en uygun değerlerin farklı maliyet parametrelerine nasıl bağlı olduğunu gösteren bir değerlendirme sunmuşlardır.

Denli (2007), Mersin' de yapmış olduğu "Kestirimci Bakım ve Uygulamalarının İyileştirilmesi" konulu çalışmasında; bakım onarım tekniklerini tanıtmış, kestirimci bakım metotlarını anlatmış ve bazı uygulama örnekleri vermiştir. Kestirimci bakımın, sağladığı güvenilirlik, kalite ve hazır bulunma sayesinde, endüstrideki devrim niteliğindeki gelişmelerden biri olduğunu vurgulamıştır. Metodun, makinelerin çalışırken yaydığı ses, titreşim ve ısıdan yola çıkarak, yapılan ölçüm ve gözlemler sonucunda, makinenin durumunun anlık fotoğrafını çekerek ve öncekilerle karşılaştırarak alınması gereken önlemlerin ve yapılacak planlamaların çok geç olmadan yapılabilmesi için mühendislere zaman sağladığını açıklamıştır. Bu sayede tezgah ve ekipmanlar daima hazır durumda ve yüksek verimle çalışabildiğini bildirmiştir. Kestirimci bakımın sağladığı diğer bir olanağın da, beklenmeyen arızaları azaltması ve bakım onarım masraflarını daha düşük seviyelere çekmesi olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Ingwald ve Kans (2007), İsveç' te yapmış oldukları "Bakım Performansının Maliyeti Etkin Olarak Geliştirilmesi İçin Ortak Veri Tabanı" konulu çalışmalarında; bakım performansında maliyetin etkin bir iyileştirmeye ulaşmada ortak veri tabanının ne kadar önemli bir rol oynayabileceğini anlatmaktadırlar. Ortak veri tabanının tanımı ve detaylı tasarımı sunmakta ve bir durum çalışmasıyla örneklendirmektedirler. Ulaşılan temel sonuç kapsamında, üretimde duruma ilişkin daha doğru bir bakış açısının veri (bilgi) entegrasyonu ile elde edilebilmesinin mümkün olduğu ve böylece bakım kararlarını alırken daha sağlam bir temel oluşturulabileceğini tespit etmişlerdir. Ortak veri tabanı, üretim sürecinin performansının takip edilmesi, en etkin maliyetli bakım politikasına ilişkin kararın verilmesi veya muhtemel bakım çözümlerinin oluşturulması gibi uygulamaların geliştirilmesini desteklemekte olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Öztürk ve ark. (2007), Sivas' ta yapmış oldukları "Dişli Kutularındaki Diş Çatlak Hatasının Titreşim Etüdüyle Erken Tespiti ve İzlenmesi" konulu çalışmalarında; dişli kutularının durumlarının izlemesinde, dişli hataların tespitinde ve bunların yerlerinin belirlenmesinde titreşim izleme uygulamalarının oldukça geniş biçimde kullanılmakta

olduğuna değinmişlerdir. Çalışmalarında, bir dişli kutusundaki diş çatlağının, titreşim etüdüyle erken tespiti yapılmaya çalışılmış ve gelişimi izlemişlerdir. Öncelikle, dişli titreşimlerin genel karakteristiklerini oluşturmak için zaman ve frekans bölgelerindeki klasik işlemler kullanmış ve daha sonra, dişli titreşim sinyallerine sürekli dalgacık dönüşümü uygulayarak diş çatlak hatasının tespitini araştırmışlardır. Diş çatlağının ve bunun sonucu oluşacak diş kırılmasının doğal olarak meydana gelebilmesi için, iki kademeli bir endüstriyel dişli kutusuna sahip bir test düzeneği kurmuşlardır. Sürekli dalgacık dönüşümünün, dişli çatlak hatasının erken tespitinde geleneksel zaman ve frekans metotlarına göre daha kullanışlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Açıkel (2008), Ankara' da yapmış olduğu "Sürekliiform Baskı Makinesinin Titreşim Sinyali Yardımıyla Kestirimci Bakımının Yapılması" konulu çalışmasında; kritik süreçlerde ve sürekli çalışması gereken sistemlerde kullanılan makinelerin, çalışabilirliğinin ve performansının devamlı aynı seviyede tutulmasının oldukça önemli olduğunu vurgulamıştır. Bunu sağlamak için klasik periyodik bakımların yanı sıra, arızaların başlangıç ve gelişim sürecinde tespiti amacıyla kestirimci bakım teknikleri de kullanılmakta olduğunu bildirmiştir. Açıkel çalışmasında öncelikle kestirimci bakım, titreşim analizi ve sıkça tekrarlanan arızaların titreşim özellikleri hakkında genel bilgiler vermiş, matbaacılık sektöründe kullanılan sürekliiform baskı makinesinin kestirimci bakım uygulaması sonucunda tespit edilen farklı tipte arıza örnekleri incelemiştir. Sürekliiform baskı makinesi, ünitelere ayırmış ve bu ünitelerdeki makine elemanlarının teknik özellikleri ve titreşim ölçüm noktalarını belirleyerek makineye ait bir titreşim ölçüm planı hazırlamıştır. Bu ölçüm noktalarından, çalışma programına göre belirlenen periyotlarda titreşim ölçümleri almış, alınan bu titreşimleri, zaman ve frekans tanım bölgelerinde inceleyerek, titreşimlere ait eğilimleri belirlemiştir. Açıkel yaptığı bu titreşim analizlerinde, karakteristik arızaların titreşim davranışlarını araştırmış, belirlediği arızaların seviyelerini tespit ederek, eğilim ve çoklu spektrum grafikleriyle arızaların gelişim eğilimleri takip etmiştir. Takip ettiği bu arızaların tehlikeli seviyelere ulaşarak daha ciddi problemlerin oluşmasının önüne geçmeyi hedeflemiştir. Gerekli gördüğünde arızalara müdahale etmiş veya arızalı makine elemanının yararlı ömrünü tamamlaması beklemiştir. Yaptığı titreşim analizlerinin sonuçlarını değerlendirdiğinde, sürekliiform baskı makinesine ait makine elemanları arızalarının, titreşim ölçümlerinin incelenmesiyle tespit edilebileceği sonucuna ulaşmıştır. Kestirimci bakım

uygulamasıyla, arızalara gelişim döneminde müdahale ederek, daha ciddi hasarların oluşmasını önlemiş ve makine elemanlarının faydalı ömürlerini tam olarak kullanabilmelerini sağlamıştır.

Deloux ve ark. (2008), Fransa' da yapmış oldukları " Stres Altında Kademeli Olarak Bozulan Bir Sistem İçin Kestirimci Bakım" konulu çalışmalarında; stres altında kalan ve sürekli olarak yıpranmaya/ eskimeye maruz kalan bir sistem için kestirimci bakım politikası konusunu ele almışlardır. Yüksek bozulma seviyesi ve aniden bozulma olmak üzere birbirinden ayrı iki arıza mekanizması olan bir sistem tahayyül etmişlerdir. Sistemin bakım politikasını optimize etmek için Statik İşlem Kontrol (Statistical Process Control - SPC) ve Durum Tabanlı Bakım (Condition-Based Maintenance - CBM) politikalarının birleştirildiği bir yaklaşım önermişlerdir. CBM politikası sistemin denetlenmesi ve belirlenen yıpranma/ eskime seviyesine uygun olarak değiştirilmesi için kullanmışlardır. SPC stres eş-değişkeninin takibinde kullanmışlardır. Önerilen bakım politikasının performansını değerlendirmek ve birim zaman başına uzun dönemde öngörülen bakım maliyetini en aza indirmek maksadıyla, oluşturulan sistemin maliyetine yönelik olarak matematiksel bir model türetmişlerdir. Önerilen bakım politikasının farklı bakım parametrelerine göre özelliklerini vurgulamak için nümerik sonuçlara dayanan bir analiz yapmışlardır.

Dowlathahi (2008), ABD' de yaptığı "Meksika Serbest Ticaret Bölgesi Sanayinde Endüstriyel Bakımın Rolü: Deneyisel Bir Analiz" konulu çalışmada; Meksika serbest ticaret bölgesi sanayinde endüstriyel bakımın rolünü araştırmıştır. Meksika serbest ticaret bölgesi endüstrisi, ABD ve Meksika arasındaki bölgede yabancı yatırımları, teknolojiyi ve Meksika' ya ait iş gücünü kullanan bir üretim sistemidir. Endüstriyel bakım ile ilgili hususlar Elpaso, Teksas ve Juarez, Meksika' da bulunan sekiz Meksika serbest ticaret bölgesi firması uzmanı ile derinlemesine ve geniş çaplı olarak icra edilmiş 11 saha mülakatı ve bir anket formu kullanılarak incelemiştir. % 86' lık cevap oranı (131 kullanılabilir cevaplanmış anket) ve dört önemli anket sorusuna dayanan istatistik bir analiz yapmıştır. Anketteki soruların içerikleri şu hususları kapsamaktadır: Diğer fonksiyonel sahalardan ve bakım arasındaki işbirliği, muhtemel bakım problem sahalardan (donanım, personel ve yönetim), bakım problemlerinden kaynaklanan önemli ortak kayıplar ve bakımda ISO sertifikasyonunun rolü. Dowlathahi son olarak ilave görüşler ve sonuçlara ilişkin değerlendirmeler sunmuştur.

Baykara (2009), Zonguldak' ta yapmış olduğu "Titreşim Analizi ile şanzımanlarda Arıza Teşhisi ve Kestirimci Bakım" konulu çalışmasında; sistemde çalışmakta olan bir şanzımandan alınan titreşim ölümlerini analiz etmiş ve şanzımanın dişli çarklarında oluşan hasarlarını tespit etmiştir. Sistemde kestirimci bakım uygulamış ve şanzımanın çok daha ciddi bir şekilde hasarlanarak plansız duruşlara sebep olmasını engellemiştir. Ayrıca farklı bir şanzımanda dişlinin dişleri kesilerek titreşim ölümleri almış ve diş kırığı sonucu ortaya çıkan titreşim grafikleri incelemiştir.

Baykara dişli çarkların kullanım amacının, güç iletiminin istenilen oranda bir milden diğerine aktarmak olduğunu açıklamış, herhangi bir arıza meydana geldiğinde (oyukuk, aşınma, diş kırılması, gibi) dişli çarkların performansı etkilediğini belirtmiştir. Daha ileri boyutlarda ise dişli çarklarının kullanılamaz hale geldiği ve üretim hattında duruşlara sebebiyet verdiği sonucuna ulaşmıştır. Bu plansız duruşların işletmeleri maliyet yönünden sıkıntıya sokmakta olduğu ve arızanın daha oluşmadan problemin tespit edilerek gerekli hazırlıkların önceden yapılp planlı bir duruşla problem giderilebileceğini bildirmiştir.

Duyar (2009), Gebze' de yapmış olduğu "Model Bazlı Arıza Analizi ve Kestirimci Bakım" konulu çalışmasında; Kestirimci Bakımın faydalarının herkesçe biliniyor olmasına rağmen uygulamadaki zorluklar nedeniyle dünyada kestirimci bakım uygulayabilen firmaların oranı %0,04 civarında olduğunu bildirmiştir. Duyar çalışmasında elektrik motorları, jeneratörler, transformatörler gibi üç fazlı sistemlerin ve bunlar tarafından sürülen ekipman veya sürecin kestirimci bakım için geliştirilmiş ödüllü bir ürün olan, Motor Durum İzleme (MCM- Motor Condition Monitor) cihazından ve bu cihazın uygulama örneklerinden bahsetmiştir. MCM' yi sadece gerilim ve akım sinyallerini ölçen bu sinyalleri sürekli izleyerek olması muhtemel elektriksel ve mekanik arızaları gelişimlerinin erken safhalarında tespit eden, bakım planlanmasını sağlayan ve beklenmedik duruşları önleyen bir cihaz olarak tanımlamıştır. MCM' nin aynı zamanda kullanıcıya arıza teşhisi için bilgi sağlamakta olduğuna değinmiştir. MCM' nin temel işlevi plansız arızalardan kaynaklanan duruşlara engel olmak ve verimliliği arttırmak için zamanla bozulan makine ve süreç koşullarının erken uyarısını sağlamaktır. Patentli MCM teknolojisi, daha önceden ABD' de uzay mekiği ana motoru, helikopter motorları ve gaz tribünlerine uygulanmış on yıllık bir araştırma çabasının ürünüdür. MCM, bu konuda uzman olmayan personel tarafından kullanılabilen doğru

bakım kararı sağlayan ucuz bir cihazdır. Bu nedenle, hem titreşim hem de akım imza analizi sistemlerinin eksikliklerini ortadan kaldırdığı söylemiştir.

Hancı (2009), Sakarya' da yapmış olduğu "Lastik Endüstrisinde Kullanılan Kestirimci Bakım Uygulamaları" konulu çalışmasında; Kestirimci bakım tekniğinin, makine parçalarının arızalanmadan önce çeşitli uyarılar vermesi esasına dayanmakta olduğunu bildirmiştir. Makinelerin verdiği uyarıların farkına varmak için; titreşim analizi, yağ analizi, ultrasonik test, kızılötesi termografi ve sistem değişkenlerinin ölçülmesi gibi tahribatsız testlere ihtiyaç olduğuna değinmiştir. Makine durumlarını saptamak için bu tekniklerin kullanılmasının, önceki bakım yöntemleriyle kıyaslandığı zaman, bakımın başarısı açısından çok daha verimli olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Kestirimci bakım, işletme yönetiminin makine durumlarını ve bakım programlarını çok iyi bir şekilde kontrol etmelerine olanak sağlamaktadır. İşletmelerde kestirimci bakım kullanılarak makine durumları kapsamlı bir şekilde bilinebilir ve çok daha gerçekçi planlar yapılabilir. Bu yaklaşımda firmalara beklenmedik arızaları asgariye indirme, stok ve bakım maliyetlerini düşürme fırsatı sunduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada bakım teknikleri tanıtılmış, kestirimci bakım metotları anlatılmış ve bazı uygulama örnekleri verilmiştir.

Karıncaoğlu (2009), İzmir' de yapmış olduğu "Kağıt Fabrikalarında Bakım Yöntemi" konulu çalışmasında; kağıt fabrikalarında bakım konusunun, diğer sanayi dallarında olduğu gibi ürün maliyeti üzerinde önemli rol oynadığına değinmiştir. Karıncaoğlu tarafından Amerika Birleşik Devletleri için bakım giderleri gerek işçilik, gerekse malzeme olarak 1981 yılında 300 milyar dolar, 1991 yılında 600 milyar dolar olduğunu fakat Türkiye için elde yeterli veri bulunmadığını bildirilmiştir. Ölçeği ne olursa olsun tüm ekonomilerde böylesine büyük rakamlardan tasarruf yapılması, çalışmaları başlatmak için oldukça geçerli bir neden olduğunu söylenmiştir. Türkiye için de bakım konusu benzer nedenlerle önemli bir konudur. Bu denli yüksek harcama rakamlarına rağmen, hatalardan geri dönmekle çok şey değişecektir. Kök neden analizleriyle arıza kaynaklarının yok edilmesi, gecikmelerin önlenmesi, koruyucu ve kestirimci bakım gibi yöntemlerin kullanılması, bakıma yeni bakış açısıyla bakmak, maliyetlerin düşürülmesine yardımcı olacaktır. İş verimliliği kaynakları etkin kullanmak adına bir yönetim uğraşısıdır. Çalışanlara talimatlar verilerek verimlilik sağlanamaz.

Tüm bunların arkasında, çözüm araçlarını görüp, onları destekleyecek bir kurum yönetimi bulunması gerektiğini vurgulamıştır.

Bakımın ürün kalitesi ve üretim maliyetleri üzerindeki ciddi etkileri bulunmaktadır. Genel kanı, bakımın bir ayak bağı olduğudur. Bu tür maliyetler gereksizdir veya asgari düzeyde tutulmalıdır. Oysa ki koruyucu bakım ve kestirimci bakım, zincirleme olarak gereksiz tamiratların ve pahalı makine bozulmalarının önüne geçmekte, makinelere olan güveni arttırmakta, üretim süreçlerini iyileştirmekte, üretim miktarını ve kaliteyi arttırmaktadır. Böyle bir konunun yönetimin doğrudan ilgi alanı içine girmesi gerektiğini bildirmiştir.

Orhan (2009), Manisa' da yapmış olduğu "Yağ Analiz Yöntemiyle Yapılan Kestirimci Bakımda Motor Arızalarının Tespiti" konulu çalışmasında; yağ ve aşınmış parçacık analiz yöntemi, E.L.İ Müessese Müdürlüğüne ait iş makinelerinin motor, şanzıman, hidrolik sistem ve diferansiyellerine uygulamıştır. Orhan çalışmasında iş makinelerine ait altı adet motor, bir adet şanzıman, üç adet hidrolik sistem ve üç adet diferansiyel incelemiştir. Belirtilen ünitelerden standartlara uygun olarak alınan yağ numuneleri yağ analiz laboratuvarlarında incelemiştir. Yağın kirlilik derecesi ve yağın kirlenmesine neden olan (su, mazot, toz girişi, kurum, aşınmış parçacıklar vb.) sebepler araştırmıştır. Aşınmış parçacıklar miktar olarak parçacık sayıcı cihazında tespit etmiştir. Şekil ve boyut olarak mikroskopta incelemiş ve aşınmanın derecesi mevcut aşınma atlasıyla karşılaştırmıştır. Analiz sonuçlarına göre arızalar büyümeden makinelere müdahale edilmiştir. Bu bakım yönteminin uygulanmasıyla iş makinelerinin tamir bakım masraflarında önemli miktarda azalma, çalışma saatlerinde artış sağlanmıştır. Sonuçta makinelerdeki arızalar önceden tespit edilerek, gerekli önlemlerin alınması ile makinelerin arıza yapmadan verimli çalışması sağlanmıştır.

Yücel (2009), Sakarya' da yapmış olduğu "Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Kestirimci Bakım Uygulamaları" konulu çalışmasında; bakım onarım tekniklerini tanıtmış, kestirimci bakım metotlarını anlatmış ve bazı uygulama örnekleri vermiştir. Kestirimci bakım, sağladığı güvenilirlik, kalite ve hazır bulunma sayesinde, endüstrideki devrim niteliğindeki gelişmelerden biridir. Metot, makinelerin çalışırken yaydığı ses, titreşim ve ısıdan yola çıkarak, yapılan ölçüm ve gözlemler sonucunda, makinenin durumunun anlık fotoğrafını çeker ve öncekilerle karşılaştırılarak alınması gereken önlemlerin ve yapılacak planlamaların çok geç olmadan yapılabilmesi için

mühendislere zaman sağladığını bildirmiştir. Bu sayede tezgah ve ekipmanlar daima hazır durumda olduğu ve yüksek verimle çalıştığı sonucuna ulaşmıştır. Kestirimci bakımın sağladığı diğer bir olanak da, beklenmeyen arızaları azaltması ve bakım onarım masraflarını daha düşük seviyelere çekmesidir.

Açıkel ve ark. (2010), Ankara' da yapmış oldukları "Sürekli Form Baskı Makinesi Fan Arızasının Titreşim Sinyali Yardımıyla Kestirimci Bakım Analizi" konulu çalışmalarında; kritik süreçlerde kullanılan makinelerin çalışabilirliğinin ve performansının devamlı aynı seviyede tutulması oldukça önemli olduğunu vurgulamışlardır. Bunu sağlamak için klasik “periyodik” bakımların yanı sıra olabilecek belirsiz arızaların tespiti için kestirimci bakım teknikleri de kullanmışlardır. Bu çalışmada matbaacılık sektöründe kullanılan sürekli form baskı makinesine uygulanan kestirimci bakım yöntemi ile ilgili bir örnek vermişlerdir. Makine üzerinde belirlenen bir noktada titreşim ölçümleri alarak zaman ve frekans tanım bölgelerinde inceleyerek eğilimler belirlemişlerdir. Analiz sonuçları sürekli form baskı makinesi ana motor fanında oluşan performans kayıplarının ve arızalarının titreşim ölçümlerinin incelenmesiyle tespit edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Arslan (2010), Zonguldak' ta yapmış olduğu "Titreşim Analizi ile Fanlarda Arıza Teşhisi ve Kestirimci Bakım" konulu çalışmasında; fanların bir basınç farkı oluşturarak hava akışını sağlayan cihazlar olduğunu bildirmiştir. Herhangi bir arıza meydana geldiğinde (rulman problemi, balans gibi) fanın çalışma performansını etkilemektedir. Daha ileri boyutlarda fan kullanılamaz hale gelmekte ve üretim hattında duruşlara sebebiyet vermektedir. Bu plansız duruşlar işletme maliyetini arttırmaktadır. Arıza olmadan problem tespit edilebilirse gerekli hazırlıklar yapıp planlı bir duruş ile problem giderilebileceğini bildirmiştir.

Arslan' ın çalışma sisteminde, çalışmakta olan bir fanın yedeği ile test standı oluşturulmuştur. Muhtemel arızalar, kasıtlı olarak yapılmış, titreşim ölçümleri alınmış ve analiz edilmiştir. Yapılan ölçümlerde her arızanın belirli frekanslarda titreşim ürettiği görülmüş ve FFT (frekans, genlik eğrisi) analizi ile makinedeki arıza çeşitleri ve boyutları hakkında bilgi sahibi olunabileceği tespit edilmiştir.

Curcucu ve ark. (2010), İtayla' da yapmış oldukları " Hata Taramasıyla Kestirimci Bakım Politikası" konulu çalışmalarında; pek çok sistemde arızanın çok tehlikeli ve maliyetli bir olay olduğunu belirtmişlerdir. Bu olayın gerçekleşme olasılığını düşürmek

için, kritik elemanları arızalanmadan önce değiştirmeye imkân tanıyan bir önleyici bakım politikasının tesis edilmesi gerekliliğini vurgulamışlardır. Elemanların genellikle başlangıç aşamasındaki arızaları açıkça göstermediklerinden, faydalı ömürlerinin tamamı kullanılmadan değiştirilmekte olduklarını bildirmişlerdir. Elemanların faydalı ömürlerinin tamamının kullanılması ve arızaların önlenmesi hedeflerinin birleştirilebilmesi için durum tabanlı bakım politikasının ve daha yakın zamanda da, kestirimci bakım politikasının uygulanması önermişlerdir. Makale bu konuya değinmekte ve bakım zamanlamasının oluşturulması için genel bakım maliyetini en aza indiren bir prosedür önermektedir. Eskime süreci için olasılıksal bir modelin uyarlanmasıyla ve bir hata tarama sisteminin kullanıldığı varsayımıyla, prosedür bayes yaklaşımıyla önceki bilgileri tarama sisteminden gelen yeni verilerle güncellemektedir. Klasik önleyici politikalara göre önerilen politikasının uygulanabilirliği ve uygulanabilirliğinin problemi tanımlayan bazı parametrelere nasıl bağlı olduğu bir simülasyon kullanılarak göstermişlerdir.

Tatar (2010), Sakarya' da yapmış olduğu "Su Pompa İstasyonunda Kestirimci Bakım ve Yönetim Organizasyonu" konulu çalışmasında; gelişen rekabet ortamında, işletmelerin uzun ömürlü olabilmesi için kullanılan makinelerin, çalışabilirliğinin ve performansının sürekliliğinin sağlanması çok önemli olduğunu vurgulamıştır. Günümüzde işletmelerde kullanılan periyodik koruyucu bakım tekniğinde istatistiki yöntemler kullanılarak veya tecrübelerle dayanılarak hesaplanan periyotlar arasında da arızaların olması muhtemeldir. Bu nedenle kullanılan klasik bakım faaliyetlerinin dışında, arızaların başlangıç sürecinde tespiti amacıyla kestirimci bakım teknikleri kullanılmaktadır. Kestirimci bakım, sağladığı güvenilirlik ve kalite sayesinde işletmelerde önemli gelişmelerden biridir. Bu çalışmada öncelikle periyodik koruyucu bakım ile kestirimci bakım arasındaki fark anlatılmaya çalışılmış ve incelenen işletme için karma bir bakım modeli önerilmiştir. Ayrıca kestirimci bakım tekniklerinden, titreşim analizi yardımıyla, arızaların titreşim özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiş ve su dağıtım sektöründe kullanılan ekipmanın kestirimci bakım uygulaması sonucunda tespit edilen farklı karakteristikteki muhtemel arıza örnekleri incelenmiştir ve bakım yönetim organizasyonu önerilmiştir. Ekipmanın teknik özellikleri ve titreşim ölçüm noktaları belirlenerek bu sisteme ait titreşim ölçüm planı hazırlanmıştır. Bu ölçüm noktalarından belirlenen periyot süresince titreşim ölçümleri alınmış ve analizleri

yapılmıştır. Karakteristik arızaların titreşim davranışları araştırılmıştır. Elde edilen veriler, mevcut standartlarla karşılaştırılarak, arızaların tehlikeli seviyelere ulaşarak önemli problemlerin meydana gelmesinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Kestirimci bakım uygulamasıyla, arızalara gelişim döneminde müdahale edilerek, işletme verimliliğinin etkinliği ve bakım maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

Tinga (2010), Hollanda' da yapmış olduğu "Kullanım ve Yük Temelli Bakım Oluşturmak İçin Fiziki Hata Modeli Uygulaması" konulu çalışmasında; önleyici bakım işlemlerinin etkinliği büyük ölçüde bileşenlerin yenilenme aralığının doğru tahminine bağlı olduğunu bildirmiştir. Sistemin gerçek kullanım durumunun bilinmesinin tahminin doğruluğunu arttırdığı kabul etmektedir. Bu makale geleneksel statik konseptlerin ve duruma tabanlı bakım yaklaşımının avantajlarını birleştiren yeni iki bakım konsepti önermektedir. Bu yeni konseptler sistem durumunun fiziki model tabanlı değerlendirmesini yapmak için hizmet süresince kullanım ve yük parametrelerini takip edilmesini öngören kullanım temelli bakım ve yük temelli bakım konseptleridir. Yeni konseptler mevcut bakım konseptleri ile aynı sınırlar içine değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, çalışmada bakım modellemesinde fizikî modellerin rolü genel hatlarıyla açıklanmış ve tahmini servis ömründeki belirsizlik kaynakları irdelenmiştir. İlave olarak, bu konudaki mevcut çalışmalar sunularak kullanım, yük ve durum takibinin belirsizlikleri nasıl azalttığı ve servis ömrünü nasıl uzattığı örneklenmiştir. Son olarak, önerilen konseptin avantajlarını göstermek için durum çalışmasında bir gaz türbini kanadına farklı konseptler uygulamıştır.

Carnero ve ark. (2011), İspanya ve Portekiz' de yapmış oldukları "Kestirimci Bakım Programının Denetimi İçin Çok Kriter Bir Model" konulu çalışmalarında; denetleme araçları bakım politikalarının, özellikle kestirimci bakımın (Predictive Maintenance - PM), sürekli gelişiminde anahtar bir rol oynayabileceğini açıklamıştır. Bu makale İspanya Ciudad Real Tam Teşekküllü Hastanesi (General Hospital of Ciudad Real - GHCR) için geliştirilen ve hastanede uygulanan bir Kestirimci Bakım Programının (Predictive Maintenance Programme - PMP) denetlenmesi için çok kriterli bir model sunmaktadır. Model, üst seviye denetleme alanları ve PMP' nin performans değerini belirleyen ikinci seviye denetleme kriterlerinden oluşan iki seviyeli bir yapıya sahiptir. Bu yapı GHCR yöneticilerine, teknik personeline ve danışman kadrosundakilere yapılan bir anketin analizi ve irdelenmesi ile oluşturulmuştur. Yapı

kıstaslarla farklı referans başarı seviyelerini eşleştiren bir performans cetvelinin oluşturulmasına da yardımcı olmuştur. MACBETH (Measuring Attractivenessby a Categorical Based Evaluation Technique - Kategori Tabanlı Değerlendirme Tekniği ile Çekicilik Ölçümü) yaklaşımı kullanarak, personelin farklı referans seviyesi ve performans profili karşılaştırmalarına ilişkin değerlendirmelerinden türetilen, kriter ağırlık ve değerine sahip hiyerarşik katma değer modeli oluşturulmuştur. Bu model yöneticilerin PMP performansını ve bunun hastaneye olan katma değerini, sadece her bir denetleme kriteri için değil, aynı zamanda tüm alanlarda ve tüm vadelerde ölçmelerine imkân sağlamaktadır. "İşletme Karnesi" yönetimi ile bütünleşmiş böyle bir modelin çıktıları, sürekli gelişimi için PMP' nin acil müdahale gerektiren eksik yönlerinin ve ilgili düzeltici işlemlerin belirlenmesine imkan tanır.

Karadayı (2011), Balıkesir' de yapmış olduğu "Titreşim Analizi ile Pompalarda Arıza Tespiti ve Kestirimci Bakım Uygulamaları" konulu çalışmasında; işletme için kritik olan pompa grubu ABC analizi ile seçilmiştir. Kestirimci bakım yöntemlerinden biri olan titreşim ölçümü yöntemiyle ekipman üzerinden ölçümler alınarak ekipmanın titreşim seyri izlemiştir. Ayrıca alınan ölçümler FFT spektrum analizi yapılarak incelemiştir. Titreşim analizi ile ekipman ani bir duruşa sebep olmadan önce arızaların tespitinin yapılabildiği ve bazı arızaların birbiriyle ilişkili olabileceği tespit edilmiştir. Pompalar, günlük hayatta pek çok noktada kullanılmaktadır. Özellikle sanayide pek çok kritik noktada çalışmaktadırlar. Bu makinelerde meydana gelecek bir arıza, işletmeler için beklenmedik üretim kayıplarına sebep olmaktadır. Yaşanan bu plansız duruşlar işletme maliyetlerini arttırmaktadır.

Efthymioua ve ark. (2012), Yunanistan' da düzenlemiş oldukları "Üretim Sistemleri İçin Kestirimci Bakım" konulu platformlarında; bakım ve destek bir üretim sisteminin toplam yaşam döngüsü maliyetinin %60 ila %75 kadarından sorumlu olabilmekte olduğunu belirtmiştir. Bu makalede üretim sistemlerindeki kestirimci bakım yaklaşımları, metotları ve araçlarını gözden geçirilmekte ve bütünleşmiş bir kestirimci bakım platformu önerilmektedir. Bu platform üç ana bileşenden oluşmaktadır: Veri edinme ve analiz, bilgi yönetimi ve sürdürülebilirlik bakım paneli. İlk ana bileşen verinin çıkarılması ve işlenmesinden sorumludur, ikincisi bakım bilgi modellemesi ve tasarımı üzerine odaklanır, üçüncü ana bileşen çevre ve enerjiye ilişkin performans

göstergelerine özel bir ihtimam göstererek bakım planlamasına yönelik istişari kabiliyetler sağlamaktadır.

Kurt (2012), Kayseri' de yapmış olduğu "Kestirimci Bakım Yöntemi Kullanılarak Egzoz Fanında Arıza Teşhisi" konulu çalışmasında; Afşin Elbistan B Termik Santralinde kullanılmakta olan egzoz fanını referans almıştır. Fan ve motor yataklarında toplam 4 noktadan titreşim analiz cihazıyla ölçümler yapmıştır. Yapılan ölçümler analiz etmeye çalışmıştır. Fanda gözlemlenen ve analiz sonucunda tespit edilen arızalar sırasıyla giderilmiştir. Her arıza giderildikten sonra tekrar ölçüm yapılarak titreşim değerleri minimize edilmeye çalışmıştır. Makinelerde beklenmedik arızaların oluşması üretimin azalmasına ve maliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden makinelerde titreşim ölçümüne dayalı bakım önem kazanmaktadır. Bu yöntemde ana prensip, üretim esnasında yapılan ölçümlerle makinelerin performansını izlemek ve ne zaman bakıma alınacağına karar verip, kısa bir süre üretime ara vererek belirlenen arızayı gidermektir.

Kestirimci bakım yöntemi kullanılarak arızalar oluşmadan tespit edilip müdahale edilirse, hem gereksiz duruşların önüne geçilebilir hem de işletme maliyeti azaltılabileceği ve kestirimci bakım yöntemi uygulanmadığında nasıl bir sonuç doğuracağı açıklanmıştır.

Adıgüzel ve Sabancı (2013), Çukurova' da yapmış oldukları "DSİ İşletmelerinde Koruyucu Bakım Yöntemlerinin (Çukurova Bölgesi) Değerlendirilmesi ve Geliştirilmesi İçin Öneriler" konulu çalışmalarında; DSİ Çukurova bölgesinde çalışan yaklaşık 100 adet iş makinesinde kullanılan koruyucu bakım yöntemlerini değerlendirmişler bu değerlendirme sonucu 2005-2010 yılları arası çalışan iş makinelerinin verimleri ölçülmüş, uygulanan koruyucu bakım yöntemlerinin yararları irdelenmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, iş makinelerinde kullanılan mevcut koruyucu bakım yöntemlerinin makine ömrünü uzatmadaki etkisinin ve bakım periyotlarının doğruluğunun saptamaktır. Sonuçta, periyodik olarak düzenli ve işinin ehli kimseler vasıtasıyla yapılan koruyucu bakımların makine ömrünü uzattığı, iş kaybı ve büyük masraflara yol açacak arızaların önüne geçilebildiği belirlenmiştir.

Geng ve ark. (2013), Çin' de yapmış oldukları "Sanal Bakım Ortamındaki Bakım Güvenliği Değerlendirmesine İlişkin Bir Modelleme Yaklaşımı" konulu çalışmalarında; bakım güvenliği değerlendirmesine (Maintenance Safety Evaluation - MSE) ilişkin olarak, ürün tasarımının ilk fazından itibaren bakım güvenliği konusunda tavsiyelerde bulunabilecek yeni bir sanal bakım uygulaması önerilmektedir. Önerilen yöntem potansiyel kusurları sanal bakım teknolojisi aracılığıyla tespit etmekte ve kaza ihtimalini azaltmak için güvenlik değerlendirmesini sezgisel ve sistematik olarak kestirimci bir şekilde yapmaktadır. İlgili yayınların gözden geçirilmesinin ardından, tüm unsurların etraflica değerlendirilmesiyle sanal bakım ortamında bir MSE modeli tanımlanmıştır. Model değerlendirme girdileri, değerlendirme kriteri ve değerlendirme yönteminden oluşmaktadır. Değerlendirme modelinin performansını göstermek için APU (Auxiliary PowerUnit - Yardımcı Güç Tertibatı) sistemleri bakımına ilişkin bir durum çalışması kullanılmıştır. Sonuç bakım güvenliği tasarımlarının geliştirilmesinde sanal bakımın uygulanabileceğini göstermiştir.

Horenbeek ve Pintelon (2013), Belçika' da yapmış oldukları "Karmaşık Çok Bileşenli Sistemler İçin Dinamik Kestirimci Bakım" konulu çalışmalarında; kalan faydalı ömrün tahmin edilmesi için kestirimci bakım metotlarının kullanımının son yıllarda giderek daha çok ilgi görmekte olduğu bildirilmiştir. Ancak bu tekniklerin çok bileşenli sistemlerin bakım kararlarının alınmasında ve optimizasyonunda kullanılması hâlâ bir inceleme saha olma özelliğini korumakta olduğu belirtilmiştir. Makalenin amacı, çok bileşenli bir sistem için farklı bileşenlerin bağımlılıklarını (örneğin ekonomik, yapısal ve olasılıksal bağımlılık) dikkate alarak, mümkün olan en iyi şekilde kestirimci verilere dayanan bir bakımı planlamaktır. Bu kapsamda, makalede çok bileşenli sistemler için birim zaman başına uzun dönem bakım maliyeti ortalamasını en aza indiren bir dinamik kestirimci bakım politikası sunulmaktadır. Bileşenlerin kalan faydalı ömrüne ve verim kayıplarına ilişkin yeni bilgiler kullanılabilir hale geldikçe bakım programı güncellendiği için, önerilen bakım politikası dinamik bir metot olma özelliğine haizdir. Birim zaman başına en düşük uzun dönem maliyet ortalaması hedefi çerçevesinde, geliştirilen dinamik kestirimci bakım politikasının performansı diğer beş geleneksel bakım politikasıyla karşılaştırılmıştır. Bunlar: Blok tabanlı bakım, yaşa bağlı bakım, grup yaşına bağlı bakım, denetim sonucuna bağlı bakım ve genel/süregelen durum tabanlı bakım. Kestirimci bakım politikasının çok bileşenli sistem içinde yer alan

bileşenlerin zamanla oluşan eskiye ve değişen bağımlılıklara reaksiyon gösterebilme kabiliyeti ölçülmüş ve sonuçlar maliyette kayda değer tasarruf sağlandığını ortaya koymuştur.

Kurt ve ark. (2013), Erzurum'da düzenlenen 16' ncı Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu' nda sunmuş oldukları "Kestirimci Bakım Yöntemi Kullanarak Egzoz Fanında Arıza Teşhisi" konulu çalışmalarında; makinelerde beklenmedik arızaların oluşması, üretimin azalmasına ve maliyetlerin artmasına neden olmakta olduğu bildirilmiştir. Bu yüzden, makinelerde titreşim ölçümüne dayalı kestirimci bakım önem kazanmaktadır. Bu yöntemde ana prensip, üretim esnasında yapılan ölçümlerle makinelerin performansını izlemek ve ne zaman bakıma alınacağına karar verip, kısa bir süre üretime ara vererek veya makinenin duruş zamanlarında, belirlenen arızayı gidermektir. Bu çalışmada, Afşin Elbistan B Termik Santralinde kullanılmakta olan egzoz fanı üzerinde kestirimci bakım uygulaması gerçekleştirilmiştir. Söz konusu sistemin elemanlarından fan ve motor yataklarında, toplam dört noktadan titreşim analiz cihazıyla ölçümler yapılarak, gerekli grafik analizler neticesinde sistemin arızaları belirlenmiştir. Mekanik sistemde gözlemlenen ve analiz sonucunda tespit edilen arızalar sırasıyla giderilmiştir. Her arıza giderildikten sonra tekrar ölçüm yapıldığında, titreşim değerlerinde büyük oranda azalma olduğu görülmüştür. Bu çalışmada olduğu gibi endüstride; seri üretim yapan işletmelerde kestirimci bakım yöntemi uygulanarak, makinelerde meydana gelebilecek arızalar oluşmadan tespit edilip gerekli müdahaleler yapılırsa, hem gereksiz makine duruşlarının ve titreşimden dolayı meydana gelebilecek üretim hatalarının önüne geçilebileceği, hem de işletmedeki bakım giderleri azaltılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Sivritaş (2013), Kayseri' de yapmış olduğu "Fosfat Sprey Pompasında Titreşim Esaslı Kestirimci Bakım Uygulaması" konulu çalışmasında; Boytaş A.Ş.' de kullanılmakta olan fosfat sprej pompasını referans almıştır. Pompa ve motor yataklarında toplam 3 noktadan yatay ve dikey olarak titreşim ölçümleri yapmıştır. Yapılan ölçümleri analiz etmiştir. Pompada gözlemlenen ve analiz sonucunda tespit edilen arızalar giderilmiştir. Arızalar giderildikten sonra titreşim ölçümleri tekrar edildiğinde titreşim genliklerinde büyük oranda azalma olduğu tespit edilmiştir. Makinelerde meydana gelen beklenmedik arızalar önemli kayıplara yol açmaktadır. Arızaların meydana gelmeden tespit edilmesi ve kontrollü şekilde müdahale

edilmesinde kestirimci bakım önemli ve etkin bir yöntemdir. Kestirimci bakım metodunda ana prensip çalışma esnasında yapılan ölçümlerle makinelerin performansının izlenmesi ve planlı şekilde üretime ara vererek arızayı gidermek olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Fielder ve Hiçbitmez (2014), Sakarya' da yapmış oldukları "Akışkan Durum İzleme Sistemlerinde Basınç ve Sıcaklık Dışındaki Bilgilerin Ölçümü ve Arıza Analizinde Kullanılması" konulu çalışmalarında; yağ analizinde yaygınlıkla bilinen partikül ölçümü dışında kullanılabilen ve birçok arızayı önceden tespit edilebilmesine yarayan yağda su tayini, toplam asit ölçümü, toplam baz ölçümü, viskozite ölçümü, toplam metal birikim ölçümü, FTIR Infrared Spektroskopi analizi gibi alternatifler ve bunların kestirimci bakım ve arıza giderme amaçlı kullanımı anlatılmıştır.

Günümüz endüstri tesislerinde ve OEM' lerde (makine imalatçıları), hidrolik ve yağlama Sistemlerinde kullanılan akışkanların, muhtelif şartlardan etkilenerek kirlenmesi sonucu sistemin performansını düşürmesi karşısında, kirliliğin ölçülmesi ve filtrasyon son derece önem kazanmıştır. Endüstrinin gelişmesi, otomasyona dayalı üretimi beraberinde getirmiştir. Üretimi sağlayan makinelerin verimini arttırmak, üretim kayıplarını azaltmak, ürün kalitesini birim maliyetleri azaltarak iyileştirmek tüm işletmelerin ana hedefleri olmuştur. Koruyucu ve önleyici bakım yöntemleri bu hedefleri gerçekleştirmek için geliştirilmektedir. Gözle görülemeyen partiküllerin sisteme verdiği hasarın görülmesi ile filtrasyonun önemi daha da fazla artmıştır. Bu büyüklükteki partiküller komponent arızalarına, planlanmamış duruşlara, yüksek maliyetlerde bakım ve stok harcamalarına neden olmaktadır.

Hiçbitmez (2014), İstanbul' da yapmış olduğu "Kestirimci Bakım ve Arıza Tespitlerinde Akışkan Analizinin Etkin Kullanımı" konulu çalışmasında; günümüz endüstrisinde, makine/ teçhizatın verimli, uzun süreli, hassasiyetini koruyarak çalışması için, bakım ve koruma anlayışında büyük değişimler olduğunu bildirmiştir. Yağ analizlerinin, tüm bu anlayışı destekleyen ve sistemin korunmasına yardımcı olan önemli unsurlardan biri haline geldiğini belirtmiştir. Hiçbitmez' e göre koruyucu ve önleyici bakım sistemlerini uygulayan işletmeler, hedef kirlilik seviyesine göre sistemlerinin durumunu periyodik olarak yağ kirlilik seviyelerini ölçerek kontrol etmeyi sağlarlar. Sistemlerde en büyük tahribata yol açan sistem arızalarının %85' i kirlilik kaynaklıdır. Yayınlanan raporlardan örnekler verirse: Elemanların %50' si aşınma

nedeniyle değiştirilme ihtiyacı duyar. (Dr. Rabinowicz, Massachusetts Inst. of Tech) Rapor edilen problemlerin %55 nedeni kirdir. (DTI Survey of Hydraulic Equipment) Akışkan analizlerin etkin kullanılması sayesinde; ani duruşların önüne geçilmesi, komponentlerin ömrünü uzatma, sıklıkla komponent değişimin önüne geçme, bakım maliyetlerini azaltma, makinelerde arıza oluşmadan önce müdahale ve önlem alınması, işletim hatalarını izleme ve ortaya çıkarma, zamanında yağ değişimi/ ilavesi, gereksiz yağ kullanımının azalacağından atık yağ oranında azalma, atık yağlarının oluşturduğu çevre sorunlarının azaltılmasına, ısı, enerji kayıplarında azalmaya katkıda bulunur. Toplam Akışkan Yönetmeliği; kestirimci bakım faaliyetlerinde yağlama ve akışkan kalitesini değerlendirmek için ölçüm ve kontrol cihazlarıyla kullanarak aktif ve problem çözümlerine müdahalesinin önemini göstermektedir.

Karadayı ve Yaman (2014), Ankara' da yapmış oldukları " Titreşim Analizi ile Pompalarda Arıza Tespiti ve Kestirimci Bakım İçin Örnek Bir Çalışma" konulu çalışmalarında; pompaların endüstride yaygın olarak kullanılmakta olduklarını özellikle sanayide birçok kritik noktada önemli fonksiyonlar üstlendiklerini, bu makinelerde meydana gelecek herhangi bir arızanın, işletmeler için beklenmedik üretim kayıplarına sebep olacağını ve yaşanan bu plansız duruşların işletme maliyetlerini arttıracığını açıklamışlardır.

Bu nedenle bu çalışmada işletme için kritik olan pompalar grubu öncelikle ABC (Pareto) analizi ile belirlenmiş ve kestirimci bakım yöntemlerinden biri olan titreşim ölçümü yöntemiyle bazı ekipmanlar üzerinden ölçümler alınarak ekipmanın titreşim seyri izlenmiştir. Ayrıca alınan ölçümler ile bu ekipmanların FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) spektrum analizi yapılmıştır. Sonuçta titreşim analizi ile ekipmanların arızı bir duruşa sebep olmadan önce arızalarının tespitinin yapılabildiği ve bazı arızaların birbiriyle ilişkili olabileceğinin belirlendiği uygulamalarla gösterilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

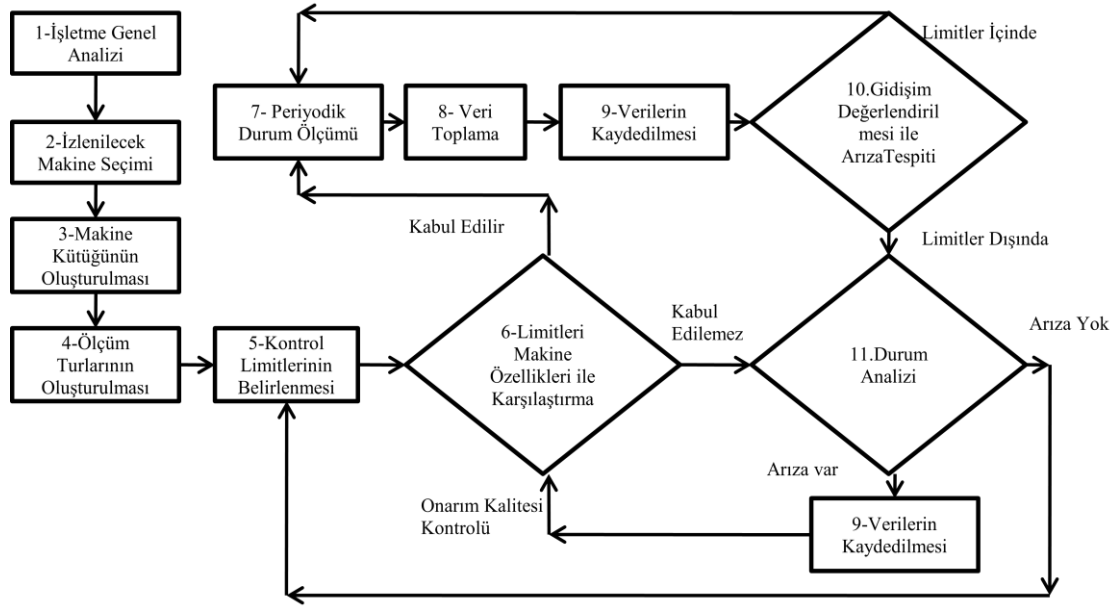
3.1.1. Kestirimci (Durum İzlemeye Dayalı) Bakım Kavram ve Teknikleri

Her geçen yıl kestirimci bakımın endüstrideki kabul edilirliliği artmaktadır. Kestirimci bakımın temeli hasar başlangıcındaki yada gerilim altındaki parçaları belirlemektir. Kestirimci bakımda temelde dört metot kullanılır:

- Titreşim analizi,
- Kızıl ötesi termografi,
- Yağ analizi (triboloji),
- Ultrasonik analizlerdir.

Yukarıdaki tekniklerin tümü bakım yapmanın gerekli olduğu zamanı belirlemede kullanılan veriler elde etmemizi sağlar, günümüzde en yaygın uygulanan metot titreşim analizidir. Bu metot kullanılarak yapılan ölçümlerde, makinelerin sabit titreşim frekansları olduğu baz alınır. Arıza yapacak makinelerde ise farklı bir titreşim frekansı ya da sabit bir frekansta farklı gerilmelere sahip olduğu bilinir. Makineler çoğunlukla mekanik özelliklere sahip olduğundan, titreşim ölçümü rutin izlemede ve yeni bir arızayı açığa çıkarmada etkilidir. Fakat bu yöntem yağ sızıntısı olan durumları, elektriksel arızaları ve ısı kaybı olan bölgeleri teşhis edememektedir.

Bu bakım metodunda asıl olan, üretim sırasında yapılan ölçümlerle makinelerin performanslarını izleyerek bakıma ne zaman ihtiyaç olacağına karar vermek ve kısa bir süre üretime ara vererek daha önceden tespit edilen arızayı onarmaktır. Üretim durdurulmadan kontrol ve ölçümler yapılır. Bu ölçümler değerlendirilerek makinenin çalışma koşulları hakkında bilgi elde edilir ve önceki ölçümlerle karşılaştırılarak mevcut ise arızanın gelişimi izlenir. Arızayı oluşturan sebepler belirlenir ve arıza teşhisi yapılır. Arıza teşhis edildikten sonra ise gerekli yedek parça temin edilir ve üretim durdurularak en kısa sürede bakım yapıp, tekrar üretime devam edilir. Kestirimci bakım akış şeması (Şekil 3.1.) ile faaliyetler daha düzenli bir şekilde planlanıp yürütülür.



Şekil 3.1. Kestirimci bakım akış şeması (Karadayı, 2011)

3.1.2. Kestirimci Bakımın Faydaları

- Denli (2007) tarafından bildirildiğine göre yenilikçi bakım sistemleri, klasik bakım ve önleyici bakım sistemlerinde olmayan birçok avantajı da beraberinde getirir. Bu yöntemleri kullanan endüstriyel tesislerde makine arıza oranlarında ortalama %55, bakım maliyetlerinde ise %50’ leri asan bir düşüş gözlenmiştir. Makine ömrü %20 ile %40 arasında artmıştır. Bununla beraber verimlilikte %30, karda ise %60’ lara varan bir artış kaydedilmiştir. Bu artışlar bir tesis için azımsanamayacak kazançlar anlamına geldiği Mobley (1990) tarafından belirtilmiştir.
- Makinelerin aktif olarak çalışma süreleri kesintiye uğramayacağından, makinenin kendini amorti etme süresi kılacak ve yatırımın geri dönüşü daha erken olacaktır.
- Arıza yapması muhtemel makine elemanları doğru olarak tespit edilebildiğinden, değişimi gerekmeyen sağlam makine parçalarından kaynaklı maliyetler ortadan kalkacaktır.
- Makinelerin çalışma süreleri ara müdahalelerle arttırılır ve onarım masrafları düşürülür. Arızalar oluşum aşamasında tespit edilerek gerekli işlem ve parça değişimleri yapılabilecektir.

- Kalyoncu (2004) tarafından optimal çalışma seviyesinin altındaki makine performansı kaliteyi düşürdüğünden, düşük kaliteden dolayı oluşacak müşteri memnuniyetsizliğini ve müşteri kaybını azalttığı bildirilmiştir.
- Makinelerin duruş zamanları planlı olacağından, beklenmedik arızaların giderilmesinden kaynaklanan ekstra maliyetlerin önüne geçilmiş olacak, bakım maliyetleri azalacak ve bu sayede üretim ve verimlilik artacaktır.
- Ortalama kalan kullanım ömrü tahmin edilebilen makine parçalarının stok seviyeleri azaltılabilecek bu sayede stokta tutulan fazla yedek parçadan kaynaklı maliyet azaltılacaktır.
- Makine parçası, bozulmadan önce değiştirileceğinden, çalışan personelin iş sağlığı ve iş güvenliği standartları arttırılacaktır.
- Denli (2007) tarafından sıkıştırılmış havanın endüstrideki en pahalı enerji türlerinden biri olduğu göz önüne alındığında, iletim sistemdeki kaçakların önlenmesi önemli bir görünmez gider kalemini ortadan kaldıracığı; zira, etkin olarak kontrol edilmeyen bir sistemdeki kaçaklar toplam basınçlı hava üretiminin %35' ine denk geldiği bildirilmiştir.
- Planlı duruşlar öncesi gerekli iş gücü, alet ve yedek parçalar hazırlanabilir.
- Elmacı ve Zİypak (1993) tarafından elde edilen veriler ile makine üreticileri tarafından makine performansları hakkında pratik sonuçlar çıkarılmasını sağladığı ve alıcı satıcı arasında bilgi akımı oluşturduğu, böylece aynı makinelerin yeni dizaynları çalışma şartlarına daha uygun hale getirilebildiği belirtilmiştir.
- Arızadan kaynaklanabilecek komplikasyonların önüne geçilir.
- Karmaşık arızalar genellikle diğer arızalardan daha çok maliyetlidir. Karmaşık makine arızalarını en aza indirir veya tamamen ortadan kaldırır. Böylece maliyeti düşürmüş olur.
- Kalyoncu (2004) tarafından makine performansını optimize ettiği, makinelerin her zaman tanımlandığı şekilde çalışmasını sağladığı bildirilmiştir.
- Verimsiz makine performansından kaynaklanan enerji tüketimini önler, enerji ihtiyacındaki maliyeti düşürür.
- Plansız duruşlardan kaynaklı teslimat gecikmelerinin önüne geçilerek hazırlanan üretim programının gerçekleşmesini sağlayarak böylelikle müşteri memnuniyeti arttırılır.

- Makineler sadece performansları optimal çalışma seviyesinin altında indiğinde tamir edilir. Bu sayede gereksiz makine tamiratını ve bundan kaynaklı duruşlarının önüne geçilir.
- Yanlış arıza tespitini minimuma indirir veya tamamen ortadan kaldırır.
- Optimal çalışma şartlarının altında çalışan makinenin sebep olduğu fazladan çalışma süresinin ve bundan kaynaklanacak maliyetin önüne geçilir.
- Düşük performanslı makinenin sebep olduğu üretim firesi azalır böylece oluşacak ürün kayıpları için gereken fazla mesaiyi ve maliyetin önüne geçilir.
- Makinenin değişmesi gereken parçaları, makine çalışmadığı zamanlarda planlanabilir böylece faydalı çalışma süresi arttırılabilir.
- Ekipmanın gerçek mekanik performans verileri ile çalışma imkanı sağlar.
- Ekipmanın ömrünün uzamasına yardımcı olur.
- Teknik personel ihtiyacını azaltır.

3.1.3. Kestirimci Bakım Yöntemleri

Kestirimci bakım yöntemi, makine çalışırken makine parçaları üzerinden alınan ölçüm değerlerinin, performans bilgilerinin makine üretici firmaların belirlediği sınırlar dahilinde karşılaştırılması ve uzun yıllar istatistiksel olarak tecrübe edilerek değerlendirilip elde edilen verilere göre alınması gereken önlemlerin tespiti ilkesine dayanır. Yağ analizi, kızılötesi termografi, ultrasonik testler ve titreşim ölçümü ve analizi en yaygın kullanılan kestirimci bakım metotları olup, aşağıda örnekleriyle birlikte açıklamalı olarak sunulmuştur.

3.1.3.1. Yağ Analizi

Yağ kalitesinin düşmesi ile makine parçalarının üzerinde çalıştığı 10 mikronluk yağ tabakasında azalma olur. Bu da makine parçalarında çeşitli aşınmalara neden olur. Yağ analizi ile yağ kalitesi ölçülür ve yağ numunesi içinde bulunan metal talaşının incelenmesi ile hangi parçalar üzerinde aşınmaların olduğu tespit edilir. Yapılan parçacık sayımı ile makinedeki aşınma, sürtünme ve filtre arızaları tespit edilebilir. Metal parçacık sayımı yapılarak; tespit edilen parçacıkların keçe parçası mı, kir mi yoksa aşınma sonucu oluşan metal parçacıkları mı olduğu anlaşılır ve buna göre arıza tespiti ve kaynağını bulma işlemleri çok daha kolay yapılır. Metallerin birbirine

sürtünmesinin temel nedeni düşük viskozitedir. Bu periyodik olarak izlenir, böylece içindeki çeşitli parçalar ve su miktarı bilinerek yağın kimyasal yapısı takip edilir ve yağ özelliklerini kaybetmeye başladığı anda bir arıza kaynağı (keçe yırtılması, filtre arızası, yağa soğutucu karışması vs.) tespit edilmişse yağ değişimi ya da arızanın giderilmesi için makinenin bakımı yapılır.

Yağ analizinde yapılan parçacık sayımı ile makinedeki filtre arızaları, aşınma ve sürtünme gibi problemler tespit edilebilir. Eğer metal parçacık sayımı da yapılırsa, tespit edilen parçacıkların kir mi, yoksa keçe parçacıkları yada aşınma sonucu oluşan metal parçacıkları mı olduklarını kolaylıkla belirlenebilir ve arıza kaynağının çok daha çabuk bir şekilde tespiti sağlanabilir, metalin metale sürtmesinin temel nedeni olan düşük viskozite periyodik olarak izlenebilir, yağın içindeki kesif parçalar ve su miktarı belirlenerek yağın kimyasal değerleri takip edilir ve özelliklerini kaybetmeye başladığı noktada, bir arıza kaynağı tespit edilmişse (filtre arızası, keçe yırtılması, yağa soğutucu karışması vs.) yağ değişimi ve/ veya arızanın giderilmesi için planlama yapılarak makine bakıma alınır (Köse, 2005).

Yağ analizi sadece kullanılan yağa yapılmamalıdır. Çoğunlukla, işletmeye yeni giren yağın temiz ve standartlara uygun olduğu gibi bir kabul yapılır, ancak bu kabul son derece tehlikeli ve yanıltıcıdır. Gelen yağın uygun özelliklerde ve temiz olup olmadığının anlaşılması için, ilk girişte yağdaki parçacık sayımı yapılmalı, nemi ve viskozitesi kontrol edilmelidir. Aynı şekilde, stokta bekleyen yağlar da düzenli olarak kontrol edilmelidir. Bununla birlikte, yapılan rutin kontrollerle makinelere hatalı yağ eklenmesi, sistemdeki keçe ve sıyırıcıların düzgün çalışmaması yada aşınması sonucu sisteme su veya pislik girmesi, bakımı yapılan, yeni ya da tamir edilen makinelerin haznelerindeki yağın parçacıktan arınmamış veya kirli olması gibi problemlerin önüne geçilir (Denli, 2007).

Şirketlerin birçoğu yağ analizini titreşim izlemeye ekleyerek kendi durum izleme programlarını iyileştirmişlerdir. Bunun gibi birkaç titreşim durum izleme firması yağ analizi cihazı, servisi ve veri yönetimini şirketlerin kullanımına sunmuştur. Bu birleşme ile durum izlemesi yapan kişi ekipmanın çalışma koşulları ile ilgili daha fazla fikir sahibi olabilmekte ve bu yüzden etkili kararlar ve tavsiyeler için daha iyi bir konumda olmaktadır. Titreşim ve yağ analizi birbirini tamamlamaktadır. Bir arada kullanıldıklarında biri diğerine yardımcı olabilir. Örneğin titreşim analizi bir rezonansı

teşhis edebilir. Fakat bu yağ analizinin yeteneğinin ötesindedir. Benzer olarak titreşim analizi yağ analizinin hem aşınmayı tespit etmede ve hem de özel arızaların şiddetinin belirlenmesinde tek çözümün olduğu yerlerde yağ ile yağlanan kaymalı yataklarda aşınmanın tam olarak algılanmasında başarılı değildir. Tüm analiz teknikleri aynı problemi gösterdikten sonra teşhis ve öneriler nadiren hatalı olmaktadır (Orhan, 2009).

Pale Verde Nükleer Üretim Fabrikası' nda Bryan Johnson ve Howard Maxwell tarafından sunulan Integration of Lubrication and Vibration Analysis Technologies adlı makalede iki analiz tekniğinin bir arada kullanımı incelenmiştir. Bu makalede iki tekniğin özellikleri ve bunların kombine etkisinin nasıl daha etkili olduğu açıklanmıştır (Çizelge 3.1.), (Orhan, 2009).

Çizelge 3.1. Yağ analizindeki koşulların karşılaştırılması (Orhan, 2009)

Koşul	Yağ Programı	Titreşim Programı	Korelasyon
Yağ ile yağlanmış sürtünmesiz yataklar	Verimli	Verimli	Yağlama analizi arıza başlangıcını algılayabilmektedir. Titreşim ise arıza kademe bilgisini geç ve verimli olarak verebilmektedir.
Yağ ile yağlanmış kaymalı/ eksenel yataklar	Verimli	Vasat	Yağ ovalama içerisinde veya gevşeklik koşulundan dolayı aşınma kalıntıları oluşacaktır.
Ekipmanın dengesiz Olması	Uygulanamaz	Verimli	Titreşim programı dengesizliği algılayabilir. Sonuç olarak yağ analizi artan yatak yükünün etkisini gösterecektir.
Yağda su bulunması	Verimli	Uygulanamaz	Su hızlı arızalanmaya neden olabilir. Bu aylık gelişigüzel yapılan titreşim taraması ile tespit edilir.
Greslenmiş yatak	Vasat	Verimli	Rutin greslenmiş yatak analizi için titreşim izlemeyi ekonomik hale getirmektedir. Yağ laboratuvarlarının birçoğu greslenmiş yataklar ile ilgili bilgi vermek için yeterli deneyime sahip değildir.

Çizelge 3.1. (Devam) Yağ analizindeki koşulların karşılaştırılması (Orhan, 2009)

Koşul	Yağ Programı	Titreşim Programı	Korelasyon
Greslenmiş motorlu Valfler	Vasat	Verimsiz	Nükleer enerji sektöründe aktüatörler önemli ekipmanlardır. Gres örnekleri hemen test edilebilmelidir. Fakat uygun bir örneğin alınması zor olmaktadır. Ayrıca bu valfleri çalışır vaziyette bulmak zor olabildiğinden titreşim teknikleri ile izlenmesi zor hale gelmektedir.
Mil kırılmaları	Uygun değil	Verimli	Titreşim analizi kırılmış bir milin izlenmesi için çok etkili olabilmektedir.
Dişli aşınması	Verimli	Verimli	Titreşim teknikleri ile herhangi bir dişlideki arıza tespit edilebilir. Yağ analizi ile arıza modunun tipi tahmin edilebilir.
Ayarlama	Uygun değil	Verimli	Titreşim programı ile ayarsızlık durumu tespit edilebilir. Yağ analizi artan/ uygun olmayan yatak yükünün etkisini gösterebilir.
Yağlayıcı durumunun İzlenmesi	Verimli	Uygun değil	Yağlayıcı arızanın önemli bir nedeni olabilmektedir.
Rezonans	Uygun değil	Verimli	Titreşim programı ile herhangi bir rezonans durumu tespit edilebilir. Yağ analizi bunun etkisini gösterecektir.
Köken nedenli analiz	Verimli	Verimli	Her iki programın birlikte yürütülmesi en iyisidir.

Yağları, motor yağları ve hidrolik yağlar olarak ikiye ayrılır. Hidrolik yağlarda yanma sonucu herhangi bir kimyasal değişim olmazken motor yağlarında yanma sonucu kimyasal değişimler olur.

Motor yağlarının analiz sonuçlarına göre sağlıklı yağ kullanımı ile motor ömrü uzatılır ve motor problemleri, çok daha ciddi boyutlara ulaşmadan önceden fark edilebilir. Motor yağı analizlerinde temelde su özelliklere bakılır.

3.1.3.1.1. Motor Yağı Analizi

Motordan periyodik aralıklarla alınan yağ numuneleri analiz edilerek olası arızalar önceden tespit edilebilmektedir. Motor yağ analizinde; yağın viskozitesi, toplam baz numarası, yağın durumu ve yağın aşınma miktarı kontrol edilir.

Viskozite (Akmazlık): Akışkanlığa karşı direnç. Bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Motor yağının bozulmaya başladığını gösteren temel göstergelerdendir. Genellikle 37 °C' deki SUS (Saybolt Universal Seconds) birimi ile gösterilir. Viskozitedeki %.25' lik artış, yağın kullanılabilir ömrünün tamamlandığının gösterir.

Toplam baz numarası (TBN): Bu sayı yağın korozyona neden olan asitleri absorbe edebilme yeteneğinin ölçüsüdür (Anonymous, 2014-b). Bir gram numunede bulunan tüm bazik bileşenleri nötrlemek için miligram olarak ifade edilen gerekli asit miktarıdır. Birçok yağda yağın kullanım süresini ve özelliklerini arttırıcı katkı maddeleri bulunur. Her yağın kendine özel formülü olduğundan TBN analiz sonuçları yağın bilgi formundan kontrol edilerek değerlendirilir. Yağın bilgi formunda belirtilen değerlerden %50' lik bir azalma, yağın deforme olmaya başladığını gösterir.

Yağ durum analizi: Yağ durum analizi, analiz işleminin büyük bir bölümünü oluşturur. Yağdaki değişimleri inceleyerek, makinenin mekanik aksamında oluşabilecek olası hasarları önceden tespit etmeye yardımcı olur. Oksijene maruz kalma, kirlenme ve ısınması yağın bozulmasına neden olur. Kullanılacak her yağ kullanmadan önce analiz edilmeli ve elde edilen veriler kayıt altına alınmalıdır. Alınan numunelerin analiz sonuçları bu verilere göre böylelikle değerlendirilmelidir. Yağ durum analizi ile kullanılan yağın anlık durumu ile ilgili bilgi elde edilir. Yağ durum analizi ile incelenen motordaki kurum, oksidasyon, nitrasyon ürünleri, sülfür ürünleri, antifriz, su ve yakıt parametreleri ve bu parametreler nedeni ile meydana gelebilecek arızalar aşağıda belirtildiği gibidir.

Kurum: Motor yağında yanmayan yakıtın çözünemeyen atıklarından kaynaklı olarak bulunur ve tam olarak yanamayan yakıtın çözünemeyen artıklarıdır. Yüksek sertlikteki kurum hareketli parçalarda sürtünmeyi arttırarak aşınmaya sebep olur.

Oksidasyon: Kimyasal proses; bir maddenin oksijen ile reaksiyonudur. Proses ısı, ışık, katalizörler, su, asitler veya katı parçacıklar ile hızlandırılır. Yağlayıcının

koyulaşmasına, viskozitesinin artmasına ve reçineleşmesine yol açar (Anonymous, 2014-ç), bunun sonucunda yağlanma kalitesi azalarak motorun ömrü kısılır.

Nitrasyon ürünleri: Bütün motor yağlarında, yanma ürünlerinin yanması sonucunda nitrasyon ürünleri oluşur. Nitrasyon bileşikleri yağı incelterek yağlama yeteneğini azaltır.

Sülfür (Kükürt) ürünleri/ asitler: Yakın içerisinde belli miktarda sülfür (kükürt) bulunur. Yanma sırasında oksitlenerek suyla karışır ve sülfürik asit meydana gelir. Sülfürik asit motor parçalarının aşınmasına sebep olur.

Antifriz: Antifriz, yağın oksitlenmesine neden olur ve genellikle soğutma sistemindeki bir kaçağı işaret eder. Yağda antifrizin varlığı kabul edilemez.

Su: Yağlar ortalama olarak içlerinde %1 kadar yağ çözebilirler. Eğer analiz sonucunda, yağda su olma ihtimali tespit edilirse, hot plate metodu ile yaklaşık su miktarı belirlenir. Su miktarının %0.5' in üzerinde olması aşırı yüksek seviye olarak kabul edilir.

Yakıt: Yağa yakıt karıştığı, "flash test" kullanılarak doğrulanır. Yağa yakıt karışması genellikle yanlış ateşleme zamanı, motorun uzun süre rölantide çalışması, hasarlı enjektör, pompa veya yakıt borularından kaynaklanır. (Flash Test: Yağların, parlama ve yanma noktalarını belirleyen testtir. Bu değerler, çalışma güvenliği açısından önemlidir.)

Aşınma miktarı analizi: Aşınmış metal parçalarının analizi hangi motor parçasının arızalandığı konusunda bilgi verir. Birçok testte, 10 mikron büyüklüğe kadar olan bakır, demir, krom, kursun, alüminyum, molibden, silikon ve sodyum elementlerinin varlığı araştırılır. Yağ içindeki elementlere bakılarak motor elemanlarındaki aşınmalar tespit edilir (Anonymous, 2014-ğ). Endüstriyel hidrolik yağlarda ise yapılan yağ analizleri ile tezgâh ömürleri uzatılır, duruşlar azaltılır ve bunun sonucunda da verim artar. Hidrolik yağ analizlerinde temelde su özelliklere bakılır.

3.1.3.1.2.Hidrolik Yağ Analizi

Hidrolik sistemlerden periyodik aralıklarla alınan yağ numuneleri analiz edilerek olası arızalar önceden tespit edilebilmektedir. Hidrolik yağ analizinde; yağın viskozitesi, toplam asit numarası, su miktarı ve parçacık sayımı kontrol edilir.

Viskozite (Akmazlık): Akışkanlığa karşı direnç. Bir akışkanın, yüzey gerilimi altında deforme olmaya karşı gösterdiği direncin ölçüsüdür. Akışkanın akmaya karşı gösterdiği iç direnç olarak da tanımlanabilir. Hidrolik yağın viskozitesindeki değişimler, yağın durumu hakkında bilgi verir. Viskozitede oluşacak %10 seviyesindeki bir artış, yağın ömrünü tamamladığını gösterir.

Toplam asit numarası (TAN): Bir gram numunede bulunan tüm asidik bileşenleri nötrlemek için miligram olarak ifade edilen gerekli baz miktarıdır. TAN ve pH sıcaklıkla birbirleri ile karıştırırlar. Kavramlar birbirine çok yakındır. pH göreceli asit kuvveti, TAN ise kuvvetle ilgisi olmaksızın toplam asit miktarıdır. Yağın oksidasyon ürünü zayıf asitler pH' ı önemli derecede etkilemezler (Anonymous, 2014-ç).

Su miktarı: Hidrolik sistemlerin en büyük problemlerinden biride yağa su karışmasıdır. Su sadece kötü bir yağlayıcı değil, aynı zamanda korozyon hızlandırıcıdır. Petrol türevi birçok yağın %1 oranında su çözebilme kapasitesine sahip olduğu göz önüne alınırsa, %0.2 uygun bir uyarı noktası olarak gösterilebilir.

Parçacık sayımı: Bir sistemin sağlıklı çalışması için temel koşul yağın temiz olmasıdır. Bir yağ her ne kadar temiz görünse de, içinde barındırdığı küçük parçacıklar, sistemin aşınmasına, veriminin ve performansının düşmesine neden olur. Parçacık sayımı, 2 ile 100 mikron arasındaki tüm parçaları sayarak gruplandırır ancak metal olup olmadıklarını tespit edemez. Bu sebeple genellikle aşınma miktarı analizi ile birlikte kullanılır ve yağdaki hortum, conta, o-ring, keçe vs. parçacıklarının tespitinde son derece etkili bir araç haline gelir.

3.1.3.2. Akışkanları Ayırt Etmede Kullanılan Fiziksel Testler

Akışkanları ayırt etmede kullanılan çok fazla sayıda ve çeşitte test vardır. Bunlardan görsel ve fiziksel testler ile metal aşınma analizi en yaygın kullanılan metotlardır. Satıcı ve üreticiler tarafından kullanışlı, ekonomik ve daha doğru sonuç verenler tercih edilmektedir.

3.1.3.2.1. Görsel ve Fiziksel Testler

Akışkanların görsel ve fiziksel olarak test edilebilmesi için bakılması gereken özellikleri; görünümleri, kokuları, viskoziteleri, su içerme durumları, kurutma kağıdı ve parçacık sayımı test sonuçlarıdır.

Görünüm: Yağın durumu ve kirliliği ile ilgili birçok ipucu verir. Sonuçlar sübjektiftir fakat temizken koyu olan yağda sonuç vermesi çok zordur. Yağdaki parçacık cinsini ve kirlilik seviyesini veremez. Yapılabilecek en kolay testlerden birisidir.

Koku: Yağların kendilerine özgü ayırt edici kokuları yoktur. Yağdaki normal dışı kokular yağın bozulmaya başladığı anlamına gelir.

Viskozite (Düşen kütle testi): Yağ analizinde yapılan en önemli testlerden birisi olan viskozite testinde yanılma genellikle %1' dir. Viskozitesi bilinen bir yağ ile bilinmeyen bir yağ iki ayrı özdeş kaba konulur ve içine atılan bir kütle ile test yapılır. Düşen kütlelerin gözlemlenmesi sonucunda kütleler arası mesafe viskozitenin hesaplanmasında kullanılır.

Kurutma kağıdı testi: Karterlerdeki yada çamur oluşumunu tespit etmek için kullanılır.

Su içirme (Çatlama testi): Bu test son derece sübjektiftir fakat yağdaki su miktarı tam olarak hesaplanamaz. Normalde yağ içerisindeki su (yaklaşık %0.1) kendini fazla belli etmez, ancak 120-125 °C' deki sıcak bir yüzeye damlatılırsa, çatlama sesine benzer bir ses çıkartarak hızla buharlaşır.

Parçacık sayımı (Benek testi): Parçacık sayımında kullanılan en basit testlerden birisidir. Bu testle parçacık boyutu ortaya çıkar ancak kompozisyonu tam olarak belirlenemez. 100 ml hacmindeki yağ, standart boydaki filtre kağıdından geçirilir ve kağıt kurutulularak oluşan benek, parçacık seviyesi bilinen başka bir resimle karşılaştırılarak test gerçekleştirilir.

3.1.3.2.2. Metal Aşınma Analizi

Atomik soğurma ve emisyon spektrometresi olmak üzere aşağıda sunulan iki farklı yöntem ile metal aşınma analizi yapılır

Metal aşınma analizi (Atomik soğurma yöntemi): Metal parçacıkların ne kadar enerji soğurduğunu bulmak için yağ örneği yüksek sıcaklıklarda yakılır. Analiz edilen her metal için örnek, kalibreli cihazdan geçirilir. Bu metot çok zaman alır ancak doğruluk oranı çok yüksektir.

Metal aşınma analizi (Emisyon spektrometresi yöntemi): Bu metotta yağ örneği yüksek sıcaklıklarda yakılarak cihaz ışınım seviyeleri ölçülür. 18 farklı aşınma parçası için ölçüm yapılabilir, analiz süresi kısadır (Hancı, 2009).

Yağda bulunan parçacıkların boyutları, yüzey alanları, sertlikleri, yoğunlukları, şekilleri, kompozisyonları, kutupsallıkları ve manyetik etkilenebilirlikleri yağ analizi yapanlar için son derece önemlidir.

Hancı (2009) tarafından uygun sertlik ve ebattaki bir parça makine için potansiyel bir tehlike olduğu bu özellikteki her bir parça, makinede oluşturabileceği hasar miktarını doğru orantılı olarak arttıracığı, bir parça, yüzeyde kendi kütlesinin 4-10 katından daha büyük parçaları harekete geçirebileceği bunun da filtre sistemi yerine sıçrama ve banyo tarzı yağlama sistemi kullanan makinelerde riski daha fazla arttırdığı bildirilmiştir. Ayrıca analizi yapılacak örneklerin alındıkları zaman, örnekleme periyodu, örnekleme yerleri, alınma teknikleri ve dokümantasyonu oldukça önemli olduğu, yağ analizi için örnekler genelde makine çalışırken yada durdurulduktan hemen sonra alındığı bu sayede yağ içinde taşınan aşınmış parçalar ve kirler tabana çökmemiş ve yağa karışmış su ile soğutma sıvısı yağdan ayrılmamış olduğu bildirilmiştir.

Yağ analiz periyotlarının belirlenmesinde 3 temel teknik vardır. Bunlar; problem oluşunca örnekleme, kontrol için rastgele örnekleme ve trend analizi için örneklemedir. Maliyet göz önünde bulundurulduğundan, bu metotlardan problem oluşunca örnekleme en sık tercih edilendir (Hancı, 2009).

Yağ analiz sonuçlarını etkileyen en önemli etkenlerden birisi de numunelerin alınma şekilleridir. Bu sebeple yağ numuneleri alınırken, numune kabına maksimum bilgi alınacak ve dış etkilere minimum seviyede etkilenecek şekilde olmalıdır. Özellikle şantiyeler, maden bölgeleri, dökümhaneler, rüzgârlı sahalar ve yere yakın örnek alma noktaları gibi yüksek riskli yerlerden alınan örneklerin tozla kirlenmemiş olduğundan emin olunmalı, gerekirse birden fazla örnek alınmalıdır.

3.1.3.3. Kızılötesi Termografi

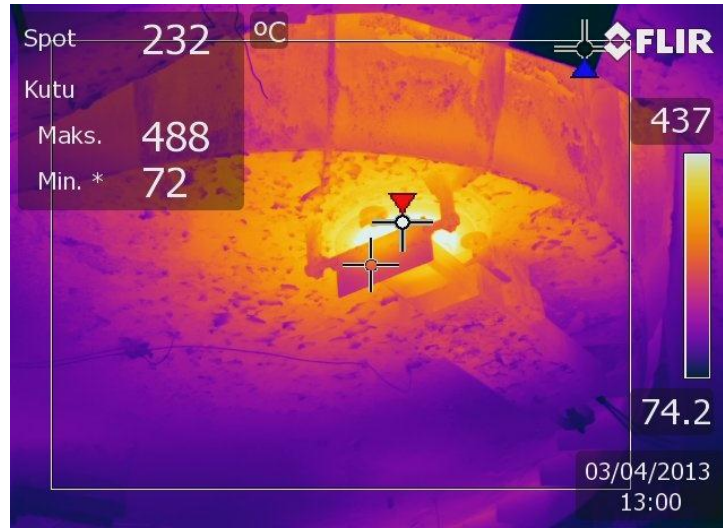
Termografi, kızıl ötesi ısı ölçüm yöntemi olarak tanımlanabilmektedir. Çeşitli sistemlerdeki sıcak bölgelerin izlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Termografi, sıcak bölgelerin fazla olduğu enerji santralleri, fırınlar ve boyler gibi çeşitli ısıtma sistemlerinde tercihen kullanılır. Sıcaklıklardaki değişimler, ölçüm cihazları ile tespit edilir. Bu değişimlerin eğilim analizleri yapılır. Sistemin çalışmasını engelleyecek ve hasar verecek bir sıcaklık sınır seviyesi önceden tespit edilmektedir. Sıcaklık verilerinin

bu sınır seviyeye yaklaşması tespit edildiğinde, bir bakım programı hazırlanarak planlanan bir zaman zarfında sisteme müdahale edilir (Feyzullahoğlu, 2001).

Denli (2007) tarafından pek çok elektriksel ve mekanik arızanın önceden yakalanmasına yardımcı olduğu, kızıl ötesi ışınların dalga boyu büyüklükleri 0,75 ile 1000 mikron arasında olduğu bildirilmiştir. Göz ile görülemezler fakat sıcaklık ile hissedilebilirler. Bu ışınlar günümüzde teknolojiye gelişmeler sayesinde üretilen termal kameralar aracılığı ile fotoğraflanabilmekte yani görülebilir hale getirilmiştir. bu görüntüler bize makinelerin, kabloların, yalıtım malzemelerinin ve bunun gibi pek çok şeyin durumu hakkında bilgi edinmemizi sağlar.

Termal kameralardan alınan görüntüler soğuk bölgeler siyaha yakın ve siyah, ısı arttıkça ise beyaza yakın ve beyaz bir renk almaktadır. Termal kameralar sadece görüntünün dış yüzeyindeki ısıyı algılayabilir, maddenin iç ısını göremez ve dış çevre ile aynı ısıda olan bir cismin termal kamerada görüntüsü oluşmaz.

Şekil 3.2.' de soğuk bölgeler daha koyu olan renklerle, sıcak bölgeler ise açık sarı ve beyaza yakın renklerle görüntülenir. Bu fotoğrafa bakarak döküm potasındaki hasarlı bölgeler hakkında yorum yapılabilir.



Şekil 3.2. Bir döküm potasının termal kamera ile arıza analizi

Elektrik ve elektronik devre bileşenleri, elektrik sistemleri ve demir çelik sanayisinde yıllardır arızaların tespitinde kullanılan fakat pahalı bir metottur. Son yıllarda kullanımı yaygınlaşan el tipi termal kameralar (Şekil 3.3.), makinelerde

arızalara yol açabilecek problemlili bileşiklerin sıcaklık artışını tespit edip iki boyutlu fotoğrafını çekerek, gerekli değişimlerin yapılması için doğru bir bakım planı yapılmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.3. Termal kamera ile görüntü alma (Anonim, 2014-g)

Hancı (2009) tarafından termografi yönteminin avantajları aşağıdaki gibi bildirilmiştir.

- Kontrol edilecek yüzeylere temas edilmesine gerek yoktur.
- Kontrol esnasında tehlike yaratabilecek hiçbir aktivite yoktur.
- Sıcaklık artışları şekilsel olduğundan yorum kabiliyeti verir.
- Elektromanyetik dalgalardan etkilenmez.
- Sistem çalışırken kolaylıkla kullanılabilir.
- Sağladığı bilgiler kesindir.
- Yorumlanması vibrasyon gibi uzmanlık gerektirmez.

Termografinin kullanım alanları: Termografi sıcaklık üretebilen tüm proseslerde yararlanılabilecek bir metot olduğundan kullanım alanlarının kısıtlanması doğru değildir. Termografinin kullanılması bakım ve işletme yönetimlerinin yaratıcılıklarına kalmış olsa da fikir vermek amacı için en yaygın kullanım alanlarından bahsetmek yararlı olacaktır. Genel kullanım alanları; elektrik yükü, elektrik direnci, harmonik etkiler, sürtünme, elektrik motorlarının muayenesi, indüksiyon ısınması, izolasyon aşınması, kaplin ayarsızlığı, pistonlu kompresörler, yetersiz yağlama, güç aktarma

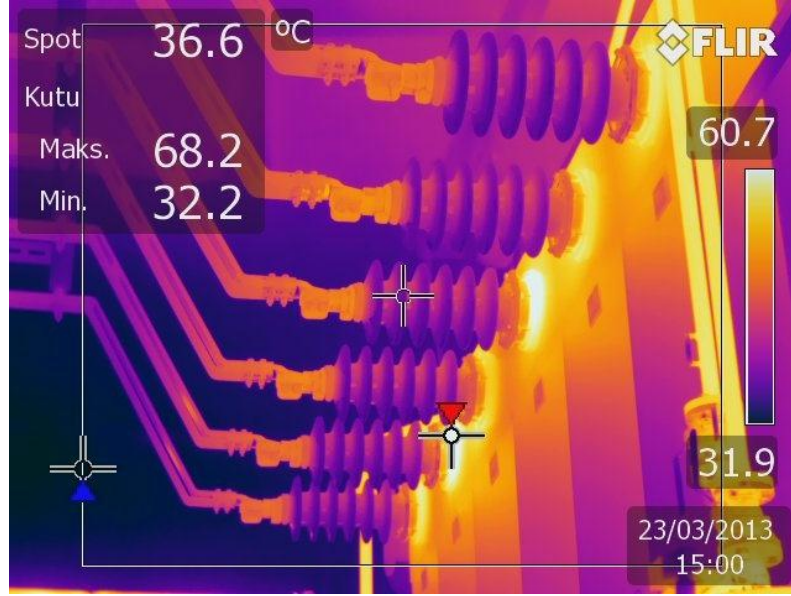
organları, vanalar ve hatlar, depolama tanklarının kontrolü gibi uygulamalar olup aşağıda örneklendirilerek sunulmuştur.

Termografi diğer kestirimci bakım yaklaşımları gibi düzenli sistem kontrolü ile başarıya ulaşabilecek bir çalışmadır. Bakım yönteminin kontrol edilmesini öngördüğü sistemlerin düzenli kontrol edilmesi gerekir. Kontrol periyotları sistemin gereksinimlerini karşılayacak şekilde belirlenmelidir. Önemli bir elektrik motorunun her gün kontrol edilmesi gerekebilirken, bir buhar hattı izolasyonu 6 ayda bir termografi kontrolü gerektirebilecektir (Hancı, 2009).

Elektrik yükü: Enerji iletim problemi, bir ayak üzerindeki düşük voltaj veya motor sargılarındaki izolasyon rezistansının kaybolması gibi farklı nedenlerden dolayı elektriksel yük dengesizlikleri meydana gelebilir. Tam verimli çalışmayan herhangi bir elektrik bileşeninin çektiği akım, akımdan dolayı ise sıcaklığı artır. Küçük bir voltaj dengesizliği dahi bağlantıların kötüleşmesine, motorlar ve diğer yükler aşırı akım çekerken beslenen voltajın miktarının azalmasına ve (ilişkili mekanik gerilim ile birlikte) daha düşük moment değerlerinin iletilmesine ve kısa bir süre sonra da arızaya neden olabilir. Ciddi bir yük dengesizliği bir sigortayı attırarak operasyonların tek bir faza kaydırılmasına neden olabilir. Bu arada dengesiz akım nötr üzerinden dönerek tesisin pik elektrik kullanımından ötürü para cezası almasına neden olacaktır. Yük artışı bazı bileşenler üzerinden ölçümle tespit edilebileceği gibi, kontaktör yada motorun tamamının termal olarak görüntülenmesi ile de tespit edilebilir.

Elektrik direnci: Elektrik bileşenlerinin en fazla gücü en az kayıp ile transfer edebilmek için düşük dirençli tasarlanır. Elektrik bileşenleri kullanılmaya başladığı andan itibaren dirençlerinin artmaya başlaması, termografi yönteminin elektrik sistemlerinin arızalarının incelenmesinde uygulanabilir olmasını sağlar. Gevşek, kirlenmiş ya da paslanmış bağlantılarda direncin oluşturduğu sıcaklık artışları gözlemlenir.

Elektrik bağlantılarının gevşekliğinin (Şekil 3.4.) sebebi bir devre üzerindeki yüklenme, vibrasyon, yorgunluk veya yağ kalıntısından hangisi olursa olsun, çevresel koşullar bunların paslanma sürecini hızlandırabilir. Bütün elektrik bağlantılar zaman içinde arızalanmaya giden bir yol izleyecektir. Bu noktalar bağlantı klemensleri olabileceği gibi, şalterlerin ve devre elemanlarının iç bağlantıları da olabilir.



Şekil 3.4. Elektrik trafosu izolatör bağlantılardan birinde gevşeklik olması durumu

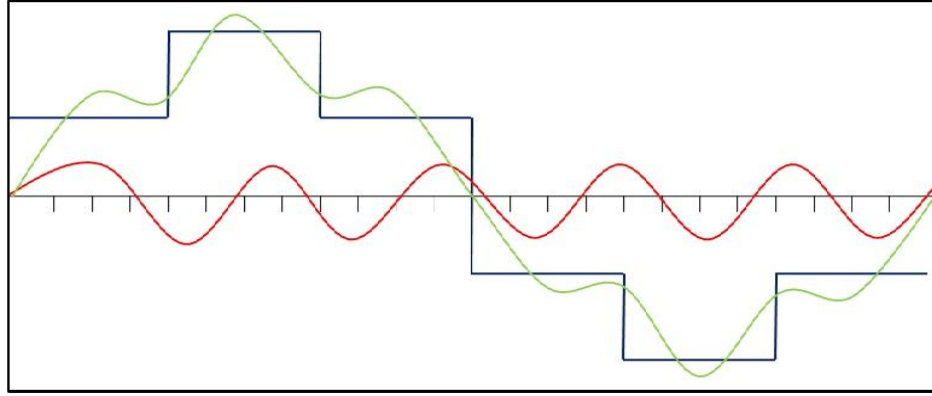
Uluslararası elektrik testleri birliği (NETA) tarafından yayınlan kılavuzlara göre, benzer yükler altında çalışan benzer bileşenler arasındaki sıcaklık farkı 15 °C' yi aşarsa derhal gerekli onarım faaliyetlerine başlanmalıdır. Aynı kılavuza göre ortam sıcaklığı ile bileşen arasındaki sıcaklık farkı 40 °C' yi aştığında yine gerekli bakım çalışmaları yapılmalıdır (Denli, 2007).

Hancı (2009) tarafından elektrik sistemlerinde sıcaklık artışı sağlayabilen olumsuzlukların termografi ile tespit edilebildiği bildirilmiştir. 3 fazlı sistemlerde uygun olmayan sıcaklık dağılımı fazlarda dengesizlik olduğunu gösterebilir. Hatlardaki aşırı akım problemleri tespit edilebilir. Trafolardaki ısınma problemleri tespit edilebilir. Kapasitör, izolatör, tristör gibi elemanlarda ısınma kontrolü yapılabilir. Akım ve direnç kontrolü yapılabilir.

Harmonik etkiler: Elektronik sistemlerde, aletlerin çalışma prensiplerine bağlı olarak bir çok yüksek frekanslı sinyal oluşur. Bazı durumlarda oluşan bu sinyaller harmonikler oluşmasına, dolayısı ile iletkenlerde ve bağlantılarında bölgesel sıcaklık artışlarına neden olabilir.

Harmoniklerin sinüs dalgaları üzerine olumsuz etki ederler (Şekil 3.5.). Harmoniklerden kaynaklanan olumsuzlukların tesisler için hem teknik hem ticari açıdan birçok etkisi vardır. Bu etkilerin doğru şekilde analiz edilip anlaşılması, hem tesislerdeki işletme devamlılığı açısından hem de tesislerin ulusal ve uluslararası

yönetmeliklere uyumu açısından kritik öneme sahiptir. Harmoniklerin bulunduğu sistemlerde, normal şartlar altında saf sinüsoidal formda olması beklenen akım ve gerilim dalga şekilleri bozulurlar.

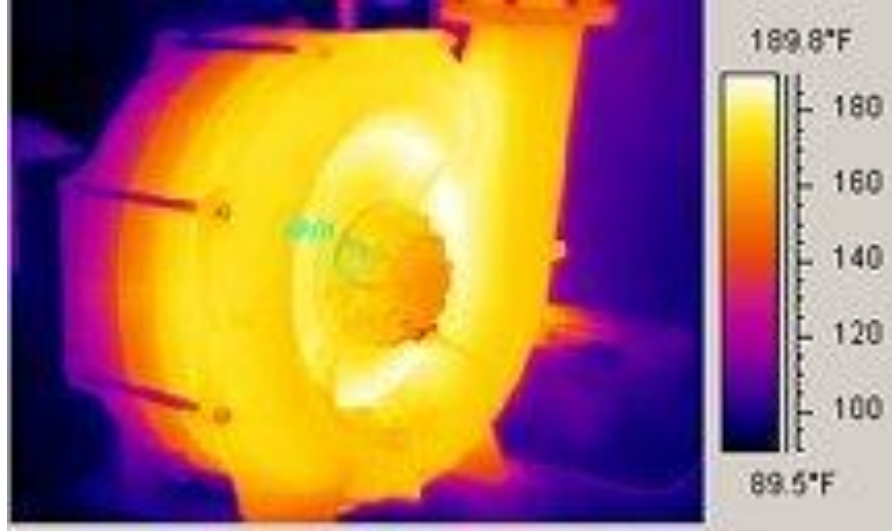


Şekil 3.5. Harmonik etkilerin sinüs dalga boyu üzerindeki etkileri (Anonim, 2014-ç)

Dalga şeklinin bozulmasının genel olarak beraberinde getireceği problemler;

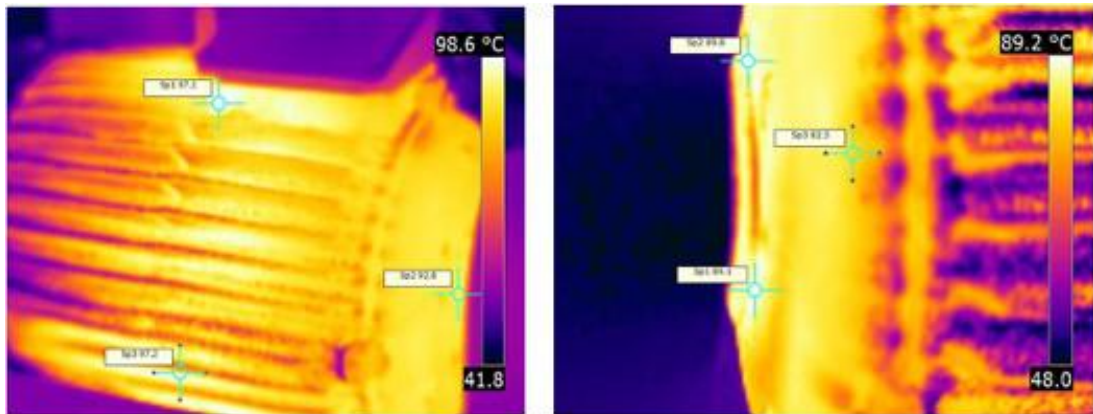
- Kaynak gerilim dalga şeklinin bozulması,
- Hatlardaki rms akım artışına bağlı olarak iletim ve dağıtımda verim azalması,
- Kompanzasyon sistemlerinde arızaların gerçekleşmesi,
- Elektrik motorlarında ve trafolarda aşırı ısınmalar,
- Hassas elektronik cihazlarda, PLC ve CNC cihazlarında arızaların yaşanması,
- Ekipmanların yalıtım seviyelerinde zorlanmalar ve aşınmalar,
- Sistem içerisindeki kayıpların artması,
- Koruma ve kumanda sistemlerinde hatalı çalışmaların olması,
- Gerilim düşüşlerinin artması,
- Sistemlerdeki yüksek frekanslarda rezonans risklerinin oluşması, olarak sıralanabilirler. Yaşanacak problemin sıklığı ve büyüklüğü ise tesis tipi, tesisin çalışma gerilimi, yüklerin çeşidi/yoğunluğu ve şebeke kısa devre gücü gibi etkenlere göre değişkenlik göstermektedir (Anonim, 2014-ç).

Sürtünme: Kusurlu eksantrik birleşme, hasarlı rulman, eksik yağlama sürtünen iki yüzey arasında sürtünmenin dolayısıyla ısının artmasına neden olur. Şekil 3.6.'da aşırı sürtünmeden dolayı turbodaki ısı artışı gözlemlenmektedir. Termografik yöntem temas gerektirmeden ve emniyetli bir mesafeden yapılabilme imkanı sağladığı için işletmeler tarafından vibrasyon analizi yöntemine göre daha fazla tercih edilmektedir.



Şekil 3.6. Turbo termal görüntüsü (Anonim, 2014-ğ)

Elektrik motorlarının muayenesi: Elektrik motorlarını endüstrinin bel kemiğini oluşturur. Fener mili tahrikinden, konveyör bandı tamburlarının döndürülmesinden, pompaların çalıştırılmasından, eksen hareketlerinin yapılabilmesine kadar bir çok yerde elektrik motorları kullanılmaktadır. Motorlar suda, kumda, kimyasallarda, sıcakta, soğukta, kısaca her ortamda kullanılmaktadır. Çeşitli ortamlarda kullanılan motorlar, kullanılacakları ortama uygun olarak üretilir ve hepsinin üzerindeki ısı değerleri farklıdır. Bu yüzden deneyimler ve benzer motorların karşılaştırması termografin hangi sıcaklığın normal, hangisinin anormal olduğuna karar vermesinde kullanılır. Termografi ile yetersiz hava akısı olması, yakın yatak arızası, dişli kutusu arızası, şaft kuplajı problemleri ve bir motorun rotor veya statorundaki izolasyon bozulması gibi durumlar tespit edilebilir (Şekil 3.7.).



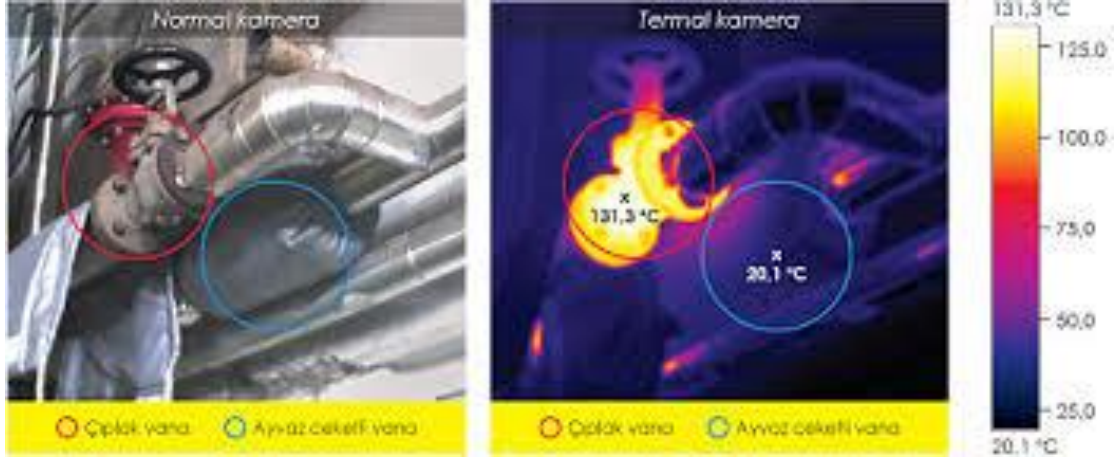
Şekil 3.7. Elektrik motorunun termal kamera görüntüsü (Anonymous, 2014-g)

İndüksiyon ısınması: İndüksiyon ile ısıtma her ne kadar bazı çelik işleme proseslerinde kontrollü olarak kullanılsa da, büyük AC akımlarının çelik konsollar gibi geçirgen metallere çok yakın olması durumunda beklenmedik zamanlarda ve kontrolsüz bir biçimde oluşabilir. Kablo konsollarının içindeki yüksek akım taşıyan AC kablolarının çelik destek ve kanallarda indüksiyon ısınmasına sebep olduğu görülebilmektedir (Şekil 3.8.). Isınma sonucunda kablonun izolasyonu sertleşir, kırılğan bir hal alır ve beklenmedik bir zamanda koparak kısa devreye sebep olabilir.



Şekil 3.8. Kablolarda indüksiyon ısınması termal görüntü (Anonymous, 2014-f)

İzolasyon aşınması: İzolasyon kaplı ve içinde yüksek sıcaklıkta malzeme bulunan herhangi bir hat, kullanımı esnasında çok yüksek sıcaklık artışları gösterir. Bunlara buhar hatları örnek olarak verilebilir. Termografi, bu hatlardaki izolasyon malzemenin incelmeye başladığı noktalarda oluşan lokal sıcaklık artışlarını yakalar (Şekil 3.9.). Tabii ki kullanımı sadece buhar hatları ile sınırlı değildir. Endüstriyel tip ısıtma fırınlarında izolasyon arızaları sonucu ısı kaybı olan bölgelerin tespiti yada tam mühürlenmeyen giriş çıkışlarda oluşan enerji kayıpları ve enerji geri kazanım sistemlerindeki arızalar yine termal kameralarla rahatlıkla tespit edilebilir.



Şekil 3.9. Buhar hattı termal görüntüsü (Anonim, 2014-c)

Kaplin ayarsızlığı: Metalik kaplinlerin, ayarlarının bozulmasıyla sürtünme artacağından kaplinlerde ısınmalar olacaktır. Termografi ile bu sıcaklık artışı tespit edilip, kaplinlerinin kontrolünden sonra gerekli ayarlamalar yapılabilmektedir. Yamulmuş bir şaftın tespiti de termografi ile mümkündür.

Pistonlu kompresörler: Havanın sıkıştırılması ile ısısının artması herkesçe bilinen bir durumdur. Isınan havanın valflerden kaçak yapması kaçak olan bölgenin ısınmasına sebebiyet vereceğinden, kompresördeki hava kaçakları ve valf arızasının tespiti termografi ile mümkündür.

Yetersiz yağlama: Yağlama birbirine temas eden iki yüzey arasındaki sürtünme katsayısını azaltması maksadı ile yapılır. Yağlamanın az olması ile sürtünme, dolayısıyla ısıda artacağından yetersiz yağlamanın termografi ile tespiti mümkündür.

Güç aktarma organları: Aşırı sürtünme bir ısı kaynağı olarak güç aktarma organlarında da mevcut olabilir. Kasnakları ayarsız veya gerginliği uygun olmayan, aşınmış kayış ve zincirler gereğinden fazla ısınabilir. Aynı şekilde çeşitli olumsuzluklar yüzünden ısınmış rulmanlar (yataklar) ve dişli kutularında düzenli veya şüpheli durum kontrollerinde termografi kestirimci bakımın bir unsuru olabilir (Hancı, 2009).

Vanalar ve hatlar: Yüksek ısıdaki akışkanların hat içerisinde herhangi bir engel olmadan ilerlediği veya hat üzerindeki bir kaçak termografi ile tespit edilebilmektedir. Hat üzerinde tıkalı bir filtre bölgesindeki ısı artışı termografi ile rahatlıkla tespit edilebilmektedir.

Depolama tankları: Depolama tanklarındaki sıvı seviyesi, boşalan kısmı ile dolu kısmı arasındaki ısı farkından dolayı termografi ile kontrol edilebilmektedir.

3.1.3.4. Ultrasonik Testler

Ultrasonik kestirimci bakım metodunu daha iyi tanımlamak için doğadaki ses formlarını bilmek gerekir. Bunlar:

İnfrasonik: İnsan kulağının algılama eşiğinin altında ve frekansı 20 CPS (Cycles Per Second = Saniyedeki Salınım Sayısı) az olan ses grubudur.

Audiosonik: İnsan kulağının algılama aralığında ve frekansı 20-20000 CPS aralığında olan ses grubudur.

Ultrasonik: İnsan kulağının algılama eşiğinin üstünde ve frekansı 20000 CPS den fazla olan ses grubudur.

Ultrasonik enerji ile ilgili fiziksel özelliklerin bilinmesinde ölçme tekniği için bize yardımcı olur.

- Ultrasonik enerjiyi oluşturan titreşim hareketi uzun mesafeleri kat edemez.
- Bu hareket yalnızca kaynaktan dik şekilde uzaklaşır.
- Katı materyallerde ilerleyebileceği bir çatlak-boşluk yok ise durur.
- Küçük engeller bile havadaki bu hareketi kolayca engeller.
- Diğer ultrasoniklere girişim yapmaması için izole edilmesi gerekir.
- Ultrasonik kontrolde havada ve iç yapılarda ölçümler ayrı değerlendirilecektir zira iç yapıdakiler için temaslı probalar kullanılmalıdır (Hancı, 2009).

Karadayı ve Yaman (2014) tarafından ultrasonik izleme, kestirimci bakım yöntemleri içerisinde bulunan işletmeye önemli kazançlar sağlayan bir yöntem olarak bildirilmiştir. Bu yöntem kullanılarak basınçlı hava kaçakları belirlenebilir, kondensopların (buhar kapanı) çalışma testleri yapılabilir, rulmanların yağlama ve hasar durumlarının kontrolleri yapılabilir, tesisatlarda kalınlık ölçülmesi, korozyonun tespiti yapılabileceği bildirilmiştir. Aynı zamanda yağlamanın ne kadar doğru yapıldığı da belirlenebilir. Bu sayede eksik yağlamanın yanı sıra aşırı yağlama sorunu da belirlenmiş olur.

Karadayı (2011) tarafından insan kulağının duyma eşiği 20 Hz ile 20 kHz arasında olduğu, duyulabilir sınırdaki seslerin dalga boyu 1.9 cm ile 17 m arasında değiştiği ve ultrasonik cihazlar insanın duyamayacağı, dalga boyu 0.3 cm ile 1.6 cm arasındaki sesleri yakalayıp ayırarak insanın duymasını sağladığı bildirilmiştir. Böylece bu cihazlar kullanılarak bazı sorunlara çözüm önerileri sunup işletme daha verimli hale getirilir.

Denli (2007) tarafından ultrason sistemlerinin kullanımını kolaylaştıran önemli bir etkende, ses araştırması yaptığı halde sessiz bir ortama ihtiyacı olmamasıdır. Bunun en büyük sebebi, işletmelerin yoğun gürültülü ortamındaki seslerin çok büyük bir kısmının duyma eşiğinde olması ve çok düşük miktarda ultrasonik unsur içermesidir. Ultrasonik olarak dinlendiğinde, elektrik motorlarının koronalarının (sargılarının) çatırdadığı, rulmanların sağlam ise hafif bir hışırtı sesi verirken bozulmaya başlayanların patlama sesleri çıkardığı duyulabildiği bildirilmiştir.

Mekanik analiz ve kaçak tespiti için kullanılan sensörler ses dalgalarını piezoelektrik mikrofonlar vasıtası ile elektrik sinyallerine çevirir. Kullanılan ekipmanların göstergeleri analog ya da dijital olabilir. Analog göstergelere alınan değerlerin doğruluğu daha yüksektir. Bu tip göstergeler en küçük bir değişimle karşılaştıklarında bile hemen tepki verirler ve daha az enerji harcarlar.

Ultrasonik testler ile sistemdeki kaçakların tespiti, rulmanların izlenmesi, buhar sistemlerinin takip edilmesi, vanalar ve kondensstoplarde meydana gelebilecek olası arızaların tespiti, elektriksel problemlerin takibi, basınçsız sistemlerin kontrolü, dışlı kutularında meydana gelebilecek olası arızalar, contaların kontrolleri ile eşanjör, boyler ve kondenserlerin takibi gibi birçok alanda testler yapılabilmektedir. Bunlardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Kaçaklar: Basınçlı hava kaçakları, endüstrideki en pahalı enerji kaynaklarından birinin boşa harcanmasına neden olur. Normal bir sistemde üretilen basınçlı havanın %25 ile %35'inin kaçakları karşılamak amacı ile kullanıldığı, başka bir anlatımla iş yapmadığı göz önüne alındığında, boşa giden parasal kaynağın büyüklüğü ortaya çıkmaktadır. Kaçak noktalarında oluşan türbülans kuvvetli ultrasonik dalgalar yayar. Yayılan bu dalgalar, çevre gürültüsünden farklı olarak ultrason tarayıcıları ile bulunabilir. Uygulama sadece hava kaçaklarıyla sınırlı değildir, basınçlı her türlü gaz kaçağı ultrason uygulamalarıyla tespit edilebilir (Şekil 3.10.), (Karadayı ve Yaman, 2014). Endüstrinin pek çok dalında ve hastanelerde kullanılan vakum (negatif basınç) kaçaklarının da ultrasonik test metodu ile tespit edilmesi mümkündür.



Şekil 3.10. Ultrason ile kaçak tespiti (Anonymous, 2014-c)

Rulmanların izlenmesi: Rulmanlar, bir çok tezgah için en kritik elemandır. Bozulmaları halinde tespit edilip temini ve değiştirilmesi de dahil olmak üzere saatler, hatta günler sürecektir duruşlara neden olurlar. Yapılan araştırmalar yeni takılan rulmanların %30' unun montaj hatası yada şafttaki ayarsızlık yüzünden arızalandığını, ömürlerinin 2-5 kat arası azaldığını ve rulmanların %10' unun takıldıklarından itibaren ilk 6 ay içerisinde arızalandıklarını göstermektedir (Hancı,2009).

Makine çalışırken, rulman bilya ve makaraları bilezikleri ile temas etmelerinden dolayı ultrasonik sesler çıkarırlar (Şekil 3.11.). Doğru olarak çalışan ve yeteri kadar yağlanmış bir rulmanda bu sesler hafif hışırtı halinde ve az iken, yetersiz yağlama yapılmış bir rulmanda güçlü bir çıtırtı yada gıcırtı sesi duyulur. Aşırı yağlanmış rulmanlardan ise hiç ses çıkmaz.



Şekil 3.11. Rulmanlarda ultrasonik test (Anonim, 2014-ı)

Rulmanlar bozulmaya başladıkça, hasarın cinsine göre tıkırdama, tırmalama yada sıyrılma sesi gibi değişik sesler alınır. Bu ultrasonik seslerin analizi sonucunda rulmanların durumları ile ilgili bilgi elde edilir ve ayrıca montaj esnasında yapılmış olası hatalar tespit edilerek daha sonrada oluşabilecek büyük sorunların önüne geçilebilir.

Buhar sistemlerinin takibi: Enerji fiyatlarının yükselmesi ile buharı pahalı enerji kaynakları arasına girmiştir. Buhar kapaları, sistemin verimli çalışabilmesi için sistemdeki yoğuşmaları, yoğuşmayan gazları ve havayı, buhar kaybını önleyerek yada en az seviyeye indirerek sistemden çıkaran elemanlardır. Buhar kapağı arızalandığında, kapandan geçen buhar görevini yapamaz, buhar enerjisi boşa gider ve yoğuşmayan gazlar korozyona neden olur.

İşletmelerdeki buhar kapalarının %15-20' sinin arızalı olduğu göz önüne alınırsa, bunların bulunması ve arızalarının giderilmesi maliyetlerde önemli bir azalma sağlayacaktır. Buhar kapaları görsel olarak yada kızıl ötesi termografi ile de kontrol edilebilmesine rağmen, bu metotlarla elde edilen sonuçlar yanıltıcı olabilmektedir. Ultrasonik testler ile elde edilen sonuçlar daha kesindir. Buhar kapağının yanı sıra vanalar, eşanjörler, çekvalfler ve boylerler gibi bir çok devre elemanı da kaçak sebebi olabilir ve bunların tamamı ultrasonik metotlarla tespit edilebilir (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Buhar kapağının ultrasonik testi (Anonim, 2014-f)

Vanalar ve kondenstoplar: Hancı (2009) tarafından bildirildiğine göre; bir akışkanı kontrol eden elemanlarda kaçak olması olası bir durumdur. Bu durumda ultrasonik detektör ile vananın her iki tarafı da kontrol edilir ve kaçak kontrolü yapılır. Kaçak olduğu takdirde ultrasonik cihaz kaçak yapan akışkanın oluşturduğu ultrasonik enerjiyi tespit edecektir. Kondenstoplar buhar hatlarında sadece yoğuşmuş buharı (suyu) kazana gönderen parçalardır. Kondenstopların verimli çalışması sistemde büyük enerji tasarrufu sağlar zira buhar kazanlarında ısı verilerek elde edilmiş buharın kondenstoptan besleme hattına kaçması büyük bir verimsizliktir. Kondenstopların verimli çalışması için yerleşimleri çok önemlidir. Şöyle ki; her makineye ayrı kondenstop koyulur zira buharda her her akışkan gibi kısa devre yapabilir. Bakımları için gerekli her yerde kapama vanası koyulur. Kondenstop makinenin veya hattının en altına bağlanır, su paketleri sistemde kullanılabilir. Sistemde bir by-pass varsa kesinlikle açık unutulmamalıdır aksi halde bu verimi düşürür. Gerekli yerlere çekvalf konarak kondens olmuş buharın olağan üstü hallerde geri dönüşü engellenebilir. Kondenstopların hatlara direk bağlanmasından ziyade manşonlarla bağlantı sağlamdır ve bu değişim kolaylığı sağlayacağı Kirazlar (2007) tarafından belirtilmiştir.

Elektriksel problemlerin takibi: Elektriksel problemlerin tespitinde ultrason aktif bir şekilde kullanılabilir. Enerji nakil hatları, havadaki kirleticilerin etkisi ile iletim yüzeylerinde malzeme kaybına neden olur. Malzeme kaybı sonucu yüzeylerde farklı direnç ve geçirgenlikte lokal bölgeler oluşur.

Bir diğer sorun ise koronadır (Şekil 3.13.). Korona, önlenmezse hattın hatta, yada hattın yere elektrik atlamalarına neden olur. İletkenleri çevreleyen moleküllerin iyonlaşması ile koronalar oluşur. Enerji atlaması sonucunda azot oksitler ve ozon oluşur. Bunlar izolasyon malzemelerini bozar, ayrıca korona ölümlü kazalar neden olabilir.



Şekil 3.13. Korona tespiti (Anonymous, 2014-a)

Endüstride yangına neden olmasından dolayı elektrik arkı büyük bir problemdir. Aynı zamanda iletkenin erozyona uğramasına ve iletkenlerin birbiri ile kaynamasına neden olmaktadır. Başlangıç ve bitiş voltajı arasında % 50 oranında bir fark oluşur. Koronalarda ise böyle bir fark yoktur. Ultrasonik cihazlar vasıtası ile yüksek voltaj hatlarındaki problemler daha oluşmandan tespit edilebilir.

Basıncsız sistemlerin kontrolü: Depolama tankları, kamara ve ambar sızdırmazlık elemanları, kapı ve pencere filtreleri, ön cam, klimalı araçların kabinleri, basınçsız boru hatları, soğutucu bölmeler, laboratuvarlar, tehlikeli ya da zararlı madde taşıyan taşıtların yük bölmeleri gibi içinde basınçlı akışkan ya da vakum bölge bulundurmeyen, basınç altında test edilemeyen sistemlerin kontrolü yapılır. Bir ultrason üretici kontrol edilmek istenen bölge içerisine konulur ve kontrol edilecek bant, conta, fitil ve kaynaklar ultrason ölçüm cihazı ile kontrol edilerek kaçak olup olmadığı tespit edilir.

Dişli kutuları: Güç motordan şafta dişli kutusu vasıtası ile iletilir. Çeşitli rulman ve dişlilerden oluşan dişli kutularında farklı alaşım ve üretim özellikleri taşıyan dişli ve rulmanlarda aşınmalar, dolayısıyla yaydıkları ses dalgaları da farklı şekillerde olmaktadır.

Eşanjör, boyler ve kondenserler: Isıtma ve soğutma maksatlı kullanılan bu tür ekipmanlar kaynak ile birleştirilmiş borular kazanlardan meydana gelmektedir. Kaynakta borularda veya kazanlarda oluşabilecek en ufak, çatlak veya kırıklar sıvıların birbirine karışmasına, sıvı kaçaklarına ve ısı transfer performansının düşmesine sebep

olacaktır. Oluşabilecek en ufak çatlaklar bile temaslı hassas detektörler vasıtası ile tespit edilebilmektedir.

Conta kontrolleri: Yeteri kadar sıkıldığı düşünülen fakat sızdırmazlığından asla emin olunamayan, conta ve sızdırmazlık elemanının sızdırmazlık kontrolü, ultrasonik detektörler vasıtası ile yapılabilmektedir.

3.1.3.5. Titreşim Ölçüm ve Analizi

Geniş bir problem çözme yapısına sahip olduğu için titreşim analizi kestirimci bakım metotlarından en yaygın olarak kullanılanıdır (Çizelge 3.2.). Titreşim analizi ile arıza tespiti dönel parçaları bulunan her türlü makineye uygulanabilir. Titreşim analizi ile arızanın kaynağını tespit edebilmek için uzun süren çalışmalara ve bilgi birikimine ihtiyaç vardır. Makinenin imalatından, dizaynından ya da montajından kaynaklı kronik sorunlar, arızanın asıl kaynağını tespit etmeyi güçleştirir. Bu yüzden analizler belirli zaman aralıkları ile yapılan ölçümler sonucu elde edilen grafiklerin karşılaştırılması ile yapılmalıdır.

Çizelge 3.2. Makinelerin çalışma şartlarını belirleyen parametreler (Yücel, 2009)

PARAMETRELER ARIZA NEDENLERİ	Sıcaklık	Basınç	Sızdırmazlık	Yağ Analizi	Elektrik Akımının İzlenmesi	Titreşim
Dengesizlik					✓	✓
Mil Eğilmesi Eksen Kaçıklığı	✓				✓	✓
Rulman Arızaları	✓			✓		✓
Kaymalı Yatak Arızaları	✓	✓	✓	✓		✓
Dişli Arızaları				✓		✓
Mekanik Gevşeklik						✓
Elektrik Motoru Arızası	✓				✓	✓
Hidrolik ve Aerodinamik Arızalar		✓				✓

Fabrika ve firmaların vibrasyon analizi için sabırlı olmaları gerekmektedir. Yeterli analizler yapılmadan alınan sonuçlar doğruyu yansıtmamakta ve bu da zaman ve maliyet kaybı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Gelişen teknoloji sayesinde günümüzde titreşim ölçümlerinin ve analizlerinin yapılabilmesi için kullanılan çeşitli cihazlar, bilgisayar ve yazılım desteği ile birçok işlevi yerine getirme kabiliyetine sahiptir. Bu cihazların titreşim analizi yapabilmeleri için titreşimin genliğini, titreşim sayısını (frekans) ve faz farkı ölçülebilmektedir.

Bir makinede titreşim problemlerinin incelenmesinde en önemli bilgilerden biri titreşim frekansıdır. Titreşim frekansı, makinenin üzerinde belirli yerlere (kavrama, yatak, mil vb.) konulmuş titreşim ölçüm cihazları ile Hz ve d/d birimlerinde ölçülür. Makinelerin üzerinde bulunan her bir parça kendine özel frekanslarda titreşim oluşturur. Makineler arızalandığında ayrı bir titreşim frekansı oluşur. Titreşim analizleri ile frekanslar incelenerek, arızanın ne olduğu ve sistemin neresinde olduğu neden olduğu tespit edilmeye çalışılmaktadır. Bu frekans analizine spektral analiz de denir. Spektral analiz ile makine titreşimlerinin frekanslarına göre genlikler incelenerek, arızanın kaynağı tespit edilir ve arızanın başlangıcından itibaren gelişimi incelenir ve doğru zamanda arızaya müdahale edilir.

Her bir frekans değerine karşılık gelen titreşim genlikleri ayrı ayrı değerlendirilir. Titreşim frekansı arızanın ne olduğunu bize gösterirken titreşim genliği de arızanın şiddetini yani seviyesini gösterir. Titreşim hızı (mm/s^2), sürekli değişim halinde maksimum ve minimum değerlerini alır. Yer değiştirme ise, titreşim hızı ve ivme birimleri ile titreşim genliği değerlendirilir. Yer değiştirme, makineden çıkan titreşimin tepe noktaları arasındaki aralığın boyutudur.

Ölçüm sonuçları spektrum ve dalga form grafikleri olarak görüntülenebildiği gibi, titreşim ölçümlerinin değerlendirilmesinde en genel olanı o ölçüm noktasına ait geçmişe dönük ölçümlerin hepsini bir şekil üzerinde görüntülemek ve oluşan farklılıkları hemen görmektir. Bu hem spektrum hem de dalga form grafikleri için yapılabilir. Bir diğer değerlendirme yöntemi ise arıza frekanslarına ait titreşim seviyelerinin zaman ile değişiminin gözlemlendiği eğilim grafikleridir. Eğilim grafiklerinin, gelişmekte olan arızanın önem derecesinin belirlenmesinde etkinliği vardır. Titreşim genliğindeki artış hızı, arızanın ciddiyetini belirlemede önem taşır (Hancı, 2009).

3.1.3.5.1. Titreşim Parametreleri

Titreşim parametrelerinin elemanları; frekans, periyot, açısal frekans, faz, genlik, yan bant, rezonans ve kritik hız, deplasman, hız ve ivmedir ve aşağıda açıklamaları ile sunulmuştur.

Frekans (f): Frekans, belli bir hareketin birim zamanda oluşan tekrar sayısıdır. Frekans üç farklı şekilde tanımlanabilir. Bir saniye içinde tekrar eden titreşim hareketidir. Birimi Hertz (Hz)' dir. Bir dakika içinde tekrar eden titreşim hareketidir. Birimi RPM (Revolution Per Minute) veya CPM (Cycles Per Minute)' dir.

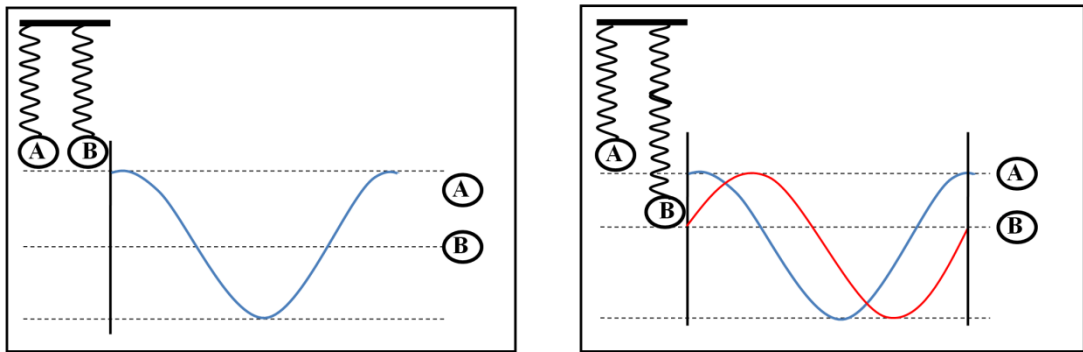
Periyot (T): Bir tam tur titreşim meydana gelene kadar geçen süredir. Periyot ve frekans ters orantılıdır. Periyot eşittir; bir bölü frekans ya da frekans eşittir; bir bölü periyot şeklinde ifade edilir.

$$T = \frac{1}{f} \text{ ya da } f = \frac{1}{T} \quad (3.1)$$

Açısal frekans (ω): Dönme hareketi yapan bir cismin birim zamanda aldığı yolun radyan cinsinden değeridir. Birimi rad/s' dir. Açısal hız eşittir; iki çarpı pi sabiti çarpı frekans şeklinde ifade edilir.

$$\omega = 2\pi f \quad (3.2)$$

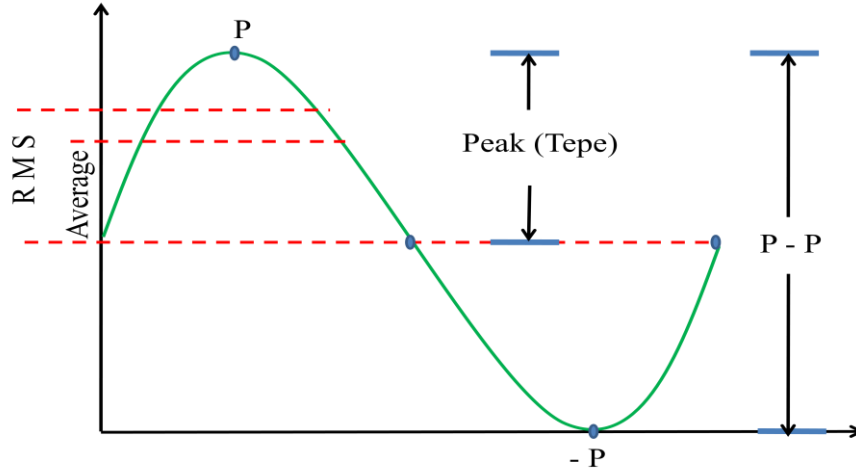
Faz (ϕ): İki farklı olayın birinin diğerine göre ne kadar önce yada sonra gerçekleştiğinin ölçüsüdür. Birimi radyan ($0-2\pi$) veya derece ($0^\circ-360^\circ$) olarak verilir. Faz açısı hesaplamalarında dönüş yönünün tersi (+) pozitif, dönüş yönü ise (-) negatiftir. İki kütle arasındaki faz farkı Şekil 3.14.' te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. İki kütle arasındaki faz farkı a. faz farkı 0° b. faz farkı 90° (Hancı, 2009)

Genlik: Titreşimin şiddetini gösterir. Sinüs eğrisinin tepe noktası ile "0" noktası arasındaki mesafedir. Bir makineyi etkileyen bütün kuvvetlerden meydana gelen

titreşimlerin toplam büyüklüğüdür. Şekil 3.15.' te genliği tanımlayan büyüklükler gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Genliği tanımlayan büyüklükler (Hancı, 2009)

Titreşim genliği değerleri: Genlik dört farklı şekilde ifade edilebilmektedir. Bunlar; RMS, tepe değeri, tepeler arası değeri ve ortalamadır.

Tepe değeri: Titreşim sinyalinin bir noktada eriştiği maksimum değerdir. Diğer bir ifade ile sıfır noktasından (X_0) tepe noktasına olan uzaklıktır.

Tepeler arası değeri: Sinyalin maksimum tepe noktasından, minimum tepe noktasına kadar aldığı değerdir ($2X_0$). Ve titreşimin deplasmanını ifade eder.

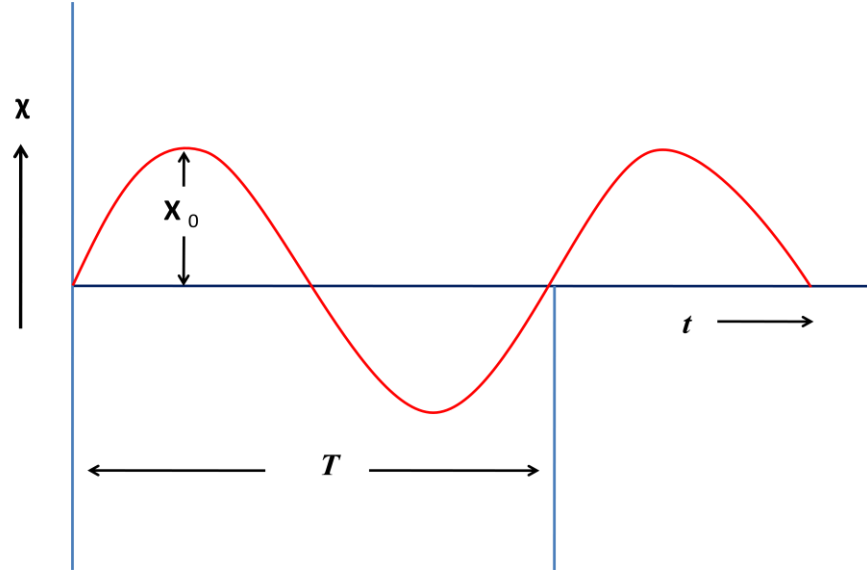
Pik, tepe (peak): Sinyalin bir yönde eriştiği maksimum değerdir.

Pik-Pik (P-P): Sinyalin (-) tepe noktası ile (+) tepe noktası arasındaki uzaklığı belirtir. Bir makine yada makine elemanının titreşiminin toplam genliğini verir. Pik değerinin iki katına eşittir.

Etkin değeri (RMS): Bir sinyalin t_1 - t_2 aralığındaki değerlerinin karelerinin ortalamasının kareköküdür.

Ortalama (Average): Bir sinyalin t_1 - t_2 aralığında aldığı değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

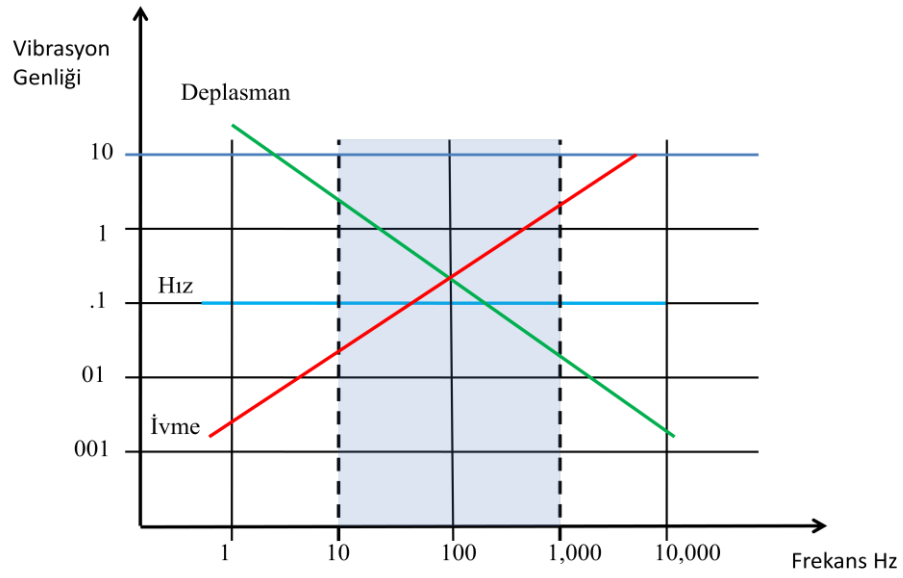
Harmonik: Harmonik titreşim; en basit titreşimdir. Frekansı, temel frekansın tam sayı katlarına eşit olan titreşim sinyallerine temel frekansın harmonikleri denir. $1x$, $2x$, $3x$, ... şeklinde belirtilir. Aynı zamanda $1xRPM$ şeklinde dönme hızının katları olarak da belirtilir. Basit bir harmonik hareket Şekil 3.16.' da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.16. Harmonik hareket grafiği (Karadayı, 2011)

Deplasman: Sıfır konumundan maksimum noktasına ve maksimum noktasından tekrar sıfır konumuna kadar gerçekleşen harekette yer değiştirme miktarıdır. Birimi mm yada mikron olarak ifade edilir.

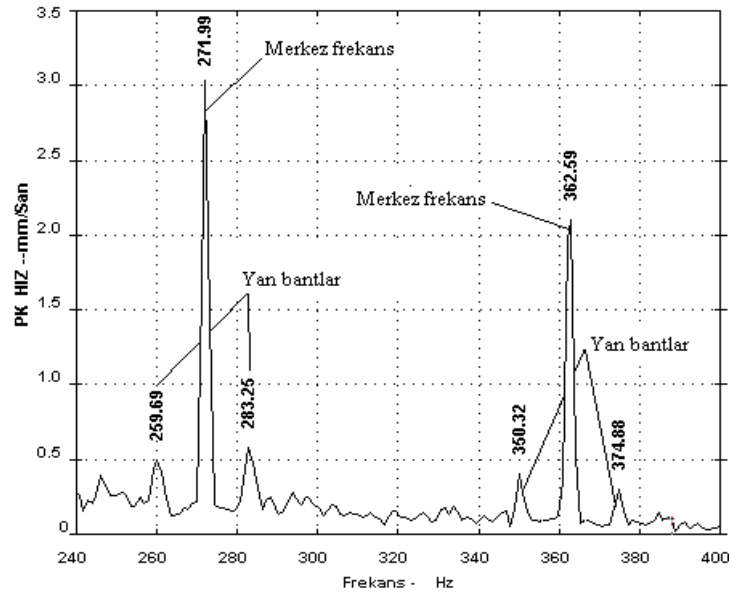
Şekil 3.17.' de görüldüğü üzere deplasman kullanılarak ölçüm düşük devirli makinelerde kullanılmalıdır. Yani 10 Hz' den düşük devirli (600 d/d) makinelerde kullanılmalıdır. Çünkü düşük devirli makinelerde vibrasyon enerjisinin büyük bir kısmı düşük frekans bölgesinde bulunur. İvme kullanılarak yapılan ölçümler ise yüksek devirli makinelerde kullanılır. 1000 Hz ve üzeri devire sahip makinelerde ivme kullanılırsa yorum yapabilmek kolaylaşır. Hız ise daha geniş bir frekans aralığında kullanılabilir ve verimli sonuçlar verir. Hız çoğu ölçümde kullanılabilecek bir genlik birimidir (Karadayı, 2011).



Şekil 3.17. Genlik- frekans grafiği (Karadayı, 2011)

Ölçümler esnasında ölçüm için kullanacağımız birimi bilmek çok önemlidir. Buna uygun hareket edilmediği zaman sağlıklı ölçüm yapıp sağlıklı analizler yapamayabiliriz. Ölçülen değerler ve alınan kararlar yanıltıcı olabilir.

Yan bant: Merkez frekansın sağına ve soluna eşit olarak yerleşmiş frekans bileşenleridir (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. Yan bant oluşumu (Köse, 2005)

Pratikte makine veya elemanların simetrik olmamalarından dolayı yan bantlar merkez frekansa göre nadiren simetrikler. Merkez frekans, taşıyıcı frekans olarak adlandırılır. Dişli kavrama frekansı, rulman bilya geçiş frekansı katları, makine veya yapının rezonans frekansı veya ivme metrenin rezonans frekansı taşıyıcı frekans olabilir. Yan bantlar modülasyon frekansı olarak da adlandırılır. Çünkü modülasyon frekansı bir sinyalin modülasyonu sonucu oluşur. İki çeşit modülasyon vardır. Bunlar genlik ve frekans modülasyonudur. Genlik modülasyonu sabit bir frekans sinyalinin genliğindeki değişimdir. Frekans modülasyonu ise sabit bir genlik sinyalinin frekansındaki değişimdir. Genelde genlik modülasyonu yükleme durumundaki değişimle birlikte olur. Frekans modülasyonu ise hızdaki değişimle birlikte olur. Rulmanlı yataklarda genlik modülasyonu olur. Dişlilerde yan bantlar mil dönme hızında ve onun harmoniklerinde oluşur. Eksantrik dişli, eğik yada eksen kaçık mil üzerinde dişli olması durumunda kavrama oluştuğunda genlik modülasyonları olur. Bu durumda dişleri periyodik olarak kavramaya sokan kuvvetten dolayı tekrarlayıcı yükleme olur. Milin her dönüşünde bir kez minimum ve maksimum kavrama kuvveti oluşur. Eksantriklik artınca yan bant genlikleri de artar (Orhan, 2002).

Rezonans ve kritik hız: Rezonans, bir cismin doğal frekansında uyarılması durumunda ortaya çıkan durumdur. Her cismin doğal frekansı vardır. Şayet cisim doğal frekansında uyarılırsa, cisim çok düşük bir uyarı düzeyiyle çok yüksek titreşim seviyelerinde titreşir ve cisim tamamen tahrip olabilir. Makine elemanları, farklı çalışma hızlarında farklı frekanslar üretirler. Bu çalışma frekanslarının makine elemanına ait doğal frekanslarla çakışması durumunda makine elemanını tahrip edebilecek seviyelerde rezonans frekansları oluşabilmektedir. Rezonansa sebebiyet veren bu çalışma hızlarına kritik hız denir ve makine elemanı mümkün olduğu kadar bu hızlarda çalıştırılmamalıdır (Hancı, 2009).

Bir kuvvetin şiddeti, oluşan hareketin hızı, ivmesi ve deplasmanı cinsinden belirlenebilir.

Hız: Birim zamanda alınan yoldur, titreşime neden olan makine parçasının hızının ne kadar olduğunun ölçüsüdür. İvmenin integrali alınarak yada deplasmanın birinci türevi alınarak hesaplanır. Birimi mm/s, mikron/s yada inç/s' dir.

İvme: Birim zamanda hızda meydana gelen değişimdir. Hızın birinci türevi alınarak yada deplasmanın ikinci türevi alınarak hesaplanır. Birimi mm/s^2 yada g (yer çekimi ivmesi değeri $g = 9.81 \text{ m/s}^2$)' dir.

Deplasman: Bir kuvvetin etkisi altında bulunan kütlenin belirli bir frekans noktasına göre kat ettiği mesafedir. Birimi mm, mikron, inç yada mil 'dir.

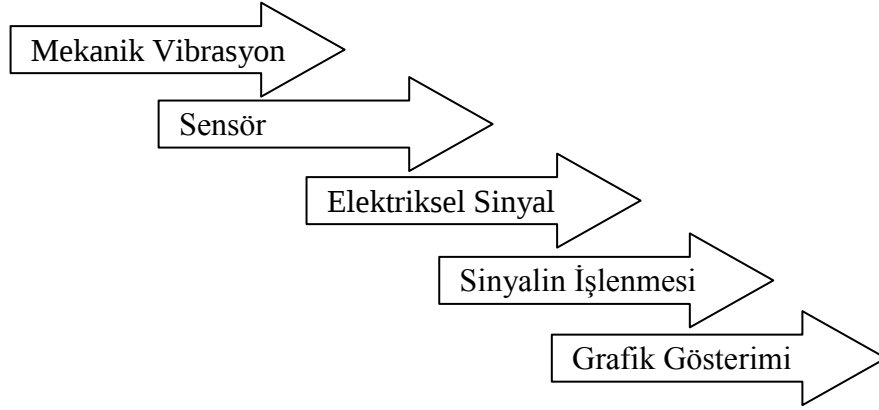
Hız, ivme ve deplasman birimleri birbirleriyle ilgilidir. Bu birimlerin her biri ölçümlerde kullanılmaktadır. Fakat hangi ölçümün kullanılacağı çok önemlidir. Çünkü bazı ölçümler yanıltıcı olabilir. Bazen aynı makine bir birimle ölçüldüğü zaman normal değerler içinde olabilirken diğer bir birim ile ölçüldüğünde titreşim normal değerler dışında olabilir.

Kalyoncu (2004) tarafından makinelerde sorun belirgin hale gelmiş ise deplasman ile de problem fark edilebilir. Fakat problemin başlangıç anında deplasman ile hiçbir sorun görülemeyebilir. Hız ile ölçüm yapıldığında gelişmekte olan bir sorun önceden fark edilebilir. Hız en çok kullanılan ölçüm birimlerinden biridir. Hız, yer değiştirmeye göre daha sağlıklıdır. İvme ise yüksek frekansların söz konusu olduğu yerlerde kullanılır. Mesela dişlilerdeki diş bozuklukları ve rulmanlardaki bilya gibi elemanlardaki bozuklukları anlamak için en sağlıklı yol ivme ölçümü yapmaktır. Fakat hız ölçümü yapmak da bir ip ucu ve fikir verebilir. Hız ölçümü ile ön bir inceleme yapıldıktan sonra ivme ile kesin bir teşhis konulabildiği bildirilmiştir.

3.1.3.5.2. Titreşim Sensörleri

Günümüzde yaygın olarak kullanılan 3 çeşit sensör vardır. Bunlar deplasman sensörleri, hız sensörleri ve ivme sensörleridir. Titreşim, ölçümü yapılacak olan makinenin gövdesi üzerinden ve yataklarına en yakın yerden alınacak olan titreşimler transduser (algılayıcı) aracılığıyla ölçülür. Bu transduser makinenin gövdesinden aldığı titreşim enerjisini elektrik enerjisine yada voltaja çevirmeyi sağlar (Hancı,2009). Ölçüm sensörü seçilirken Şekil 3.19.'daki sıralama göz önünde bulundurulmalıdır.

Titreşim analizi, titreşimi elektriksel sinyale çeviren sensörler ile yapılır.

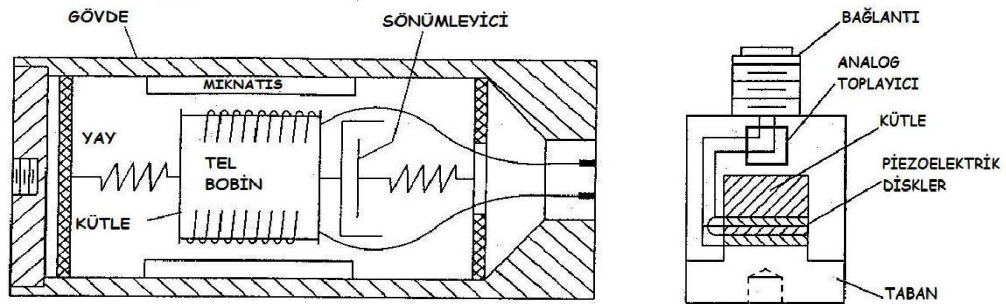


Şekil 3.19. Sinyal çevrim akışı (Köse, 2005)

Deplasman sensörleri; ölçüm noktasına göre şaft titreşimini ölçerler. Temaslı ve temassız sensör olmak üzere iki çeşittir. Temassız deplasman sensörleri, radyal/ eskenel şaft pozisyonunu, şaft pozisyonunu ve şaft titreşimini ve rotor ile motor gövdesi arasındaki diferansiyel genleşmeyi ölçmede kullanılır. Piezoelektrik sensörlerin aksine, titreşime göre bir elektrik potansiyeli oluşturmazlar. Temaslı deplasman sensörleri her ne kadar eski bir teknoloji olsa da günümüzde kullanılmaya devam etmektedir. Şaft levyesi ve şaft amortisörü olmak üzere iki çeşittir. Temaslı tip sensörler yüksek frekans probleminin tespitini yapamamaktadır.

Hız sensörleri; dar frekans bantlı olması, yüksek maliyetli olması ve diğerlerine kıyasla daha ağır olması sebebiyle günümüzde çok fazla tercih edilmeyip yerini ivme sensörüne bırakmıştır.

Sismik ve piezoelektrik sensör olmak üzere iki çeşittir (Şekil 3.20.). Sismik sensörler, piezoelektrik sensörlerden farklı olarak kendi kendine çalışırlar. Sismik sensörler manyetik alandan etkilenir fakat piezoelektrik sensörler etkilenmez.



Şekil 3.20. Sismik ve piezoelektrik hız sensörü görüntüsü (Denli, 2007)

İvme sensörleri; ivme ölçümü yaparlar. İvme ölçerlerin performanslarını etkileyen; ağırlık (oz, gr), frekans (cpm, Hz), voltaj hassasiyeti (mV/g) olmak üzere üç temel özelliği mevcuttur. Baskı tipi ve kesme tipi sensörler, günümüzde en yaygın kullanılan piezoelektrik ivme sensörleridir. Hız sensörüne kıyasla daha düşük maliyetli ve daha geniş frekans bandına sahip olması nedeniyle, kestirimci bakım uygulamalarında en çok tercih edilen sensörlerdir (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. Baskı tipi ve kesme tipi ivme sensörleri (Denli, 2007)

Sensör seçiminde dikkat edilmesi gereken noktalar;

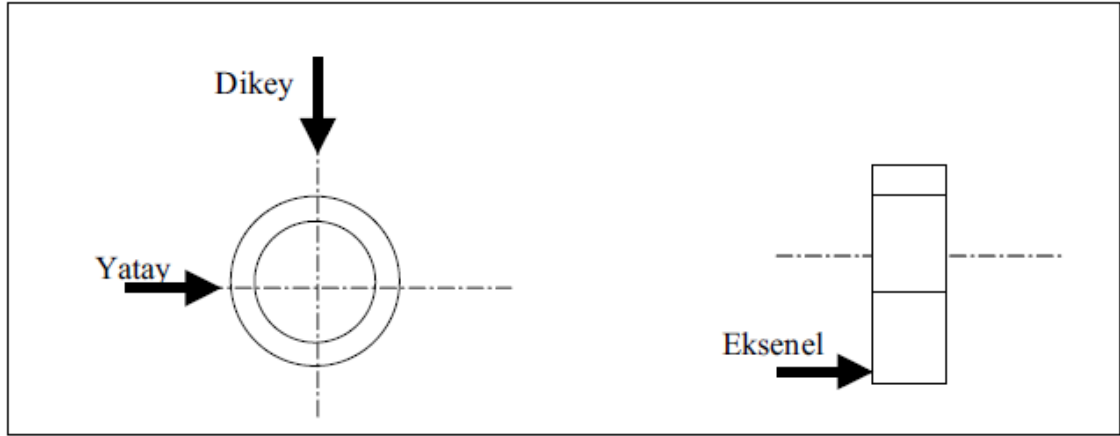
- Hassasiyet derecesi,
- Frekans bandı,
- Doğal frekans bandı,
- Ağırlık,
- Sıcaklık bandı,
- Ölçüm yönü,
- Sensör boyutları,
- Güç kaynağıdır.

Sensörlerin montaj şekilleri;

- Saplama bağlantısı,
- Yapıştırıcıyla bağlama,
- Mıknatıs ile bağlama,
- Hızlı bağlantı,
- El probu ile ölçümdür.

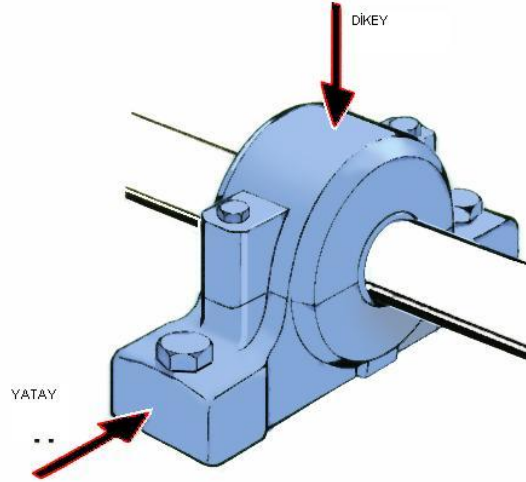
3.1.3.5. 3. Ölçüm Yönü

Rulman yataklarından alınan ölçümler ile makine arızalarının periyodik olarak izlenmesi sağlanır. Sensörler, rulmanlar gömülü olduğu zaman erişilebilecek en yakın rulmana dokundurulur. Detay analizlerde, çalışan makinenin dönmeyen her yerine sensör dokundurularak ölçümler alınabilir. Radyal ölçümler, milin merkezini görecektir. Milin merkezini görmeyen ölçümler teğetsel ölçümler olacaktır. Titreşim ölçüm yönleri Şekil 3.22.'de gösterilmiştir.



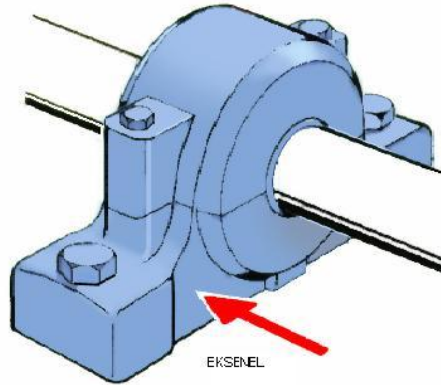
Şekil 3.22. Titreşim ölçüm yönleri (Köse, 2005)

Makinenin gövdesi üzerinden ve yataklara en yakın olan yerden titreşim ölçümleri radyal ve eksenel yönlerden alınmalıdır. Titreşim ölçümü yaptığımız sensörü ölçüm yaptığımız yatağa, dönen mile dik olacak şekilde dikey ve yatay tutarak ölçümler alınır. Ayrıca eğer makinede bir kaplin bağlantısı, kayış kasnak bağlantısı gibi durumlar mevcutsa, o yataktan bir de dönen mile paralel olacak şekilde ölçüm alınmalıdır. Bu ölçümlerde yatay yönde mile dik eksenel yapmış olduğumuz ölçümde balanssızlık problemini yakalamamız kolaylaşır. Balanssızlık temel bir problemdir ve makinelerde görülen yaygın bir titreşimdir. Dikey yönde alınan ölçümlerde ise makinede var olan mekanik gevşeklik problemini daha kolay yakalayabiliriz (Karadayı, 2011). Şekil 3.23.'te yatakların radyal yönde alınan ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Yataktan alınan radyal ölçümler (Karadayı, 2011)

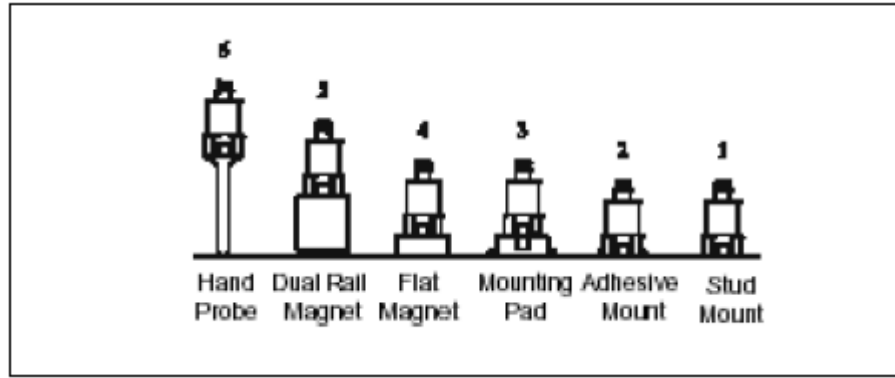
Eksenel yönden alınacak ölçümde ise eksenel ayarsızlık problemlerini daha rahat bir şekilde yakalayabiliriz. Şekil 3.24.' te yatakların eksenel yönde alınan ölçümü gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Yataktan eksenel yönde alınan ölçüm (Karadayı, 2011)

3.1.3.5.4. Sensör Dokundurma Yöntemleri

Sensör dokundurma işlemi; saplama ile montaj, yapıştırarak montaj, önceden monte edilmiş bir diske montaj, mıknatıs ile tutturma ve el ile dokundurma (Şekil 3.25.) olmak üzere beş farklı yöntemle yapılmaktadır.



Şekil 3.25. Sensör dokundurma yöntemi (Köse, 2005)

Saplama ile montaj: Frekans aralığı en yüksek metottur. Sensörün bir saplama vasıtası ile ölçüm yüzeyine sabitlenmesi ile gerçekleştirilir. Sürekli izleme sistemlerinde kullanılır.

Yapıştırarak montaj: Bir yapıştırıcı vasıtası ile ölçüm noktasına yapıştırılarak, sürekli izleme sistemlerinde kullanılır.

Önceden monte edilmiş bir diske montaj: Periyodik ölçümlerde ve ya sürekli izleme ölçümlerinde kullanılır. Makine yüzeyine saplama yuvası açılmayan yada açılması uygun olmayan ortamlarda kullanılır. Üzerinde sensörün monte edileceği saplama yuvası hazır bir disk önceden ölçüm noktalarına yapıştırılır. Sensör, önceden hazırlanan bu diske tutturularak ölçüm alınır.

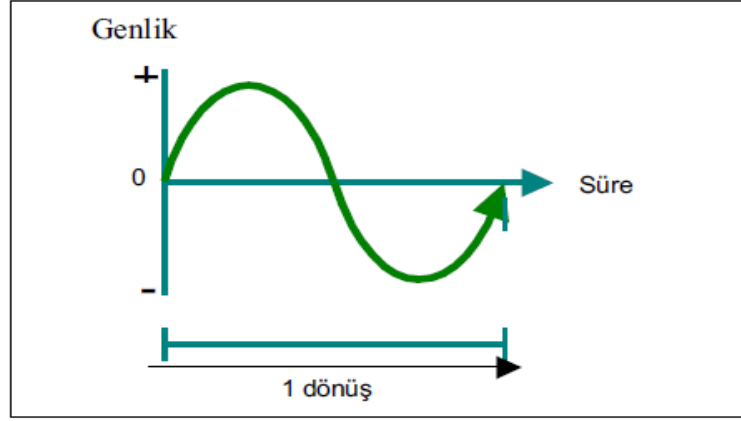
Mıknatıs ile tutturma: Ucuna mıknatıs yapıştırılmış bir sensörün mıknatıs vasıtası ile ölçüm yüzeyine yapıştırılması ile ölçüm yapılır. Periyodik ölçümlerde kullanılır.

El ile dokundurma: Sensör ölçüm noktasına el ile dokundurulur. Uygulamada, erişilemeyen yerlere uzaktan dokunarak ölçüm alabilmek için sensör ucuna 5-30 cm uzatma çubuğu takılı olabilir. Bu metotta frekans ölçüm aralığı duyarlılığı azalır.

3.1.3.5.5. Titreşim Grafikleri

Titreşim grafik birimleri: Arızalar, tekrar eden periyodik işaretleri oluştururlar. Bu periyodik sinyaller ise kendi içinde harmoniklerine ayrılarak detaylandırılır. Harmonik sinyali bir sinüs eğrisi şeklindedir. Bu sinüs eğrisi vasıtası ile hareketin periyodu ve genliği hakkında bilgi elde edilir.

Periyot (T): Bir hareketin tamamlandığı süre olarak tanımlanmaktadır. Periyodu bir dönüş olan hareke Şekil 3.26.' da gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Periyodu bir dönüş olan hareket (Köse, 2005)

Frekans (f): Bir zaman diliminde (saniye ya da dakika) hareketin tekrarlanma sayısıdır. Frekans eşittir; bir bölü periyot şeklinde ifade edilir.

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.3)$$

Makine dönüş hızı (RPM) devir/dakika olarak tanımlandığı için, makine arızaları analiz birimi (CPM) eşittir; 1 bölü dakika olarak tanımlanmaktadır. Frekans CPM olarak ifade edilmesi ile arızanın nedeni daha süratli bir şekilde tespit edilebilmektedir.

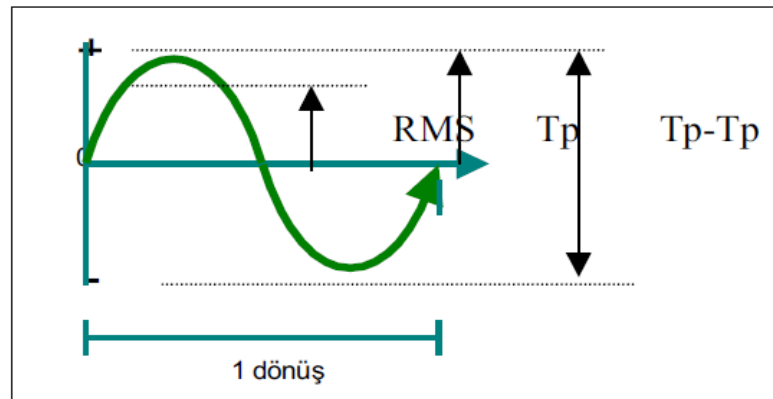
$$CPM = \frac{1}{dakika} \quad (3.4)$$

Genlik Tipi: Harmonik sinyali oluşturan sinüs eğrisinin dikey eksen, sinyalin genliğini ifade eder. Şekil 3.27.' de genlik ölçüm tipleri gösterilmiştir.

Tepe değeri: 0 - Tp

Tepeden Tepeye değeri: -Tp + Tp

RMS değeri: Efektif Tp (RMS=kareköklerinin ortalaması)



Şekil 3.27. Genlik ölçüm tipleri (Köse, 2005)

Rakama dönüştürülen titreşim değeri biriminin yanında genlik tipi belirtilmelidir. Saf sinüs eğrisinde RMS ile tepe değeri arasında tepe değeri eşittir; 0.707 çarpı RMS şeklinde bir ilişki vardır.

$$Tp = 0.707 \times RMS \quad (3.5)$$

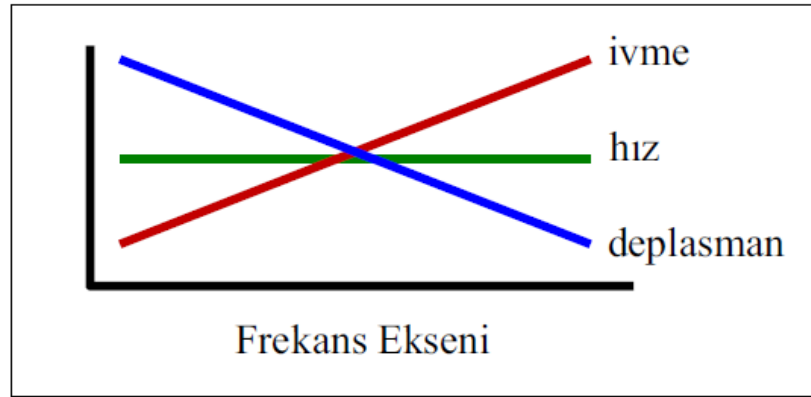
Genlik birimi: Titreşim değeri üç farklı birim kullanılarak hesaplanır.

Titreşimin deplasmanı[mikron]

Titreşimin hızı[mm/san]

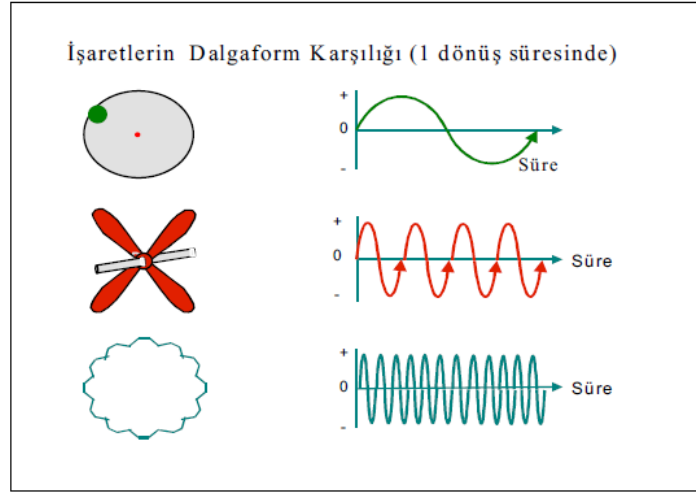
Titreşimin ivmesi..... [g's]

Hız birimli ölçümler ile hem yüksek hem de düşük frekanslarda oluşan sinyaller optimum görüntülenebildiği için arızalarının belirlenmesinde genlik birimi olarak "hız" tercih edilmelidir.



Şekil 3.28. Frekans eksenine göre birim hassasiyeti (Köse, 2005)

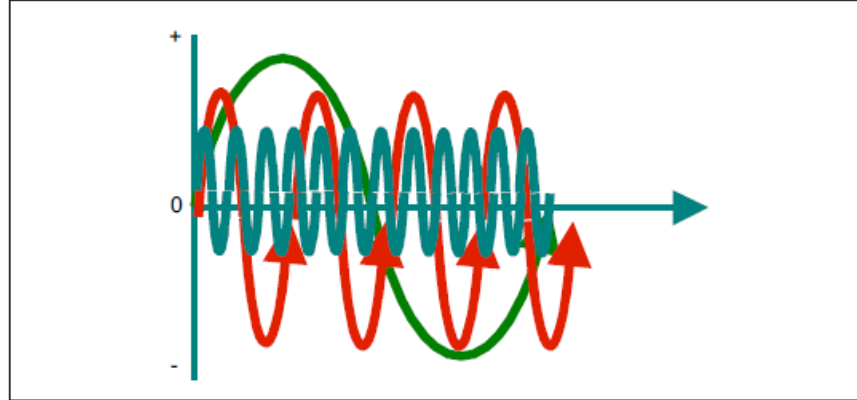
Titreşim dalga formu: Dalga formu grafiği vasıtası ile analiz cihazı üzerinde set edilen frekans aralığındaki toplam titreşimin zaman eksenindeki değişimini görüntülenir. Yatay eksen zamandır. Birim saniyedir. Dikey eksen genliktir. Arıza kendiliğinden onarılamayacağından milin her dönüşünde tekrarlanır. Bu yüzden her periyottaki desen birbirinin benzeri olmalıdır. Eğer bir tekrarlama mevcut değilse; titreşimin asıl nedeni makinenin kendi dönüş devri değil etrafındaki diğer makinelerden olabilir. Bir mil üzerinde birbirinden farklı üç problem olduğunu düşünelim (Şekil 3.29.). Bu problemler; aynı mil üzerinde 12 dişi olan bir dişli çark, diske yapışmış bir parça, milde dört kanat olsun.



Şekil 3.29. Üç fiziksel olayın dalga formu (Köse, 2005)

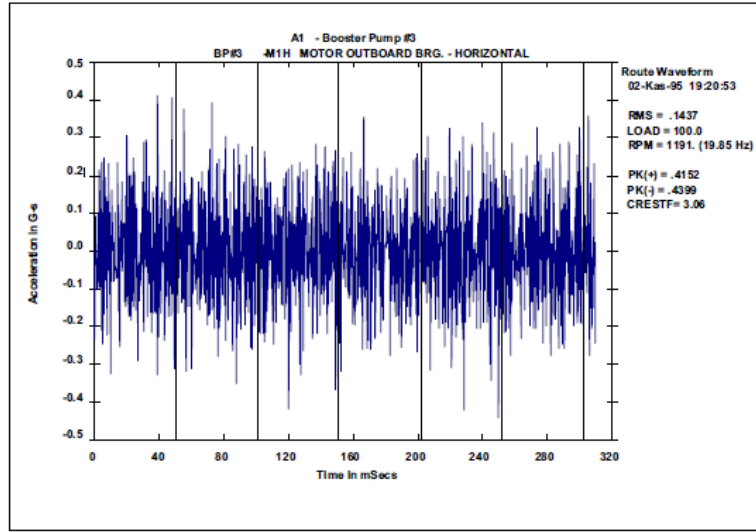
Her bir problem tek tek irdelenirse; dişli bir turda on iki vuruntu üretecektir. Diske yapışan parça balanssızlık olmasına neden olacak ve alınan ölçümde milin bir dönüşünde bir vuruntu olacaktır. Kanatlarda meydana gelen problem ise, milin bir tur attığında dört vuruntu oluşturmaya neden olacaktır.

Fakat ölçüm alınan noktaya, aynı mil üzerindeki problemler toplu olarak yansır. Şekil 3.30.'da dalga formlarının tek grafikte toplanması gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Dalga formlarının tek grafikte toplanması (Köse, 2005)

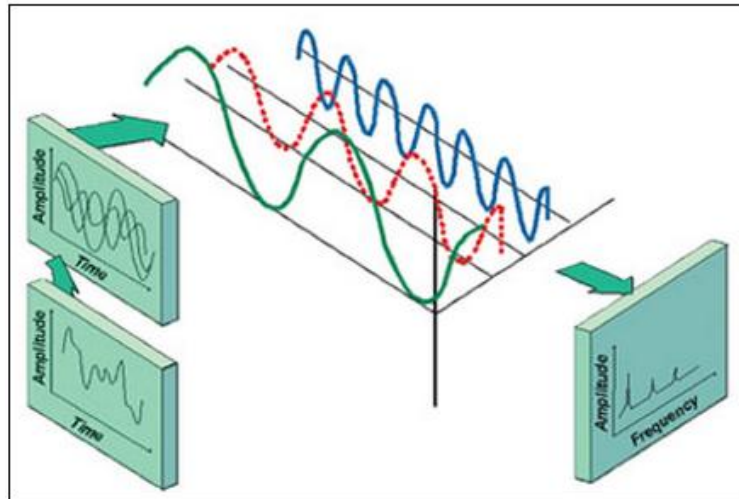
Şekil 3.31.'de yer alan dalga formu grafiği, belirlenen frekans aralığında, seçilen noktaya gelen bütün sinyalleri gösterir.



Şekil 3.31. Makineden ölçülen örnek dalgaformu (Köse, 2005)

Bu sinyallerin bir kısmı, harmonik tekrarı olmayan sinyaller olabilir.

FFT spektrum grafiği: Hızlı fourier çevrimi (FFT); periyodik fonksiyonu oluşturan harmonik fonksiyonları birbirinden ayıran bir metodudur. Periyodik bir sinyali meydana getiren, basit harmonik sinyallerin oluşturduğu seriye fourier serisi diye adlandırılır. Bu çevirim ile belirlenen harmonik sinyallerin frekans ekseninde dizildiği grafiğe; FFT spektrum grafiği diye adlandırılır. Şekil 3.32.' de karmaşık dalga formunun FFT ile harmoniklerine ayırıp, çıkan bilginin frekans ekseninde dizilişinin 3 boyutlu görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.32. Karmaşık dalga formunun FFT ile harmoniklerine ayırıp, çıkan bilginin frekans ekseninde dizilişinin 3 boyutlu görüntüsü (Köse, 2005)

3.1.3.5.6. Titreşim Analizi ile Tespit Edilebilen Arızalar

Makinelerde oluşan arızalar titreşim sinyalinde farklı frekanslarda kendilerini gösterir. Bu titreşim frekansları arızanın ne olduğu ve kaynağı ile ilgili esas teşkil eder. Frekans düzlemindeki titreşim sinyali hataların kaynağından gelişimine kadar olan süreç hakkında bilgi verir. Arıza ile ilgili daha detaylı bilgiye sahip olmak için ölçümlerin frekanslarını bilmemiz gerekir.

Dönen makinelerden elde edilen titreşim frekanslarının spektrum grafiklerinde aldığı konum üç farklı bölgeye ayrılmaktadır.

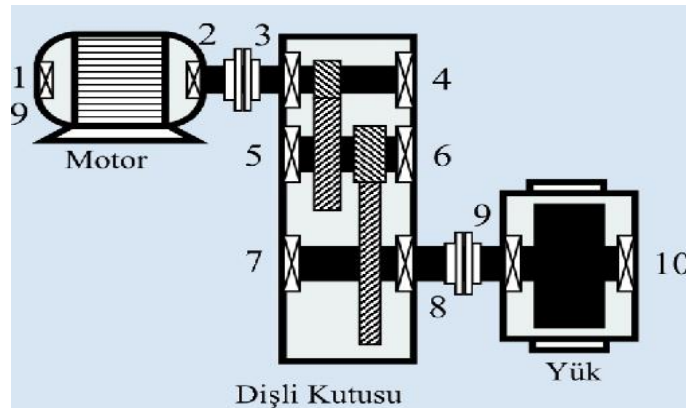
Rotor titreşim bölgesi: Rotorla ilgili titreşimler normal olarak mil dönme hızının $1/4'$ ü ile 3 katı arasındaki aralıkta oluşur ve en iyi hız veya yer değiştirme birimlerinde ölçülür. Çok genel amaçlı makineler 1200 ile 3600 d/d hız aralığında çalıştığı için rotor ile ilişkili titreşim sinyalleri 10 Hz' den 500 Hz' e kadar olan aralıkta kalmaktadır. Bir çok rulman arızası rotor ile ilişkili bozukluklar (dengesizlik, eksen kaçıklığı, rotor kararsızlığı) sonucu oluşmaktadır. Bu frekans bölgesindeki titreşim gözlemlenmezse rotor ile ilgili bozukluklar belirlenmeyecek buda devam eden süreçte rulman arızası oluşturacaktır. Rotor titreşim bölgesinde sadece rotorla ilgili titreşim olayları olmaz aynı zamanda rulmanla ilgili titreşim frekanslar da bu bölgede olabilirler. Hasarlı bir kafes, mil dönme hızının $1/2'$ sinin altında titreşim oluşturacaktır (Orhan, 2002).

Eleman geçiş frekans bölgesi: Rulman yataklı makinelerin durumunu gözlemlmek için ikinci frekans bölgesi eleman geçiş bölgesidir. Eleman geçişi, yuvarlanma elemanlarının iç veya dış bilezik hasarı üzerinden geçmesi sonucu oluşan rulman frekanslarını içine alan titreşim frekans aralığını tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Bu frekans aralığı normal olarak eleman geçiş hızının 1' den 7 katına kadar olan kısmı içine alır ve yer değiştirme, hız veya ivme birimlerinde etkili olarak ölçülebilir. Eleman geçiş hızı yuvarlanma elemanının iç veya dış bilezikteki bir noktadan geçme anındaki hızı olarak tanımlanır. Saha çalışmaları tüm rulman hasarlarının yaklaşık %90' ının iç veya dış bilezik kusurları ile ilgili olduğunu göstermiştir. Diğer %10' u rotor titreşim bölgesinde titreşim frekansları üreten yuvarlanma elemanı veya kafes kusuru ile ilgilidir. Eleman geçiş bölgesinin oluşturulması ve rotor ile ilgili titreşim bileşenlerinin filtrelenmesiyle rulmanların durumlarının gözlemlenmesi geliştirilebilir (Orhan, 2002).

Yüksek frekans bölgesi: Üçüncü frekans bölgesi yüksek frekans bölgesidir. Bu bölge 5 kHz' den yaklaşık 25 kHz' e kadar olan frekansları kapsar. Rulmanda bir kusur olduğunda üretilen titreşim sinyalleri kısa, ani darbeler şeklindedir. İvme ölçerler hafif sönümlü cihazlar oldukları için kendi rezonans frekansında çınlayarak bu tip sinyallere tepki gösterirler. İvme ölçerin montaj rezonans frekansı kullanılarak ve genliği ivme biriminde ölçülerek rulmanların durumunu yüksek frekans bölgesinde gözlemlemek mümkündür. Ancak gürültüden etkilenebilen problemler ve hasarın ilerlemesine rağmen yüksek frekans genlik değerlerini azaltan rulman hasarının kendini ezmesi nedeniyle yüksek frekans ölçümleri sadece rotor titreşim ve eleman geçiş bölgelerine ek olarak kullanılmalıdır. Tecrübeler rulmanların durumu hakkındaki bilgilerin ve rulman hasarlarının belirtilerinin bir çoğunun eleman geçiş bölgesinde olduğu görülmüştür. Rotor davranışı hakkındaki bilgiler genellikle dönme hızının 1/4 ve 3 katı arasında oluşmaktadır. Oldukça yüksek frekanslardaki bilgiler makinenin durumu ile ilgili diğer bilgileri (sürtünmeler, kavitasyon, valf gürültüsü) içerdiği kadar, rulman hasarı hakkında oldukça erken uyarı verir (Orhan, 2002).

3.1.3.5.7. Makinelerde Oluşan Arızalar

Titreşim analizi; elektriksel problemler, dişli hasarları, rulman hasarları, balanssızlık, eksenel ayarsızlık, mekanik gevşeklik gibi durumların tespitinde kullanılır. Titreşim analizi için ölçüm yapan noktalara örnek Şekil 3.33.' te gösterilmiştir (Kalyoncu, 2004).



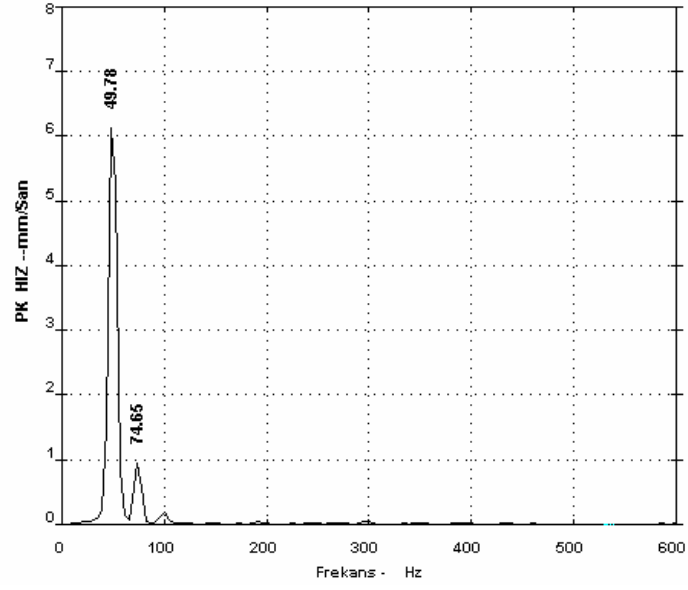
Şekil 3.33. Titreşim analizinin yapıldığı yerler (Kalyoncu, 2004)

Bu problemler arıza oluşana kadar titreşim artışı, sıcaklık artışı, gürültü artışı, akım artışı v.b. gibi çeşitli belirtiler gösterir. Durum izlemeye dayalı bakım, bu belirtilerin ölçülüp değerlendirilmesi ile yapılır. Buradaki en önemli konulardan biri de titreşim ölçümü ve değerlendirilmesidir. Çünkü makineler hasar gördüklerinde verdikleri en iyi uyarı sinyali titreşimdir. Her mekanik problemin kendine özgü bir titreşim karakteristiği vardır. Bu nedenle titreşim genliğinin büyüklüğünün ve karakteristiğinin incelenmesi problemin büyüklüğü ve kaynağı hakkında fikir verir (Kalyoncu, 2004).

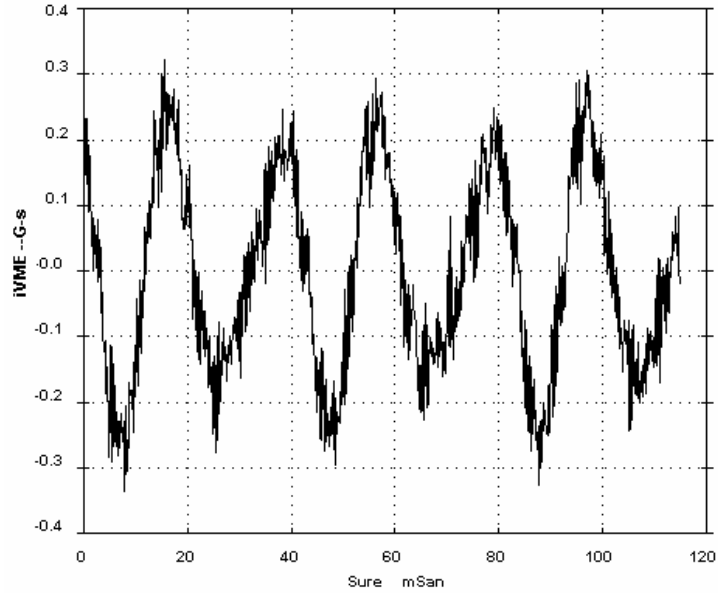
Balansızlık: Kütle merkezi ile şaft merkezinin aynı olmamasından kaynaklı bir arızadır. Dönel parçalar üzerinde meydana gelen dengelenmemiş kuvvetler sonucu şiddetli titreşimler oluşur. Bu titreşimler ana gövdeyi ve temelleri zorlar. Makine üzerindeki dengelenmemiş kütlenin karşı bir kütle ile dengelenmesi anlamına gelen balans alam işlemi ile bu arıza giderilir. Bütün makineler belli bir seviyede dengesizdirler. Dengesizliğin nedenleri ise;

- Elemanlardaki malzemenin homojen olmaması.
- Parçanın geometrik olarak simetrik olmaması.
- Çalışma şartlarında meydana gelen ısı genleşme, korozyon, aşınma, madde birikimi, v.s.
- Montajın balans şartlarına eş değer şartlarda yapılamaması.
- Kaymalı yatakların eksantrik monte edilmesi sonucunda, geometrik merkezin dışında bir merkez etrafında dönüşüdür (Hancı, 2009).

Orhan (2002) tarafından 2985 d/d (49.78 Hz) devirle çalışmakta olan bir pompadan elde edilen titreşim değerleri incelendiğinde spektrum grafiğinde mil dönme hızının 1 katında tepe oluşması (Şekil 3.34.), yine dalga form grafiğinin sinüs deseni şeklinde ve vuruntusuz olması (Şekil 3.35.) dengesizliğin açık belirtisi olduğu bildirilmiştir.



Şekil3.34. Dengesizlik spektrum grafiği (Hancı, 2009)

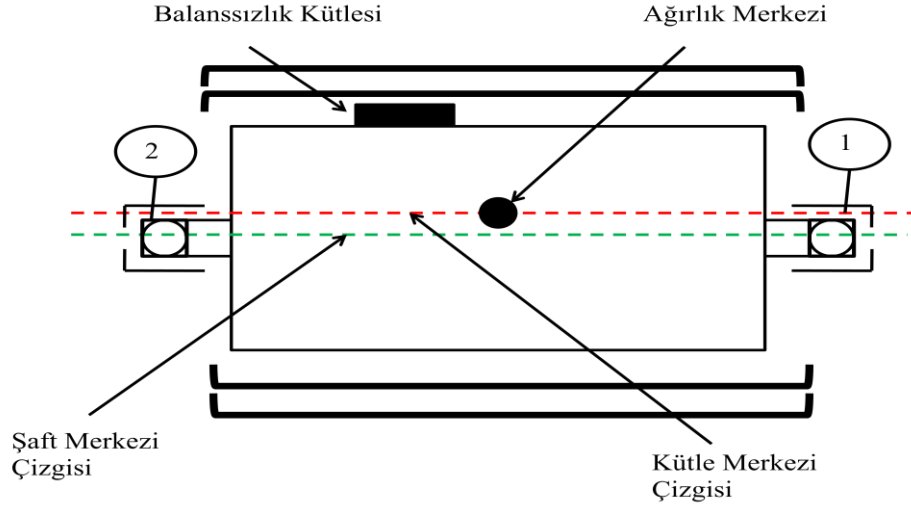


Şekil 3.35. Dengesizlik dalga form grafiği (Hancı, 2009)

Statik balanssızlık, kuvvet çifti balanssızlığı ve dinamik balanssızlık olmak üzere üç çeşit balanssızlık vardır ve açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

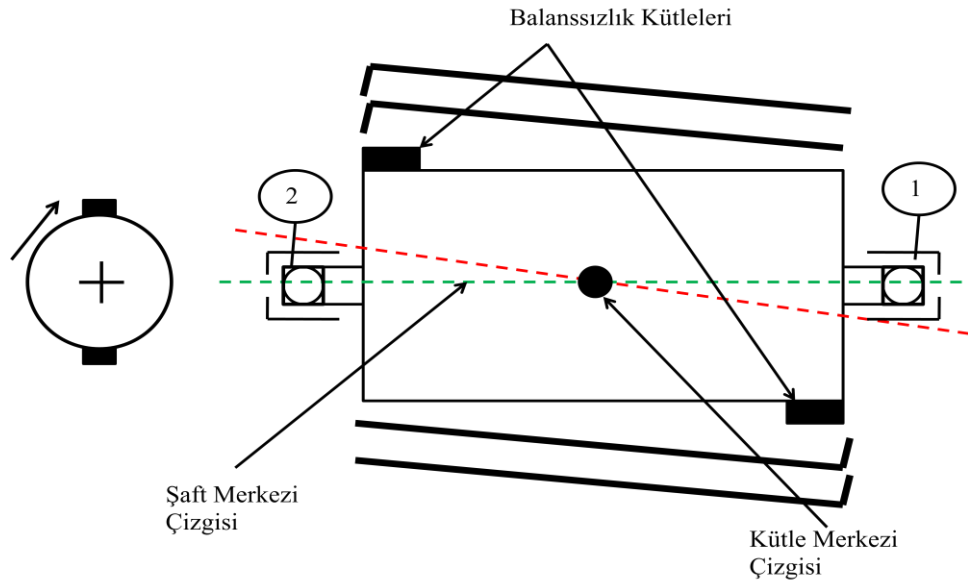
Statik balanssızlık: Balanssızlığı ortaya çıkmasına neden olan kütlenin merkez çizgisinin, shaft merkez çizgisine paralel ve belirli bir mesafede olması sonucu meydana gelir (Şekil 3.36.). Statik balanssızlığın özellikleri; titreşimlerin iki yatakta da eşit fazda

olması ve balanssızlığa neden olan kütlenin zıt yönünde eşit bir kütle uygulanması ile tek düzlemde çok kolay giderilebilmesidir.



Şekil 3.36. Statik balanssızlık (Hancı, 2009)

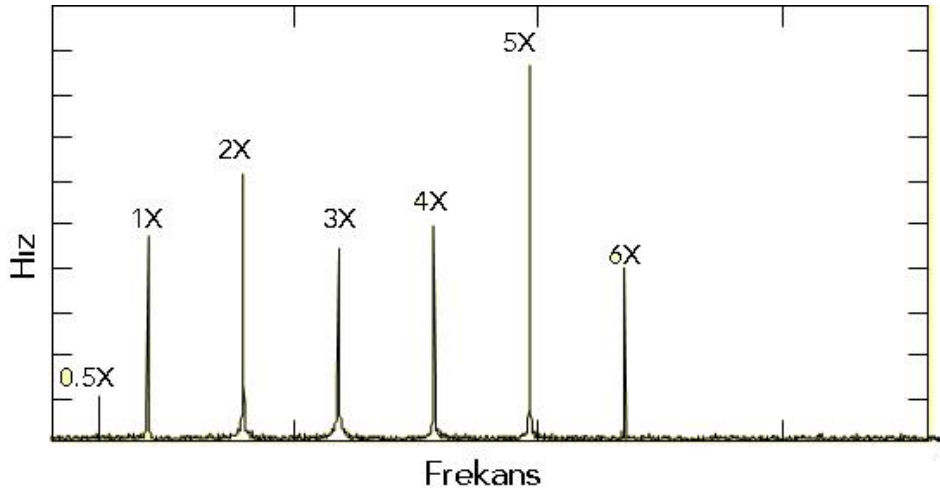
Kuvvet çifti balanssızlığı: Balanssızlığın ortaya çıkmasına neden olan kütlenin merkez çizgisinin şaft merkez çizgisini ortadan kesmesidir. Şekil 3.37.' de görüldüğü gibi birbirinden farklı iki düzleme 180° açı ile yerleştirilen iki kütlenin balanssızlığa neden olmuştur.



Şekil 3.37. Kuvvet çifti balanssızlığı (Hancı, 2009)

Dinamik balanssızlık: Endüstride en yaygın karşılaşılan balanssızlık türüdür. Kuvvet çifti balanssızlık ve statik balanssızlığın birleşimidir. Balanssızlığın ortaya çıkmasına neden olan kütle merkezi ne bu merkezi ortadan keser ne de şaft merkezine paraleldir.

Mekanik gevşeklik: Çalışan makine parçaları, örneğin ayak cıvataları gibi, zamanla gevşeyerek zayıflıklara neden olur. Bu tip durumlarda titreşimin spektrum grafiğinde mil dönme devrinin çoklu katlarında, 1X, 2X, 3X, 4X gibi frekanslar oluşur. Bu tip bir sorunla karşılaşıldığında gevşeklik yorumu yapılabilir ve gevşemelerden kaynaklanan sorunun büyümesi engellenir. Dikey yönden alınan ölçümde daha kolay olarak yakalanabilir (Karadayı, 2011). Şekil 3.38.' de mekanik gevşeklik spektrum grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.38. Mekanik gevşeklik spektrum grafiği (Karadayı, 2011)

Rulman arızaları: Rulman arızaları genel olarak yanlış montaj, kirlenme, yanlış yağlama ve yorulmadan kaynaklıdır.

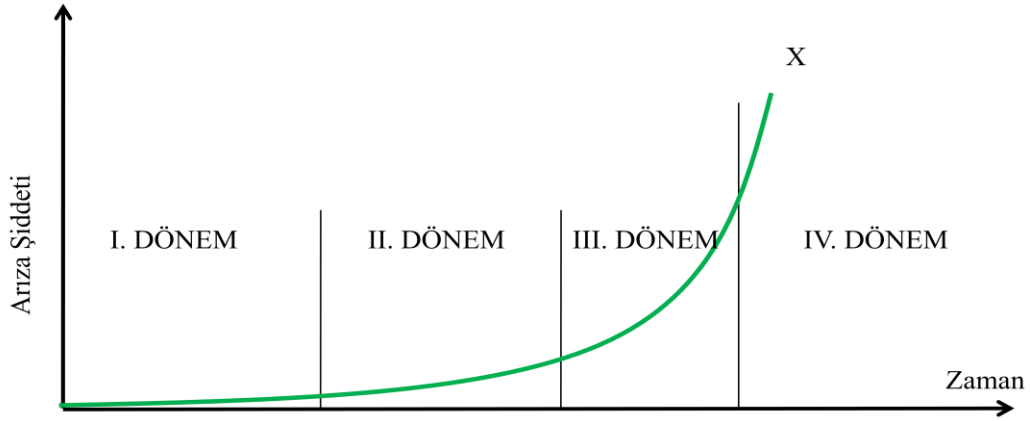
Yanlış montaj: Kalyoncu (2004) tarafından erken rulman hasarlarının %16' sı yanlış montajdan kaynaklandığı, özel araç gereç ve teknikler kullanılarak yapılan profesyonel montajın en uzun makine çalışma süresine ulaşma yolunda atılan önemli bir adım olduğunu bildirilmiştir.

Kirlenme: Kalyoncu (2004) tarafından Erken rulman hasarlarının %14' ü yağa karışan yabancı madde (kir, su gibi) problemlerinden olduğu, bir rulmanın hem kendisi hem de yağ kirlilikten tamamen uzaklaşmadıkça verimli çalışmayacağı bildirilmiştir.

Yanlış yağlama: Kalyoncu (2004) tarafından erken rulman hasarlarının %36' sı hatalı seçilmiş yağ kullanmaktan ya da yağın yanlış uygulanmasından kaynaklı olduğu çünkü rulmanlar, makinelerin en zor ulaşılabilir parçaları olduğundan, yağlamaya önem verilmemesi problemi büyüttüğü bildirilmiştir.

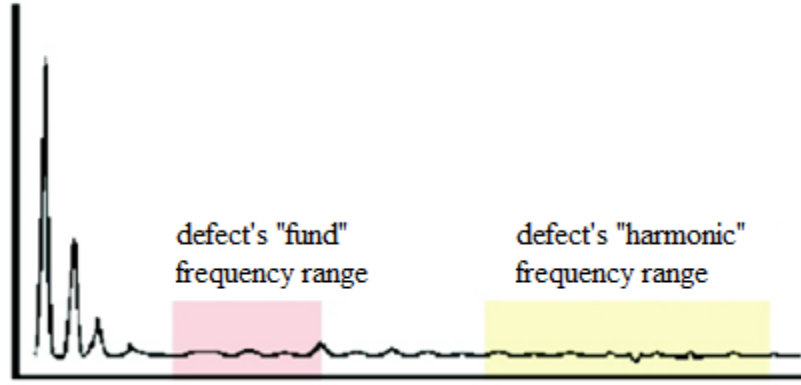
Yorulma: Kalyoncu (2004) tarafından erken rulman arızalarının %34' ü aşırı yüklenmiş, yanlış bakım ya da ihmal edilmiş makineler yüzünden olduğu, rulmanlar durum izlemeye bağlı bakım programları ile saptanabilen "erken uyarı" sinyalleri yaydıklarından, ani arızalar engellenebildiği bildirilmiştir.

Rulman arızaları 4 aşamadan oluşur (Şekil 3.39.) .



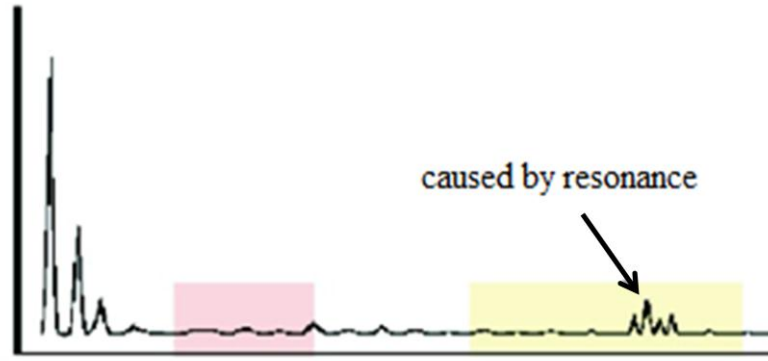
Şekil 3.39. Rulman arızası gelişim grafiği (Karadayı, 2011)

Birinci aşama: Arızanın başlangıcında spektrum grafiğinde arıza titreşim frekansının harmonikleri gözlemlenirken temel arıza frekansı gözlemlenmez (Şekil 3.40.).



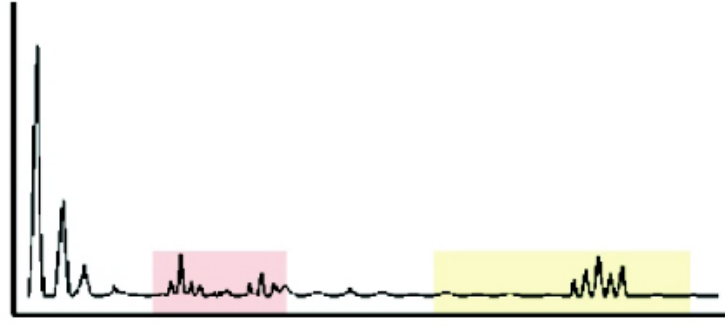
Şekil 3.40. Rulman arızalarında birinci aşama (Kalyoncu, 2004)

İkinci aşama: Bu aşamada spektrum grafiğinde arıza titreşim frekansının gözlemlenen harmonikleri artar. Arıza devam ettiğinde arıza titreşim frekansları mil dönme hızı ile modülasyona uğrayarak yan bantların oluşmasına neden olur. Yan bantların genlik büyüklüğü merkez frekansın genlik büyüklüğünü geçmesi arızanın önemli ve büyük bir arıza olduğunun işaretidir (Şekil 3.41.) .



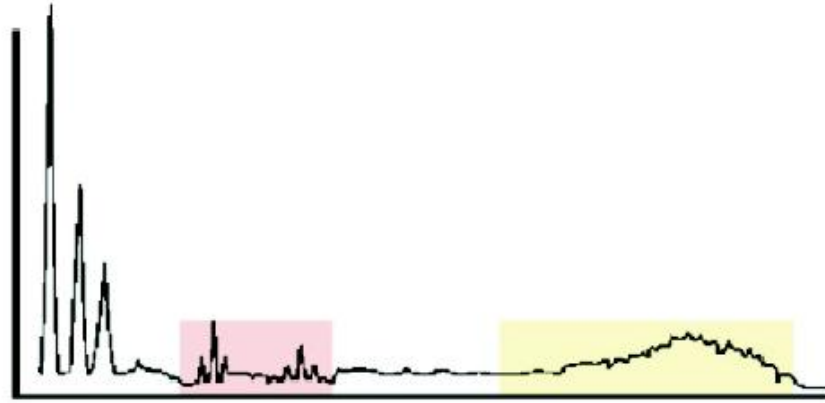
Şekil 3.41. Rulman arızalarında ikinci aşama (Kalyoncu, 2004)

Üçüncü aşama: Bu aşamada spektrum grafiğinde arıza titreşim frekansı harmonikleri ve yan bantlara ek olarak ayrıca temel arıza frekansı da gözlemlenir. Özellikle yan bant oluşumları rulman arızalarının frekanslarına eşlik ettiği zaman arıza gözle görülür seviyeye ulaşmış demektir (Şekil 3.42.). Bu aşamada rulman değiştirilmelidir.



Şekil 3.42. Rulman arızalarında üçüncü aşama (Kalyoncu, 2004)

Dördüncü aşama: Bu aşamada spektrum grafiğinde geniş bant gürültüsü oluşur (Şekil 3.43.). Titreşim genlikleri azalabilir ve geniş bant gürültüden zor ayırt edilir. Mil devir frekansı ve harmonikleri artar. Rulman arıza frekansları dağınık ve geniş bant gürültü frekansları görüntüsünü alır. Rulman bozulmaya devam eder ve rulman elemanlarının bozulma hızını arttıran iç boşluklar artmaya başlar. Bu boşluklar rulman elemanları arasındaki çarpmaları artırır.



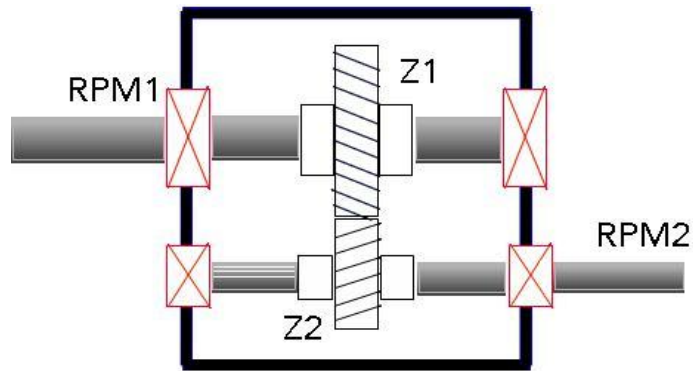
Şekil 3.43. Rulman arızalarında dördüncü aşama (Kalyoncu, 2004)

Dişli arızaları: Sanayide kullanım alanı çok fazla olan dişli kutularında meydana gelen arızalar titreşim analizi ile tespit edilebilir. Dişli kutuları birden fazla frekans üretirler ve en önemlisi dişlinin diş sayısı ve dişlinin devir sayısının çarpımına eşit olan dişli geçiş frekansıdır.

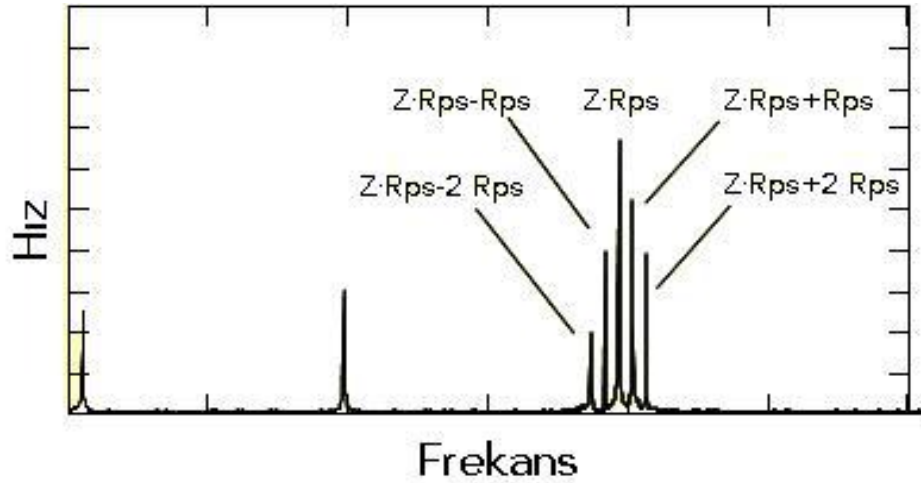
Makinelerde dişliler sıklıkla güç ve hareket aktarım elemanı olarak kullanılmaktadır. Dişli ağ frekansı yöntemi (GMF) ile dişli arızaları tespit edilir. GMF değeri GMF eşittir; dişli sayısı çarpı dişlilerin dönüş hızı formülü ile hesaplanır.

$$GMF = \text{dişli sayısı} \times \text{dişlilerin dönüş hızı} \quad (3.6)$$

Basit bir dişli kutusunun gösterimindeki (Şekil 3.44.) çalışan dişlilerin dişli geçiş frekansları birbirine eşittir. Spektrum grafiğinde dişli geçiş frekansları görünür. Eğer dişlilerde arıza varsa bu frekansın yan bantları Şekil 3.45.' te görüldüğü gibi oluşur ve dişlide arıza olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 3.44. Basit bir dişli kutusu gösterimi (Karadayı, 2011)



Şekil 3.45. Dişli geçiş frekansı ve dişli hasarının spektrum grafiğindeki görünümü (Karadayı, 2011)

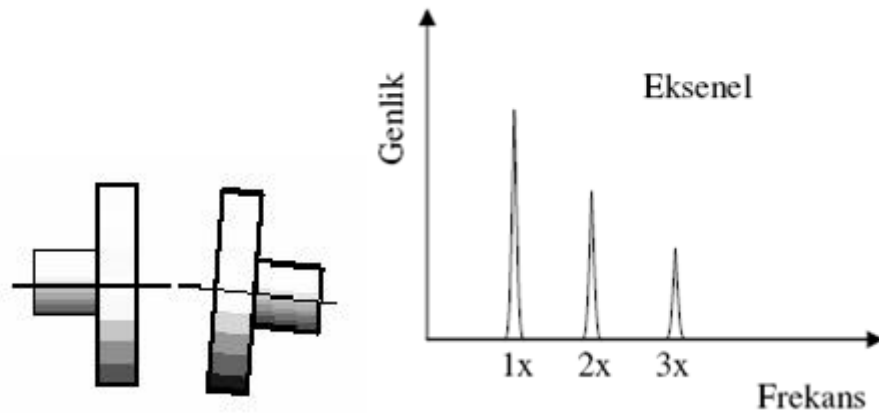
Mil dönme devir frekansı Rps ile ifade edilir. Dişli arızaları; dişli kutusunun kademesine, belirlenecek devir ve dişli sayılarına göre hesaplanarak ya da ölçüm cihazları vasıtası ile otomatik olarak hesaplanarak tespit edilir.

Kayış arızaları: İşletmelerde sıklıkla kullanılan bir diğer aktarma şekli de kayışlı aktarmadır. Titreşim analizi ile kayış arızaları da tespit edilebilir.

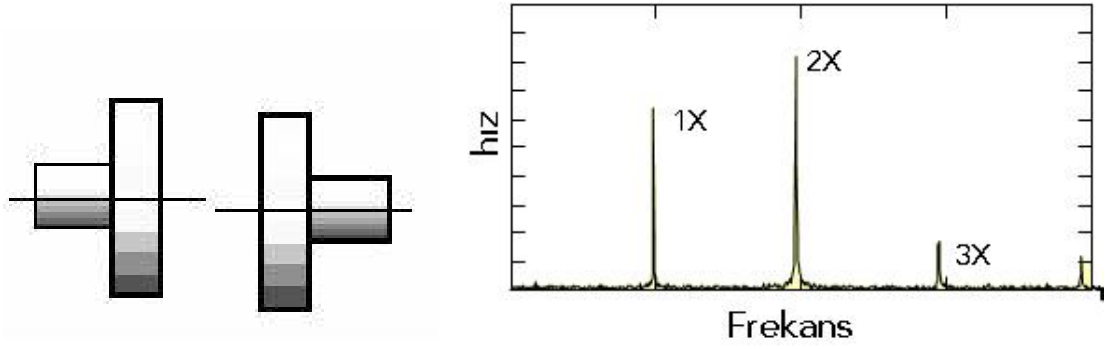
Akış problemleri: Titreşim analizi ile akış problemleri tespit edilebilir. Akışkan, pompa boşluğunda ötelenirken oluşan hidrodinamik kuvvetlerin dengesizliği nedeni ile pompalarda oluşan bir problemdir.

Eksen kaçıklığı: Döndürülen ya da dönen makine millerinin aynı merkezde olmamasından kaynaklanır. Makinelerin yanlış montajı ya da standartları dışında ön yüke maruz kalan rulman yatağının ısı genleşmesi nedeni ile meydana gelir. Genellikle milleri bağlayan kaplinlerde, ara bağlayıcılarda ve V kayışlar arasında olduğu değerlendirilmektedir.

Açısal (Şekil 3.46.), paralel (Şekil 3.47.) ve iç olarak üç çeşit eksen kaçıklığı vardır. Tüm eksen kaçıkları makinelerde gözle görülür bir dengesizlik oluşturur. Bunun sonucunda ise spektrum grafiğinde 1x frekansında bir tepecik oluşmasına neden olan titreşim meydana getirir.



Şekil 3.46. Açısal kaçıklık ve açısal kaçıklık spektrum grafiği (Karadayı, 2011)

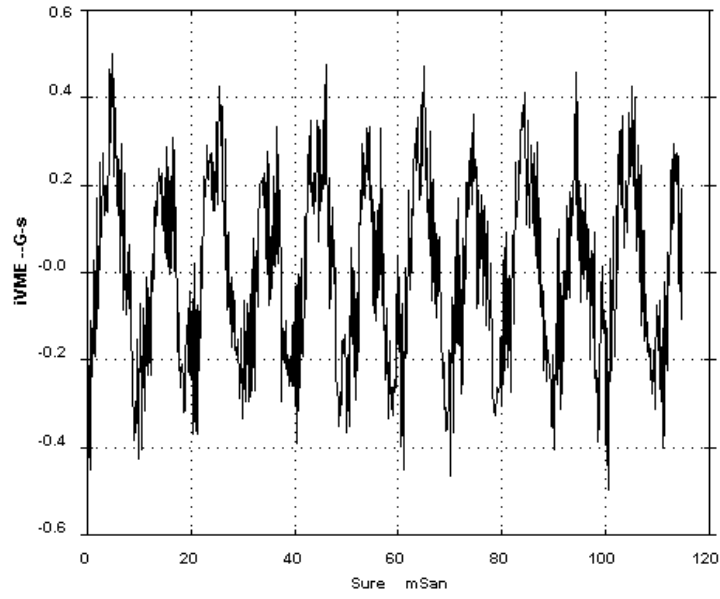


Şekil 3.47. Paralel kaçıklık ve paralel eksenel kaçıklık spektrum grafiği (Karadayı, 2011)

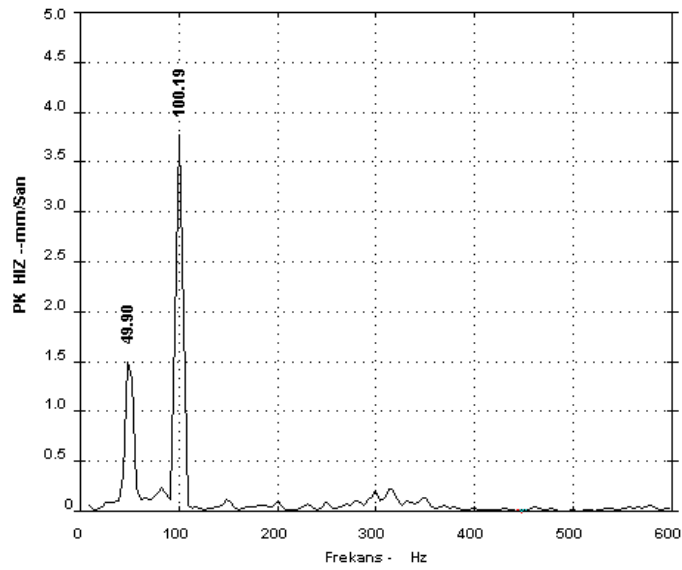
Paralel ve iç (yatak) eksen kaçıklığı aynı zamanda 2x harmonik frekansında bir tepelik meydana gelmesine neden olur. Mil bir devir yaptığı halde iki yüksek frekans oluşturur. Bunlar mil devrinin birinci (1x) ve ikinci (2x) harmonikleridir. Açısal eksen kaçıklığı çok farklı şekillerde kendini belli eder ve titreşim spektrum grafiğinde 1x ve 2x bileşenlerinin oluşmasına neden olur. Aynı zamanda faz ilişkisine bağlı olarak üçüncü harmonik (3x) frekansının da oluşmasına neden olabilir. Kuvvetli bir eksenel titreşim oluşturur.

Bazı durumlarda mekanik gevşeklik ile eksen kaçıklığını birbirinden ayırmak zordur. Eğer dalga formu tekrar eden bir şekilde ilerliyorsa eksen kaçıklığına var demektir. Paralel eksen kaçıklığı radyal yönde kaplin boyunca tipik olarak $180^\circ (\pm 30^\circ)$ faz kayması, açısal eksen kaçıklığı ise eksenel yönde kaplin boyunca tipik olarak $180^\circ (\pm 30^\circ)$ faz kayması göstermektedir. Rulman eksen kaçıklığı ise rulmanın bir yanından diğer yanına veya üst ünden altına doğru $180^\circ (\pm 30^\circ)$ faz kayması göstermektedir. Eksen kaçıklığı olan rulman, bazen yuvarlanma elemanı sayısı ile dönme hızının çarpımından elde edilen frekansta titreşime sebep olur. Rulman eksen kaçıklığı, rulmanın bir yanından diğer yanına veya üstünden altına $180^\circ (\pm 30^\circ)$ faz kayması gösterir.

Örneğin 2900 d/d ile dönmekte olan bir pompada kaplin ile mil arasında oluşan eksen kaçıklığının neden olduğu titreşimin dalga formu grafiğinde düzenli tekrarlı sinyallerin oluşması (Şekil 3.48.), spektrum grafiğinde ise mil dönme devrinin 2 katında baskın frekansın oluşması (Şekil 3.49.) ile eksen kaçıklığı kendini belli etmektedir (Hancı, 2009).



Şekil 3.48. Eksen kaçıklığı dalga form grafiği (Hancı, 2009)



Şekil 3.49. Eksen kaçıklığı spektrum grafiği (Hancı, 2009)

Ölçüm sonucunda oluşan arızanın dengesizlik mi eksen kaçıklığı mı olduğu hakkında kesin olarak bir karara varılamıyorsa, makineyi değişik hızlarda çalıştırıp dönme devri frekansının genliğini izlemek kolaylık sağlar. Eğer dengesizlik varsa makinenin hızı artırılınca titreşimin genliği de artacaktır. Tüm arızalarda olduğu gibi

dengeşizlik ve eksen kaçıklığı problemleri zamanında giderilmediği takdirde makinede başka arızaların oluşmasına neden olabilir (Hancı, 2009).

Eksen kaçıklığı, rulmanların dizayn edilen ve taşıyacağı yüklerden daha fazla yük taşımaya sebep olur. Bu yüzden rulmanların daha erken yorulmalarına neden olmaktadır. Rulmanların erken yorulması; rulmanların yük taşıma yüzeylerinin altına uygulanan ekstra bir kuvvet yüzünden yuvarlanma yüzeylerinde parça kopmalarının olmasına neden olur. Buda aşırı sürtünmeden kaynaklanan sıcaklık artışına ve kaplinde de hasar oluşmasına neden olmaktadır. Tüm bunların sonunda da makinelerde titreşim ve gürültü artar.

Elektriksel arızalar: Titreşim analizi ile elektriksel problemlerin tespit edilebilmesi her ne kadar garip görünse de, motorun oluşturduğu manyetik alan ve tetiklediği manyetik kuvvetler yataklara iletilir ve titreşimler olarak algılanır.

3.1.4. Kestirimci Bakımın Uygulama Basamakları

Kestirimci bakım ölçüm, analiz ve onarım olmak üzere 3 basamakta uygulanmaktadır.

Ölçüm: Öncelikle ölçüm yapılacak kritik noktalar belirlenerek ölçümler yapılır.

Analiz: Ölçüm ile elde edilen veriler üretici firma tarafından belirlenen standartlara göre analiz edilerek anormaliteler ortaya çıkartılır. Olası arızaların kaynağı tespit edilir.

Onarım: Üretim programına bağlı olarak planlı duruşlarda gerekli onarım faaliyetleri yapılır.

3.1.5. Kestirimci Bakım Organizasyonlarında İzlenecek Yol

Kalyoncu (2004) tarafından kestirimci bakım organizasyonlarında izlenecek yol aşağıdaki gibi bildirilmiştir;

- Programda yer alacak makinelerin listelenmesi,
- Makinelerin işletmedeki yerlerini gösteren krokinin çizilmesi,
- Her makinede ölçüm alınacak noktaların, ölçüm yönlerinin ve şekillerinin belirlenmesi,
- Her ölçüm noktasındaki ölçüm biriminin belirlenmesi,
- Geçerli alarm seviyelerinin her nokta için belirlenmesi,

- Her makinenin basit bir çiziminin çizilmesi ve makine özelliklerinin belirlenmesi,
- Her makinenin temel ölçüm değerlerinin alınması,
- Ölçüler arasındaki zaman diliminin belirlenmesi,
- Ölçüm noktasının ve makinelerin isimlendirilmesi,
- Rota içinde yer alan makinelerin sıralanması,
- Uygulamayı yapacak elemanların eğitilmesi.

3.1.6. Kestirimci Bakım Uygulanacak Makinelerde Dikkate Alınması Gereken Tedbirler

Kestirimci bakım uygulanacak makinelerde dikkate alınması gereken tedbirler aşağıdaki gibidir;

- Makinenin çalışma sürekliliği,
- Makinenin cinsi,
- Makinenin devri,
- Makine parçalarının cinsi,
- Makinenin çalışma koşulları,
- Makinenin bulunduğu fiziki şartlar,
- Makinenin üretim için önemi,
- Makinede oluşabilecek arızalar,
- Makinenin çalışma standardı,
- Makinenin arıza sıklığı,
- Makinenin özellikleridir.

3.2. Yöntem

Çalışmada, İskenderun ve Osmaniye Organize Sanayi Bölgelerinde yer alan büyük ölçekli fabrikalarda, Thermex Su Pompalarında Titreşim Analizi ile Arıza Teşhisi, Doğalgaz Hat Borularının Ultrasonik Testler ile Kontrolü, Fırın Sirkülasyon Elektrik Makinelerinde Termografik Test ile Arıza Teşhisi, Hidrolik Sistemlerin Yağ Analizi uygulamalarını inceledim.

İskenderun Organize Sanayi Bölgesi'nde demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren büyük ölçekli bir fabrikanın üretim hattında inşaat demirlerini sertleştirmek için kullandığı su basınçlama sisteminin thermex motorlarında titreşim analizi ile arıza

tespiti uygulaması incelenmiştir. Bu motorlar fabrikanın kullandığı SKF CMXA 75 vibrasyon ölçüm ve analiz cihazı ile 30 günlük, 45 günlük ve 90 günlük periyotlarla titreşim ölçümüne tabi tutulmaktadır. Fabrikadaki bakım personeli tarafından Prisma programı ile gerekli alt yapı oluşturulmuş, motorlar ile ilgili girdiler yapılmıştır.

Periyodik ölçümü gelen motorların veri tabanları RS 232 kablo vasıtası ile SKF CMXA 75 vibrasyon ölçüm ve analiz cihazına aktarılmış ve sırasıyla motorlara temaslı probalar vasıtası ile yatay, hız, düşey ve eksenel olmak üzere dört ekseninde ölçüm yapılmıştır. Tüm ölçümler tamamlandıktan sonra alınan ölçüm değerleri RS 232 kablo vasıtası ile Prisma programına aktarılmış ve sonuçlar bilgisayarda fabrika verileri ve önceki ölçümlere göre incelenmiştir.

Osmaniye Organize Sanayi Bölgesinde APL5L standardında üretilen ve çok yüksek basınçlara maruz kalan doğalgaz hat borularının kontrolünde kullanılan hat içi ve hat dışı ultrasonik test uygulaması incelenmiştir.

Yüksek frekanslı kaynak uygulamasından sonra; yapılan kaynak hat içi testten geçirilmiştir. Bu test ile borunun kaynak hattı üzerindeki çatlak, korozite, kaynaklanmamış bölge, çapak ve boşluklar tespit edilmiştir. Tespit kaynak hattı boyunca konumlandırılmış 8 farklı probun ses dalgalarını dış cidar ile iç cidar arasına yollaması ve bu ses dalgalarının bilgisayar tarafından analiz edilerek grafiğe dökülmesi ile yapılmıştır.

İn-line testler sonucunda hata tespit edilen bölümler boya ile işaretlenmiş bir sonraki istasyonda kesilerek borudan ayrılmıştır. Testten hatasız geçen borular uygun ölçülerde kesilerek robotlar vasıtası ile hat dışı UT' e alınmıştır. Hat dışı UT cihazının 8 probu boruya temas ettirilmiş ve kendi eksenleri etrafında döndürülerek gövde hata kontrolüne tabi tutulmuştur. UT testinden geçen borular kullanılacağı kapasitenin 10 katı kadar basınca tabi tutulmasına müteakip doğalgaz hattında kullanılmak üzere teslimata hazır hale gelmiştir.

Osmaniye Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren büyük ölçekli bir fabrikanın üretim hattında boyanmış ürünleri kurutmak maksadıyla kullandığı fırınların, iç ısısını homojen bir şekilde dağıtmasını sağlayan fırın sirkülasyon motorları incelenmiştir. Firma üretim hatlarında görev yapan 300 civarındaki motorunu 3 aylık periyotlarla düzenli olarak termal ölçüm testlerine tabi tutmaktadır. Bu ölçümler

firmanın bakım personeli tarafından kullanılan FLIR 60i termografik ölçüm cihazı ile yapılmaktadır.

Cihaz üzerine tutulduğu cisim üzerindeki ısı farklarının renk tonları ile derecelendirilmesi ile görüntüleme yapmaktadır. Firma bünyesindeki elektrik motorlarının sağlıklı çalışabileceği maksimum ısı değeri 70 °C olarak belirlemiştir. 70 °C üstüne çıkan motorlar sınırda kabul edilerek ilk duruşta bakıma alınması sağlanmaktadır. Motor için kritik ısı ise 80 °C ve üzeridir, ısının bu değerin üzerine çıkması durumunda motor çalışmaya devam ettirilmeyerek, derhal bakıma alınmaktadır.

Osmaniye Organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir firman periyodik olarak uyguladığı, hidrolik yağ analizi incelenmiştir.

Analizin sıhhatli olabilmesi için numune alma işlemi büyük bir titizlikle yapılmıştır. Numuneyi almaya müteakip dış etkilere maruz bırakılmadan numune kabı derhal kapatılmalı, analiz yapılacak laboratuara dökülmeden ve zamanında gönderimi sağlanmıştır. Yağ analizinde fabrika sonuçlar NAS standardını benimsemiştir. Sonuçlarda NAS -5 standardına göre değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Günümüz şartlarında işletmelerin müşterilerin taleplerini karşılayabilmek ve üretim maliyetlerini azaltabilmek için üretim yapan makinelerini sürekli çalışır durumda bulundurmak zorundadırlar. Bu da ancak arızanın daha oluşmadan tespit edilebilmesi ile mümkündür. Bu durum işletmeleri kestirimci bakım yöntemini kullanmaya itmektedir. Kestirimci bakım işletmelere zaman, maliyet, iş gücü ve verimlilik bakımından büyük avantajlar sağlamaktadır.

Çalışmanın uygulama bölümünde İskenderun ve Osmaniye Organize Sanayi Bölgelerinde yer alan büyük ölçekli fabrikalarda , Thermex Su Pompalarında Titreşim Analizi ile Arıza Teşhisi, Doğalgaz Hat Borularının Ultrasonik Testler ile Kontrolü, Fırın Sirkülasyon Elektrik Makinelerinde Termografik Test ile Arıza Teşhisi, Hidrolik Sistemlerin Yağ Analizi uygulamaları yapılmıştır.

4.1. Thermex Su Pompalarında Titreşim Analizi İle Arıza Teşhisi

İşletmeler üretim yaparken çok çeşitli makine ve ekipmanlarla çalışmaktadır. Bunlar arasında en sık kullanılan makine elemanları, dönme hareketi ile iş yapanlardır. Bu da titreşim (vibrasyon) analizini, kestirimci bakım uygulama yöntemleri arasında kullanımı en yaygın yöntem haline getirmektedir.

İskenderun Organize Sanayi Bölgesi' nde demir-çelik sektöründe faaliyet gösteren büyük ölçekli bir fabrikanın bir üretim hattında kullandığı thermex motorlarının titreşim analiz uygulaması incelenmiştir.

İnşaat demirlerinin sertleştirilmesinde kullanılan su basınçlanma sistemi, suyu belirlenen basınç seviyelerine içindeki thermex motorları vasıtası ile getirmektedir. Bu motorlar kestirimci bakım kapsamında 30 günlük, 45 günlük ve 90 günlük periyotlarla SKF' nin ürettiği CMXA 75 vibrasyon ölçüm ve analiz cihazı ile titreşim ölçümüne tabi tutulurlar (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. SKF CMXA 75 vibrasyon ölçüm ve analiz cihazı (Anonymous, 2014-d)

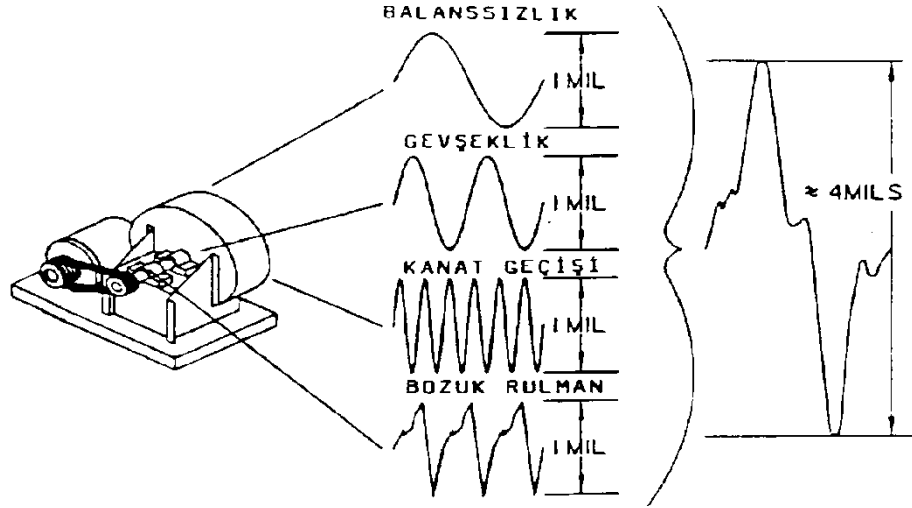
Fabrikada titreşim analizi yapabilmek için öncelikle bakım ekibi tarafından, fabrikada titreşim ölçüm analizine tabi tutulacak tüm makine elemanlarının listesi çıkartılır. Prisma Programı vasıtası ile her makine için bir ölçüm ağacı oluşturulur. Makine için oluşturulan her ağacın altına her bir makine elemanı için de ayrı birer ölçüm ağacı oluşturulur. Analizin yapılabilmesi için programa ölçümü yapılacak makinenin; gücü, devir, rulman cinsi (kodu), pompa mil çapı bilgileri girilir. Oluşturulan bu ölçüm ağacı sırasıyla; yatay, hız, düşey ve eksenel ölçüm elemanlarını ihtiva eder.

Ölçüm periyodu gelen makinenin veri tabanları RS 232 kablo vasıtası ile SKF CMXA 75 vibrasyon ölçüm ve analiz cihazına aktarılır. Ölçümü yapılacak olan makine elemanlarının önceden hazırlanıp SKF CMXA 75 vibrasyon ölçüm ve analiz cihazına yüklenen veri tabanları açılarak, temaslı probler vasıtası ile dört farklı eksenle ölçümü yapılır. Titreşim ölçümü yapılır iken, ölçümü yapılacak motorun karşılaştırmanın sağlıklı yapılabilmesi için fabrika verilerinde belirtilen devire yakın bir devirde olması gerekir.

Tüm ölçümler bittikten sonra RS 232 kablosu vasıtası ile ölçümler Prisma Programına aktarılır. Analiz SKF CMXA 75 vibrasyon ölçüm ve analiz cihazı üzerinde değil bilgisayarda gerçekleştirilir.

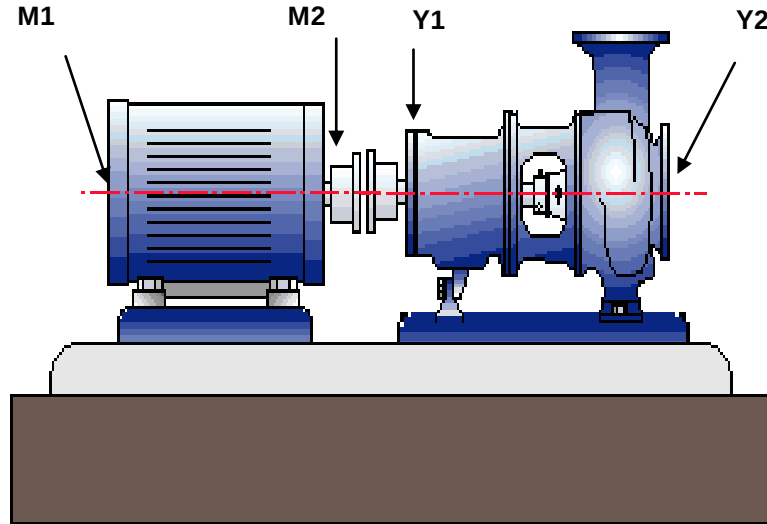
Analiz için üretici tarafından makine üretildikten sonra optimal koşullarda çalıştırılarak elde edilen fabrika değerleri ve daha önce yapılan ölçümler kullanılır. Yapılan analizin değerlendirilmesinde, teknikerin deneyimi ve bilgisi büyük önem arz

eder. Titreşim frekans analizinden elde edilebilecek bilgilerin bazıları Şekil 4.2.' de verilmiştir.



Şekil 4.2. Titreşim frekans analizinden elde edilebilecek veriler

Çalışmada örnek olarak verilen thermex su pompalarının (Şekil 4.3.) fabrika değerleri Çizelge 4.1.' de verilmiştir. Örnek motorda kabul edilebilir maksimum titreşim fabrika verilerine göre optimum devirde 7mm/sn' dir (Çizelge 4.2.).



Şekil 4.3. Thermex su pompası

Çizelge 4.1. Thermex su pompalarının fabrika değerleri

MOTOR		POMPA	
Ekipman Kodu	Oksijen su pom. 1	Ekipman Kodu	Oksijen su pom. 1
Motor Tipi	GM 280 M4	Pompa tipi	150 / 500
Marka	Gamak	Marka	Turbosan
Seri No		Seri No	
Kw	90	Debi (m ³ /h)	350
Amp	170	MSS	61.2
Devri (dev/dak)	1480	Devri (dev / dak)	1500
Bakım Aralığı	60 gün	Bakım aralığı	
M1 Rulman	6316	Y1 Rulman	6311
M2 Rulman	6317	Y2 Rulman	6311

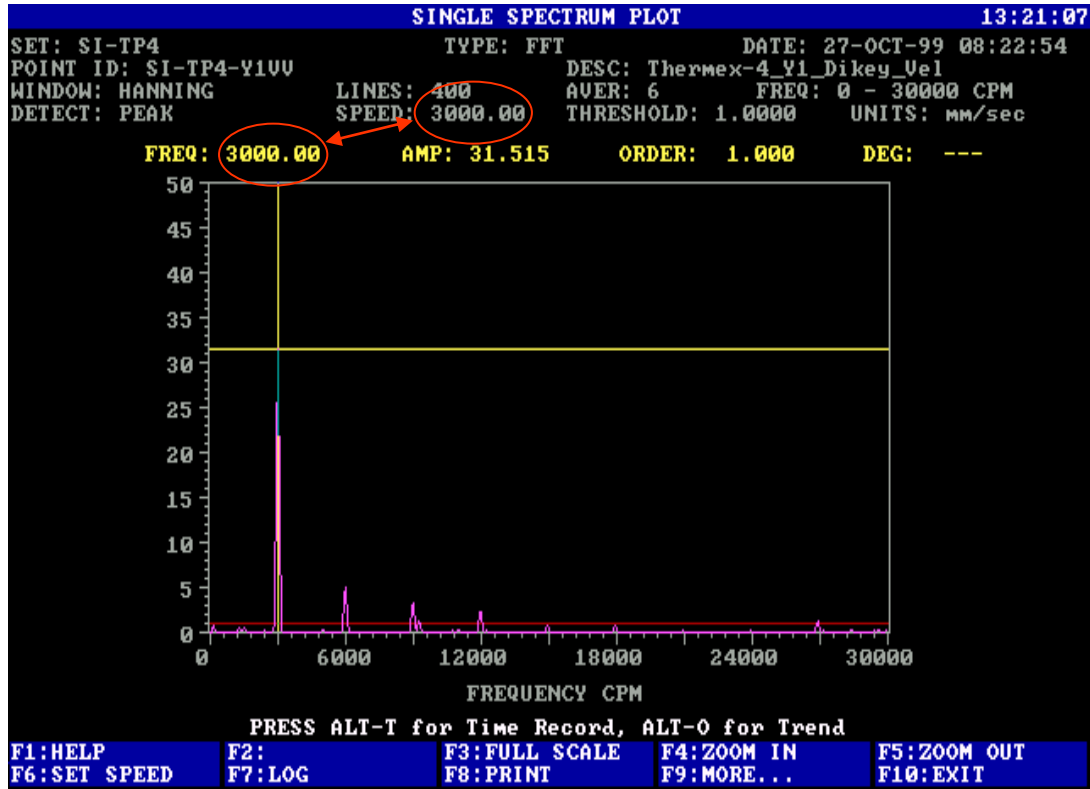
Çizelge 4.2. Elektrik Motorlarının Titreşim sınır değerleri

KABUL EDİLEMEZ	KABUL EDİLEMEZ	KABUL EDİLEMEZ	-45
			-28
SINIRDA KABUL EDİLEBİLİR	SINIRDA KABUL EDİLEBİLİR	SINIRDA KABUL EDİLEBİLİR	-18
			-11.2
KABUL EDİLEBİLİR	KABUL EDİLEBİLİR	KABUL EDİLEBİLİR	-7.1
			-4.5
İYİ (Küçük Makineler)	İYİ (Özel temeller üzerine oturtulmuş orta büyüklükte makineler)		-2.8
		İYİ (Tabii frekansları makine hızından fazla olan temel oturtulmuş büyük makineler)	-1.8
			-1.12
			-0.71
			-0.45
			-0.28
			-0.18
			mm/sn

Grup K < 15 KW	Grup M 15-75 KW	Grup G > 75 KW
-------------------	--------------------	-------------------

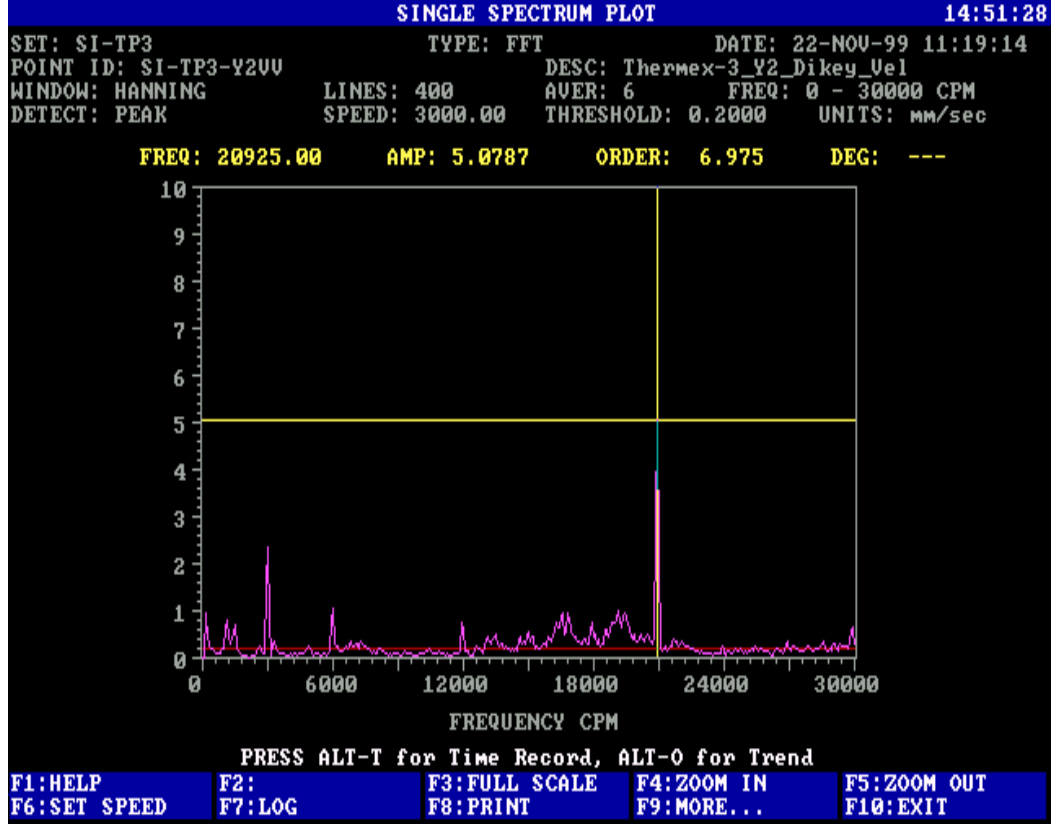
Titreşim sınır değeri (10 Hz – 1 kHz)

4 numaralı thermex pompasından alınan vibrasyon ölçüm değerinin analizi sonucunda; radyal ölçümde, 1xRPM de 31.5 değerinde tek düzlem balanssızlık piki gözlemlenmiş ve arızanın balanssızlıktan kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 4.4.). İlk planlı duruşta Y1 (pompa iç rulman) rulmanı değiştirilmiştir. Motor tekrar devreye alınmış ve vibrasyon ölçümleri kontrol amaçlı tekrar yapılmıştır. Tekrar alınan vibrasyon ölçüm değerinin analizi sonucunda; titreşim değerleri kabul edilebilir değerler içinde çıkmıştır.



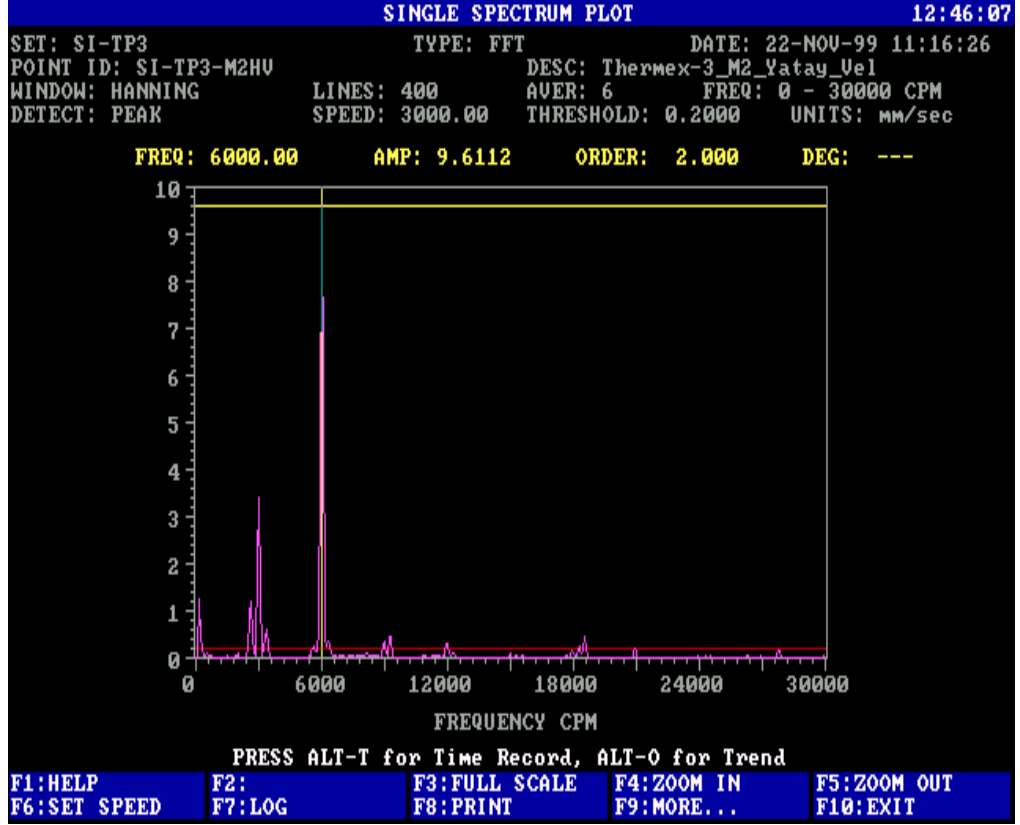
Şekil 4.4. 4 numaralı thermex pompasının ölçüm grafiği

3 numaralı thermex pompasından alınan vibrasyon ölçüm değerlerinin analizi sonucunda; spektrum grafiğinde kısa süreli, sönümlü sinyaller gözlemlendiğinden dolayı rulmanda 3' üncü aşama bir hasar olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 4.5.). İlk planlı duruşta rulman değiştirilmiş. Motor tekrar devreye alınmış ve vibrasyon ölçümleri kontrol amaçlı tekrar yapılmıştır. Tekrar alınan vibrasyon ölçüm değerinin analizi sonucunda; titreşim değerleri kabul edilebilir değerler içinde çıkmıştır.



Şekil 4.5. 3 numaralı thermex pompasının ölçüm grafiği

3 numaralı thermex pompasından alınan vibrasyon ölçüm değerlerinin analizi sonucunda; 1xRPM de 3.5 mm/sn, 2xRPM de ise 9.6 mm/sn' lik tepecikler olduğu gözlemlenmiştir. 1X frekansının, 2X frekansından daha düşük olması ve tepeciklerin sonraki devirlerde azalarak seyretmesinden dolayı kaplinlerde paralel kaçıklık olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 4.6.). İlk planlı duruşta motor konumu yeniden düzenlenmiş ve motor tekrar devreye alınmıştır. Vibrasyon ölçümleri kontrol amaçlı tekrar yapılmış ve alınan vibrasyon ölçüm değerinin analizi sonucunda; titreşim değerleri kabul edilebilir değerler içinde çıkmıştır.



Şekil 4.6. 3 numaralı thermex pompasının ölçüm grafiği

30 Günlük periyotlar halinde alınan ölçüm değerleri bir tabloda birleştirilerek, her bir pompa için ortalama titreşim değerleri bulunur (Çizelge 4.3.). Bu veriler bize sonuçların analizi için ortalama değerler sağlar. Kabul edilebilir vibrasyon değeri pompanın monte edildiği zemin, çalışma şartları, önceki çalışma değerleri ve kombine çalıştığı diğer sistemlere göre esneklik gösterebilmektedir.

Örneğini verdiğimiz su basınçlandırma sisteminde 8 adet thermex pompa aynı hat üzerinde kombine çalışmaktadır. Motor ve pompa tipleri aynı olmasına rağmen son pompada basıncın daha fazla olmasından dolayı titreşim de fazla olmaktadır. Bu sonuca ancak periyodik ölçümlerin birleştirilmesi ile ulaşılabilmektedir. Sonucu değerlendiren tekniker bunu dikkate almak durumundadır. Bu da kestirimci bakımın analizinde deneyimli bir teknikerin önemini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.3. Thermex motorları vibrasyon ölçüm verileri

	Nis. 99	May. 99	Haz. 99	Tem. 99	Ağu. 99	Eyl. 99	Eki. 99	Kas. 99	Ara. 99	Oca. 00	Şub. 00	Mar. 00
Thermex-1	5.35	5.55	6.1	5.7	7.29	6.9	7.7	6.9	7.47	5.5	5.5	6.02
Thermex-2	11.85	19.8	13.2	10.9	0	4.6	5.8	4.57	4.74	4.38	5.7	4.8
Thermex-3	9.3	7.8	8	6.85	8.5	0	0	9.7	6.3	8.8	0	0
Thermex-4	16.7	10.7	17.36	20.3	28.4	24.8	34.2	14.4	9.9	8.3	8	7.4
Thermex-5	0	0	0	0	10.5	9.3	8.7	4.7	0	0	0	6.8
Toplam	43.2	43.85	44.66	43.75	54.69	45.6	56.4	39.46	28.41	26.98	19.2	25.2
mm/sn Ölçüm Ortalaması	10.8	11.0	11.2	10.9	13.7	11.4	14.1	7.9	7.1	6.7	6.4	6.3

Titreşim analizi yönteminin ZGFT (zayıf ve güçlü yönleri ile fırsat ve tehditleri)(SWOT: strengths, weaknesses, opportunities and threats) analizi Çizelge 4.4.' te belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.4. Titreşim analizi için SWOT analizi

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
✓ Titreşim analizi metodu ile arıza ile ilgili net sonuçlara ulaşılabilmesi. ✓ Arıza oluşmadan tespit edilmesi ve arızanın komplike bir hale gelmeden engellenebilmesi. ✓ Üretim hattında arızadan kaynaklı plansız duruşların önüne geçilmesi. ✓ Arızadan kaynaklı kazaları önleyerek, iş güvenliğini arttırması. ✓ Diğer kestirimci bakım metotlarına göre uygulama alanının daha geniş olması.	✓ Kalifiye bakım personelinin az olması. ✓ Bakım personelinin grafikleri yorumlayabilmesi ve arızayı tespit edebilmesi için deneyimli olması zorunluluğu. ✓ Çok fazla ölçüm noktası olmasından dolayı ölçüm işlemini uzun sürmesi. ✓ Hatalı prob tutuşundan kaynaklı, yanlış ölçümlerin yapılabilmesi. ✓ Yağ kaçaklarını tespit edememesi.

Çizelge 4.4. (Devam) Titreşim analizi için SWOT analizi

✓ Gereksiz yedek parça stokunu riske girmeden azaltması. ✓ Arızalı malzemenin önceden tespit edilip, planlı duruşlarda değiştirilmesine imkan sağlaması. ✓ Onarım personeli azaltması. ✓ Yapılan bakımın faydası kontrol edilebildiğinden, bakım verimliliğinin yükseltilmesi.	✓ Kestirimci bakım uygulamasının işletmeye alınmasının maliyetli olması. ✓ İşletmelerin kullanım ömrü dolmak üzere olan, çalışan bir malzemeyi değiştirmek yerine arıza çıkana kadar kullanmak istemesi. ✓ Günümüzde hala birçok üretici firmanın bakıma yeteri kadar önem vermemesi ve gittiği yere kadar felsefesini izlemesi.
Fırsatlar	Tehditler

4.2. Doğalgaz Hat Borularının Ultrasonik Testler İle Kontrolü

Ultrasonik ölçüm yöntemi, yüzey altında bulunan kusurları (deformasyonları) tespit etmek için; ultrasonik ses dalgalarının teste tabi tutulacak parçalara gönderilmesi ve bu dalgaların parça içinde ilerlerken kusurlardan dolayı gösterdikleri değişimlerin yorumlanması üzerine kurulmuş bir kontrol sistemidir.

Osmaniye Organize Sanayi Bölgesinde APL5L standardında üretilen ve çok yüksek basınçlara maruz kalan doğalgaz hat borularının kontrolünde kullanılan hat içi (on-line) ve hat dışı (off-line) olmak üzere iki farklı ultrasonik test (UT) uygulaması incelenmiştir.

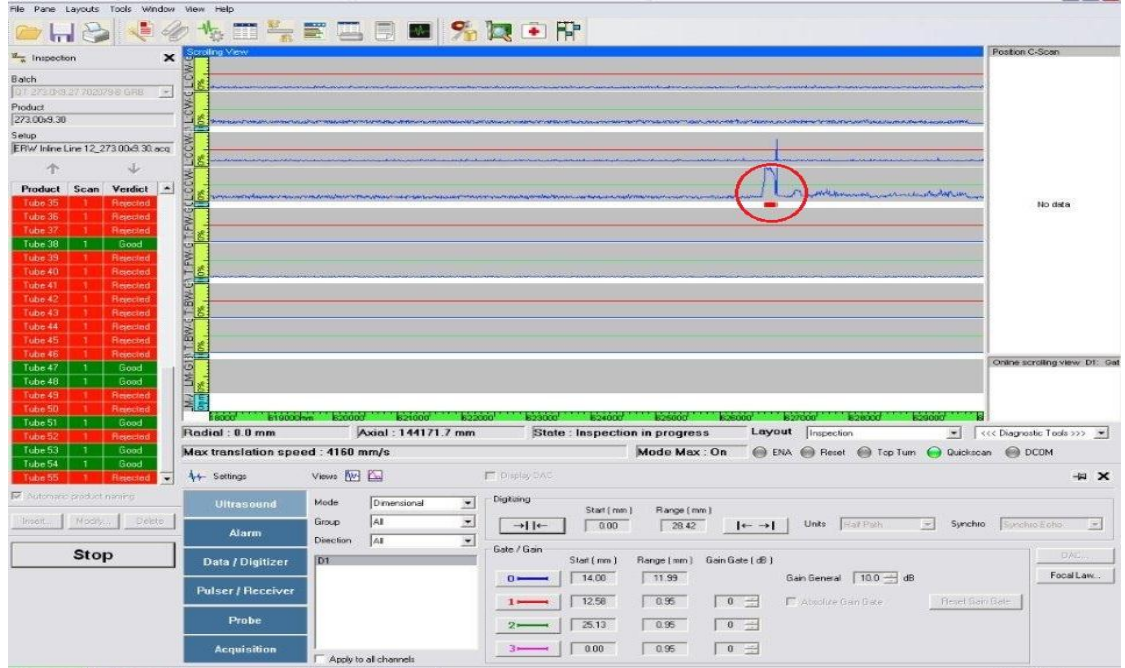
Bükümden çıkan borular yüksek frekanslı kaynak ile kaynatıldıktan sonra; yapılan kaynak hat içi testten geçirilmiştir. Bu test ile borunun kaynak hattı üzerindeki çatlak, korozite, kaynaklanmamış bölge, çapak ve boşluklar tespit edilmiştir. Tespit kaynak hattı boyunca konumlandırılmış 8 farklı probun ses dalgalarını dış cidar ile iç cidar arasına yollaması ve bu ses dalgalarının bilgisayar tarafından analiz edilerek grafiğe dökülmesi ile yapılmıştır (Şekil 4.7.) .



Şekil 4.7. Hat içi ultrasonik test cihazı

Hatasız kaynakta PİK değerinde seyreden ses dalgaları, kaynak içerisinde oluşan bir çapak, çatlak, korozite veya boşlukta kesintiye uğrar. Bunun sonucunda bilgisayar tarafından oluşturulan frekans grafiğinde farklılıklar oluşur. Hatalı görülen grafiğin bağlı olduğu probun konumu hatanın yerini, frekansın gösterdiği değişiklik ise hatanın oluşum şeklini verir. Alınan geribildirim neticesinde kaynağı yapan makinede gerekli konum ve frekans ayarlamaları yapılır. 8 adet probun 2 tanesi iç çapağın, 2 tanesi kaynak üstü hataların, 4 tanesi borunun iç yüzeyini kaplayan laminasyon hatalarının kontrolünde kullanılır.

Şekil 4.8.' de iç çapak kontrolüne konumlandırılmış 3 numaralı probun frekans grafiği analiz edildiğinde kaynakta oluşmuş bir çatlak tespit edilmiştir. Sürekli kaynak çatlakları soğutmanın hızlı yapılması sonucu kaynağın büzülmesinden kaynaklanmaktadır. Soğutmada kullanılan bor yağının miktarının düzenlenmesi ile hata giderilmiştir.



Şekil 4.8. Kaynakta çatlak tespiti

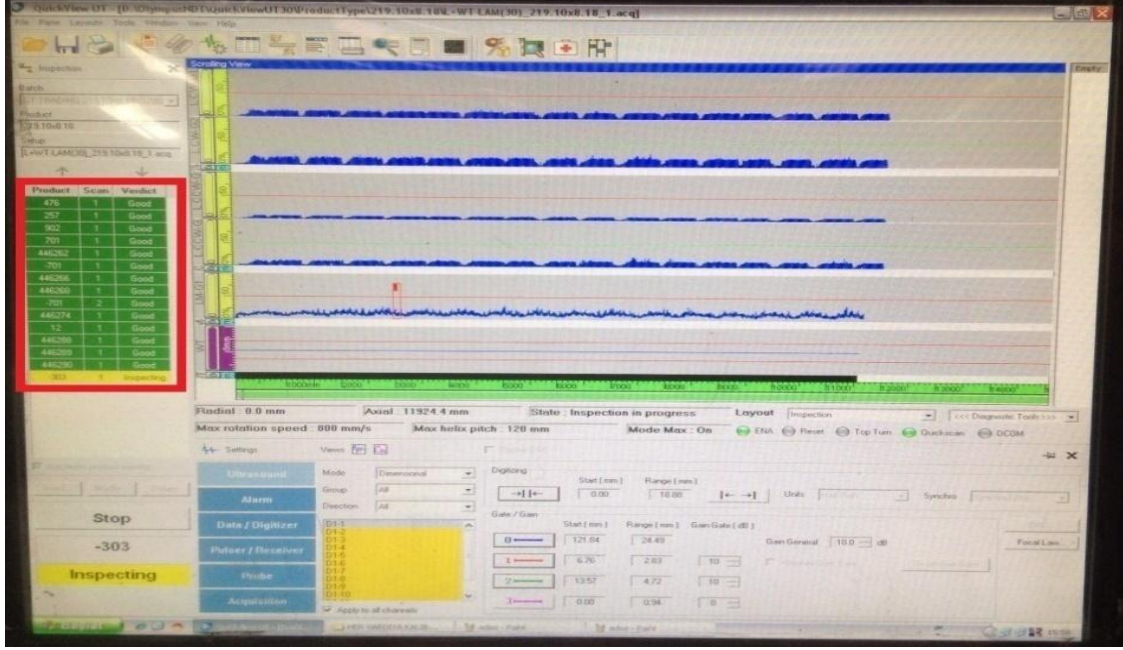
Şekil 4.9.' da 1 ve 2 numaralı grafikte hatalı grafik seyrinin uzun olmasından dolayı kaynak zafiyeti olduğu değerlendirilmiştir. Kaynak zafiyeti kaynak makinesi ayarlarının uygun olmamasından kaynaklanmaktadır. Operatör tarafından kaynak makinesinin ayarlarının uygun değerlere getirilmesiyle hata giderilmiştir.



Şekil 4.9. Kaynak zafiyeti tespiti

İn-line testler sonucunda hata tespit edilen bölümler boya ile işaretlenmiş bir sonraki istasyonda kesilerek borudan ayrılmıştır.

Testten hatasız geçen borular uygun ölçülerde kesilerek hat dışı UT aşamasına gelir (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. Hatasız ürün test sonucu

Uygun ölçülerde kesilmiş borular robotlar vasıtası ile teker teker test standına alınarak UT cihazının 8 probu boruya temas ettirilmiş ve kendi eksenleri etrafında döndürülerek gövde hata kontrolüne tabi tutulmuştur (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Hat dışı ultrasonik test cihazı

UT testinden geçen borular kullanılacağı kapasitenin 10 katı kadar basınca tabi tutulmasına müteakip doğalgaz hattında kullanılmak üzere teslimata hazır hale gelmiştir.

Ultrasonik test yönteminin SWOT analizi Çizelge 4.5.' te belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.5. Ultrasonik test için SWOT analizi

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
✓ Rulmana yetersiz yağlama kadar zararlı olan aşırı yağlamayı da tespit edebilmesi. ✓ Yüksek gerilim hatlarındaki korozyon ve koronayı emniyetli bir mesafeden tespit edebilmesi. ✓ Yüksek basınçlarda çalışan boruların kaynak veya boru yüzeyindeki en ufak çatlak ve çapağı tespit edebilmesi. ✓ Basınçlı boru ve kazanlardaki kaçaqları riske girmeden tespit edebilmesi. ✓ Pahalı bir enerji kaynağı olan basınçlı havayı, sistemindeki kaçaqları tespit ederek koruduğundan , enerji maliyetini azaltması. ✓ Üretim hattında arızadan kaynaklı plansız duruşların önüne geçilmesi. ✓ Arızadan kaynaklı kazaları önleyerek, iş güvenliğini artırması.	✓ Üretim hattında kalite kontrol maksatlı kullanıldığında sistemin çok geniş alan kaplaması ve maliyetinin yüksek olması. ✓ Kalifiye personelinin az olması. ✓ Bakım personelinin grafikleri yorumlayabilmesi ve arızayı tespit edebilmesi için deneyimli olması zorunluluğu. ✓ Üretim hattında kalite kontrol maksatlı kullanıldığında sistemin çok geniş alan kaplaması ve maliyetinin yüksek olması. ✓ Kalifiye personelinin az olması. ✓ Bakım personelinin grafikleri yorumlayabilmesi ve arızayı tespit edebilmesi için deneyimli olması zorunluluğu.

Çizelge 4.5. (Devam) Ultrasonik test için SWOT analizi

✓ Firmaya yüksek emniyet standardında imalat yapmayı sağlaması. ✓ Gereksiz yedek parça stokunu azaltması. ✓ Arızalı malzemenin önceden tespit edilip, planlı duruşlarda değiştirilmesine imkan sağlaması. ✓ Onarım personeli azaltması. ✓ Yapılan bakımın faydası kontrol edilebildiğinden, bakım verimliliğinin yükseltilmesi.	✓ Kestirimci bakım uygulamasının işletmeye alınmasının maliyetli olması. ✓ Günümüzde hala birçok üretici firmanın bakıma yeteri kadar önem vermemesi ve gittiği yere kadar felsefesini izlemesi.
Fırsatlar	Tehditler

4.3. Fırın Sirkülasyon Elektrik Makinelerinde Termografik Test İle Arıza Teşhisi

Osmaniye Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren büyük ölçekli bir fabrikanın üretim hattında boyanmış ürünleri kurutmak amacıyla kullandığı fırınların, iç ısısını homojen bir şekilde dağıtmasını sağlayan fırın sirkülasyon motorları incelenmiştir. Kritik bir görev üstlenen bu motorlarda oluşabilecek bir arıza boyama işlemi yapılarak kurutulmak üzere fırına giden tüm ürünlerin ıskartaya çıkmasına, ürün teslimatının gecikmesine sebebiyet verebilmektedir. Bu da kalite kontrole verdiği önemden dolayı firmanın kabul edilebileceği bir durum değildir.

Bu maksatla firma üretim hatlarında görev yapan 300 civarındaki motorunu 3 aylık periyotlarla düzenli olarak termal ölçüm testlerine tabi tutmaktadır. Bu ölçümler firmanın bakım personeli tarafından kullanılan FLIR 60i cihazı ile yapılmaktadır (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. FLIR 60i Termal ölçüm cihazı (Anonymous, 2014-e)

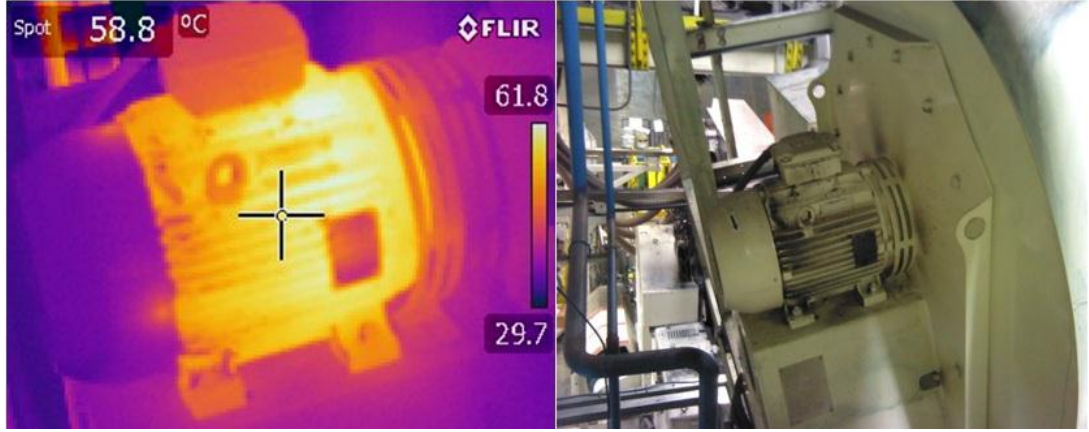
Cihaz üzerine tutulduğu cisim üzerindeki ısı farklarının renk tonları ile derecelendirilmesi ile görüntüleme yapar. Şekil 4.13.' te verilen ekran görüntüsünde; sağ taraftaki ısısalarda üzerine tuttuğunuz cismin en düşük ve en yüksek sıcaklık değeri verilir iken ekranın sol üstünde ekran merkezindeki + işaretinin olduğu yerin ısını verir .



Şekil 4.13. FLIR 60i Termal ölçüm cihazı ile alınan termal görüntü

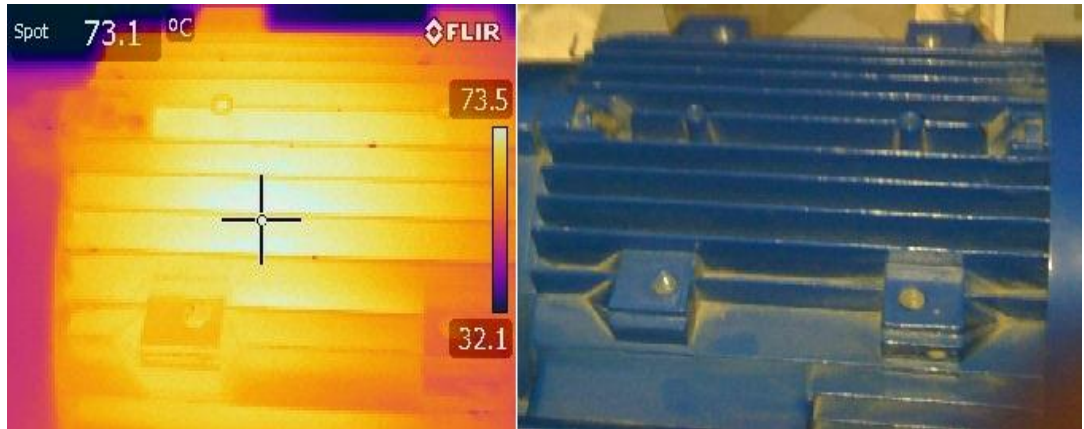
Firma bünyesindeki elektrik motorlarının sağlıklı çalışabileceği maksimum ısı değeri 70 °C olarak belirlemiştir (Şekil 4.14.). 70 °C üstüne çıkan motorlar sınırda kabul edilerek ilk duruşta bakıma alınması gerekmektedir. Motor için kritik ısı ise 80 °C ve

üzeridir. Isının bu değerin üzerine çıkması durumunda motor çalışmaya devam ettirilmemeli, derhal kapatılarak müdahale edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.14. Nominal sıcaklık değerinde çalışan sağlıklı fırın sirkülasyon motoru

Şekil 4.15' te anormal ısı değerine ulaşmış olan fırın sirkülasyon motorunun ölçüm ekranı incelenmiştir. 73 °C çalışan motor kritik ısıya ulaşmadığı için çalışmaya devam ettirilerek planlı duruş beklenmiştir. Motorda oluşan ısı artışının pek çok kaynağı olabileceği için motorun tüm bağlantıları sökülerek gerekli kontroller yapıldığında; rulman arızasından dolayı fırın içerisinde bulunan sirkülasyon fanının sıkışarak zor hareket ettiği ve motora aşırı yüklendiği görülmüştür. Arızalı rulman sökülerek fabrikanın yedek parça stokundan uygun rulman takılarak arıza giderilmiş ve motor tekrar devreye alınmıştır. Motor bir süre çalıştırıldıktan sonra tekrar termografik ölçüme tabi tutuluş ve motor ısısının 62 °C ' de seyrettiği gözlemlenmiştir.

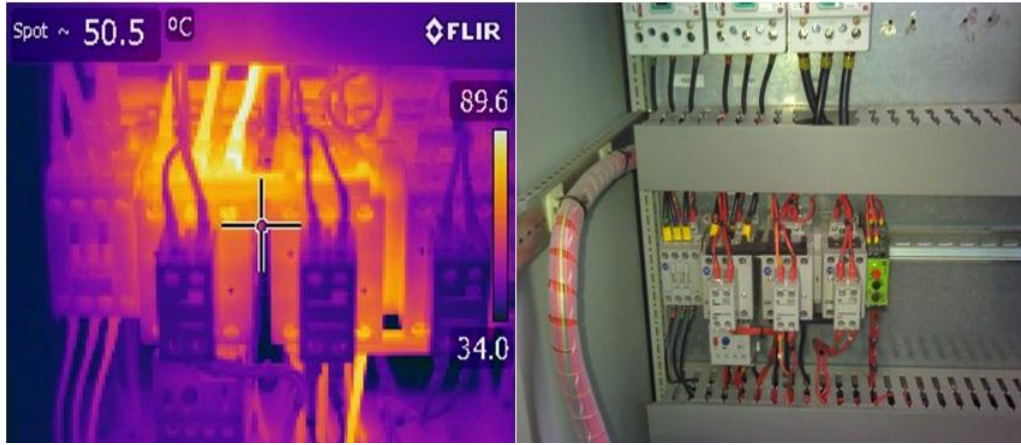


Şekil 4.15. Isı artışı gözlemlenen fırın sirkülasyon motoru.

Motorlarda görülen ısı artışının muhtemel nedenleri aşağıda sunulmuştur;

- ✓ Fiziki zorlanma,
- ✓ Gevşek bağlantı
- ✓ Fırın içinde bulunan fanın sıkışması,
- ✓ Rulman arızası,
- ✓ İzolasyon arızası,
- ✓ Endüktör arızası,
- ✓ Gevşek faz bağlantısı,
- ✓ Düşük gelen fazdır.

Firma tarafından elektrik panoları da düzenli olarak termografik teste tabi tutulmaktadır. Şekil 4.16.' da elektrik panosunda gözlemlenen ısı artışının kaynağı araştırıldığında kablo bağlantısının gevşek olduğu görülmüştür. Isınan kablo özelliğini yitirdiği ve yalıtkan kılıfı eridiği için kablo değiştirilerek arıza giderilmiştir.



Şekil 4.16. Gevşek bağlantı

Termal ölçüm analizi yönteminin SWOT analizi Çizelge 4.6.' da belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.6. Termal ölçüm için SWOT analizi

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
✓ Elektrik arızalarının tespitinde etkin olarak kullanılması. ✓ Arıza oluşmadan tespit edilmesi ve arızanın koplike bir hale gelmeden engellenebilmesi. ✓ Üretim hattında arızadan kaynaklı plansız duruşların önüne geçilmesi. ✓ Arızadan kaynaklı kazaları önleyerek, iş güvenliğini artırması. ✓ Sonuçların analizinde ek bir ekipmana ihtiyaç duyulmaması. ✓ Fırınlarda ısı kaçaklarını tespit edebilmesi.	✓ Ölçümü yapılacak elemanın ekipman yüzeyinden derinde olması, sıcaklığın yüzeye dağılmasından dolayı ölçümü zorlaştırması. ✓ Ekipmanın sıcaklığının çevre sıcaklığına yakın olmasının ölçümü zorlaştırması.
✓ Gereksiz yedek parça stokunu riske girmeden azaltması. ✓ Arızalı malzemenin önceden tespit edilip, planlı duruşlarda değiştirilmesine imkan sağlaması. ✓ Onarım personelini azaltması. ✓ Yapılan bakımın faydası kontrol edilebildiğinden, bakım verimliliğinin yükseltilmesi. ✓ Kalifiye personele ihtiyaç duyulmaması. Sonuçların sadece görüntüye bakılarak analiz edilebilmesi. ✓ Ölçüm yapılacak yüzeye herhangi bir temas gerektirmemesi ve iş emniyetini artırması.	✓ Kestirimci bakım uygulamasının işletmeye alınmasının maliyetli olması. ✓ İşletmelerin kullanım ömrü dolmak üzere olan, çalışan bir malzemeyi değiştirmek yerine arıza çıkana kadar kullanmak istemesi. ✓ Günümüzde hala birçok üretici firmanın bakıma yeteri kadar önem vermemesi ve gittiği yere kadar felsefesini izlemesi.
Fırsatlar	Tehditler

4.4. Hidrolik Sistemlerin Yağ Analizi

Günümüzde hidrolik sistemler endüstrinin birçok dalında kullanılmaktadır. Elektrik ve elektronik uygulamalarının hidroliğe entegrasyonu ile kullanımı kolaylaşan basınçlı hidrolik yağının enerji olarak kullanılma uygulaması, sabit ve hareketli sistemlerde kullanılabilme avantajı ile daha da yaygınlaşmıştır. Büyük güçler elde edebilme ve aktarabilme kabiliyetinden dolayı özellikle büyük güçlere ihtiyaç duyulan sektörlerde tek seçenek olmuştur.

Bu avantajlarının yanında yüksek basınçta çalışan sistemin iş güvenliğini azaltması, yüksek basınçlara maruz kalan bağlantı elemanlarının maliyeti, fazla bakıma ihtiyaç duyması sistemin dezavantajıdır.

Hidrolik sistemlerde arızaların büyük bölümü yağ kirliliğinden ve yağın özelliğini yitirmesinden kaynaklanmaktadır. Hidrolik yağının sistemde enerji transferi, ısı transferi, hareketli parçaların yağlanması, hareketli parçalar arasında sızdırmazlık sağlaması gibi temel görevlerini yapması beklenir. Bu temel görevlerden birini yerine getirmemesi arızalara, emniyetsizliğe ve üretim hattının durmasına sebebiyet verir. Bu tip arıza ve duruşlardan kaynaklı maliyet artışı firmanın istemeyeceği bir durumdur.

Firmalar bu tip arıza ve duruşların önüne geçebilmek için belli periyotlarda yağlarını analiz ettirerek yağın kullanılabilirliğini denetletip, sistemlerinin durumlarını kontrol ettirmektedir.

Hidrolik sistemlerin yağ analizi uygulamasında Osmaniye Organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren bir firmanın periyodik olarak uyguladığı, hidrolik yağ analizi incelenmiştir.

Yağ analizinin ilk ve en önemli aşaması numunenin alınmasıdır. Analizin sıhhatli olabilmesi için numune alma işlemi aşağına verilen hususlara riayet edilerek büyük bir titizlikle yapılmıştır.

- ✓ Numune makine durdurulduktan en fazla 30 dakika sonra alınmalı, çalışma sıcaklığında olmalıdır. Bu sayede alınan numune homojen yapıda olması sağlanmalıdır.
- ✓ Vakum pompası ile numune alınırken, hortumun ucu haznenin veya kartelin dibine daldırılmamalı, yağ seviyesinin orta noktasından alınacak şekilde ayarlanmalıdır. Böylelikle dibe çökmüş partiküllerin numune kabına alınması engellenmelidir.
- ✓ Numunenin konulduğu kap kuru ve temiz olmalıdır.

- ✓ Numune kabı 3/4'ü kadar doldurulmalıdır.
- ✓ Numune etiketi derhal doldurulmalıdır.

Numuneyi almaya müteakip dış etkilere maruz bırakılmadan numune kabı derhal kapatılmalı, analiz yapılacak laboratuara dökülmeden ve zamanında gönderimi sağlanmalıdır.

Analizi yapılacak yağın kalitesini belirleyen en önemli husus belli miktar içindeki katı partikül miktarı ve parçacık büyüklüğüdür. Bu katı partiküllerin yağdaki mevcudiyeti ile ilgili dünyada en çok kullanılan standartlar NAS ve ISO standartlarıdır. İncelemenin yapıldığı fabrikada sonuçlar NAS standardına göre değerlendirilmiştir (Çizelge 4.7.).

Çizelge 4.7. NAS sınıflandırılması (Anonim, 2014-b)

NAS KODU	100 ML' DE PARTİKÜL SAYISI					
NAS 1680'e göre	2 – 5 µm	5–15 µm	15-25 µm	25-50 µm	50-100 µm	> 100 µm
00	625	125	22	4	1	0
0	1250	250	44	8	2	0
1	2500	500	88	16	4	1
2	5000	1000	176	32	8	1
3	10000	2000	352	64	16	2
4	20000	4000	704	128	32	4
5	40000	8000	1408	256	64	8
6	80000	16000	2816	512	128	16
7	160000	32000	5632	1024	256	32
8	320000	64000	11264	2048	512	64
9	640000	128000	22528	4096	1024	128
10	1280000	256000	45056	8192	2048	256
11	2560000	512000	90112	16384	4096	512
12	5120000	1024000	180224	32768	8192	1024
13	-	2048000	360448	65536	16384	2048
14	-	4096000	720896	131072	32768	4096

Hidrolik sistem elemanları belli çalışma toleransları dahilinde hareket ederler ve her eleman belli bir yağ temizliğine ihtiyaç duyar (Çizelge 4.8.). Bu yüzden firmalar kendi makine elemanları ihtiyacı dahilinde uygun çalışma NAS standardını belirler.

Çizelge 4.8. Çeşitli hidrolik elemanlar için gerekli yağ temizliği (Anonim, 2014-e)

ÇEŞİTLİ HİDROLİK ELEMANLAR İÇİN GEREKLİ YAĞ TEMİZLİK DERECESESİ				
			100ml'deki parçacık sayısı	
Komponent	NAS	ISO	5-15µ	>15µ
Servo Kontrol Valleri	5-6	14/11	8000-16000	1000-2000
Kanatlı ve pistonlu tip pompalar/motorlar	7-8	16/13	32000-64000	4000-8000
Yön ve Basınç Kontrol Valfleri	7-8	16/13	32000-64000	4000-8000
Dişli Tip Pompalar/Motorlar	9	17/14	64000-130000	8000-16000
Akış Kontrol Valfleri, Silindirler	10	18/15	130000-250000	16000-32000

İncelemenin yapıldığı fabrikada bulunan hidrolik sistemlerin temizlik ihtiyacını NAS-5 olarak belirlemiştir. Çizelge 4.9.' da NAS-5 standardında çalışılabilir katı partikül miktarları verilmiştir. Tabloda; yeşil sütun yağdaki katı partikül miktarının normal çalışma değerlerini, sarı sütun limit değerleri, kırmızı sütunda ise kabul edilebilir limitlerin üzerine çıktığını gösterir.

Çizelge 4.9. NAS-5 standardında kabul edilebilir analiz değerleri

Analiz	Ref-Yeşil	Ref-Sarı	Ref-Kırmızı
Görünüş			
Viskozite 40	61.2000 - 74.8000	(57.8000 / 61.2000) - (74.8000 / 78.2000)	(< 57.8000 - > 78.2000)
TAN	0.0000 - 0.9900	1.0000 - 1.5900	1.6000 - 7.0000
NAS	0.0000 - 7.0000	8.0000 - 11.0000	12.0000 - 9999.0000
SU	0.0000 - 0.1900	0.2000 - 0.2900	0.3000 - 1.0000
(P) FOSFOR	(>=572.9000) - (<269.6000)	(>=202.2000 / 269.6000<=) - (572.9000>)	> 202.2000
(Zn) ÇİNKO	(>=727.6000) - (<342.4000)	(>=256.8000 / 342.4000<=) - (727.6000>)	> 256.8000
(Fe) DEMİR	0.0000 - 14.0000	15.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000
(Pb) KURŞUN	0.0000 - 14.0000	15.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000
(Cu) BAKIR	0.0000 - 29.0000	30.0000 - 59.0000	60.0000 - 9999.0000
(Sn) KALAY	0.0000 - 14.0000	15.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000
(Cr) KROM	0.0000 - 9.0000	10.0000 - 19.0000	20.0000 - 9999.0000
(Al) ALÜMİNYUM	0.0000 - 19.0000	20.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000
(Ni) NİKEL	0.0000 - 9.0000	10.0000 - 19.0000	20.0000 - 9999.0000
(Si) SİLİS	0.0000 - 9.0000	10.0000 - 19.0000	20.0000 - 9999.0000
TORTU			

Fabrikanın üretim hattında son aşama olan; boruların basınç testinde kullanılan basınçlı test cihazından alınan numunenin yağ analiz değerlendirme sonucu Çizelge 4.10.' da verilmiştir. Bu analiz sonucuna göre; sistem yağ viskozite değeri 40 °C' de kullanım limitleri altındadır. Hidrolik yağının iki temas yüzeyi arasında 10 µ' luk bir katman oluşturması beklenir, viskozitenin düşmesi ile yağın tutuculuğu azalacağından yağ katmanını inceleyerek iki yüzey birbirini aşındırmasına ve yağ içerisindeki katı partikül miktarını artmasına sebep olmaktadır. Analiz sonucunda görüldüğü gibi yağ viskozitesin düşmesi ile aşınma artarak numunede çinko ve bakır artışı olmuş dolayısı ile NAS değerinin limitlerin üzerine çıkmıştır. Viskozitesi düşen bir yağın filtre işlemi ile toparlanması mümkün olmadığından yağın değişmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Çizelge 4.10. Örnek yağ analiz sonuç raporu-1

Analiz	Ref-Yeşil	Ref-Sarı	Ref-Kırmızı	Ölçüm Sonucu	Analiz Sonucu
Görünüş				BERRAK	
Viskozite 40	61.2000 - 74.8000	(57.8000 / 61.2000) - (74.8000 / 78.2000)	< 57.8000 - > 78.2000	53,72	Kırmızı
TAN	0.0000 - 0.9900	1.0000 - 1.5900	1.6000 - 7.0000	0,36	Yeşil
NAS	0.0000 - 7.0000	8.0000 - 11.0000	12.0000 - 9999.0000	12	Kırmızı
SU	0.0000 - 0.1900	0.2000 - 0.2900	0.3000 - 1.0000	0	Yeşil
(P) FOSFOR	(>=572.9000) - (<269.6000)	(>=202.2000 / 269.6000 <=) - (572.9000 >)	> 202.2000	304	Yeşil
(Zn) ÇİNKO	(>=727.6000) - (<342.4000)	(>=256.8000 / 342.4000 <=) - (727.6000 >)	> 256.8000	326	Limitte
(Fe) DEMİR	0.0000 - 14.0000	15.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000	0	Yeşil
(Pb) KURŞUN	0.0000 - 14.0000	15.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000	0,23	Yeşil
(Cu) BAKIR	0.0000 - 29.0000	30.0000 - 59.0000	60.0000 - 9999.0000	45,4	Limitte
(Sn) KALAY	0.0000 - 14.0000	15.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000	0,03	Yeşil
(Cr) KROM	0.0000 - 9.0000	10.0000 - 19.0000	20.0000 - 9999.0000	0,27	Yeşil
(Al) ALÜMİNYUM	0.0000 - 19.0000	20.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000	0	Yeşil
(Ni) NİKEL	0.0000 - 9.0000	10.0000 - 19.0000	20.0000 - 9999.0000	0	Yeşil
(Si) SİLİS	0.0000 - 9.0000	10.0000 - 19.0000	20.0000 - 9999.0000	0	Yeşil
TORTU				VAR	

Hidrolik kaldıraçtan alınan yağ numunesinin yağ analiz sonuç raporu Çizelge 4.11.' de sunulmuştur. Yağ analiz sonucuna göre; bakır değeri üst limitte, çinko değeri ise kabul edilebilir limitin üzerindedir. Buna bağlı olarak NAS değeri limit dışıdır ve numune içerisinde tortu mevcuttur. Yağ içerisinde bulunan katı partiküllerin çalışma boşlukları arasına girmesi ile; temas eden yüzeylerde aşınmaya, sürgülerde sıkışmaya ve valfler da kaçaklara sebebiyet vererek basıncın düşmesine neden olacaktır. Hidrolik yağın filtre edilmesi ile katı partiküllerden ayrıştırılarak kullanımına devam edilebileceği değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.11. Örnek yağ analiz sonuç raporu-2

Analiz	Ref-Yeşil	Ref-Sarı	Ref-Kırmızı	Ölçüm Sonucu	Analiz Sonucu
Görünüş				BERRAK	
Viskozite 40	41.4000 - 50.6000	(39.1000 / 41.4000) - (50.6000 / 52.9000)	(< 39.1000 - > 52.9000)	47,74	Uygun
TAN	0.0000 - 0.9900	1.0000 - 1.5900	1.6000 - 7.0000	0,39	Uygun
NAS	0.0000 - 7.0000	8.0000 - 11.0000	12.0000 - 9999.0000	12	Kırmızı
SU	0.0000 - 0.1900	0.2000 - 0.2900	0.3000 - 1.0000	0	Uygun
(P) FOSFOR	(>=510.0000) - (<240.0000)	(>=180.0000 / 240.0000 <=) - (510.0000 >)	> 180.0000	293	Uygun
(Zn) ÇİNKO	2.0000 - 14.9900	15.0000 - 99.9900	100.0000 - 9999.0000	341	Kırmızı
(Fe) DEMİR	0.0000 - 14.0000	15.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000	1,43	Uygun
(Pb) KURŞUN	0.0000 - 14.0000	15.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000	0,60	Uygun
(Cu) BAKIR	0.0000 - 29.0000	30.0000 - 59.0000	60.0000 - 9999.0000	56,1	Limitte
(Sn) KALAY	0.0000 - 14.0000	15.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000	0,18	Uygun
(Cr) KROM	0.0000 - 9.0000	10.0000 - 19.0000	20.0000 - 9999.0000	0,96	Uygun
(Al) ALÜMİNYUM	0.0000 - 19.0000	20.0000 - 29.0000	30.0000 - 9999.0000	0	Uygun
(Ni) NİKEL	0.0000 - 9.0000	10.0000 - 19.0000	20.0000 - 9999.0000	0	Uygun
(Si) SİLİS	0.0000 - 9.0000	10.0000 - 19.0000	20.0000 - 9999.0000	0	Uygun
TORTU				VAR	

Genel Rapor

Yağ analizi yönteminin SWOT analizi Çizelge 4.12.' de belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.12. Yağ analizi için SWOT analizi

Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
✓ Sistemde basınç azalmasının önüne geçilmesi. ✓ Yağın filtre işlemine müteakip kullanılabilirliğinin kontrol edilerek yağ değişiminden kaynaklı maliyetin önüne geçilmesi. ✓ Çok yüksek basınçlarda çalışan hidrolik sistemlerin iş kazalarına sebebiyet vermesinin önüne geçilmesi. ✓ Üretim hattında arızadan kaynaklı plansız duruşların önüne geçilmesi. ✓ Arızadan kaynaklı kazaları önleyerek, iş güvenliğini artırması.	✓ Yağ kapasitesi az olan sistemlerde yağ değişim maliyetinin analiz ve filtreleme maliyetinden düşük olması nedeni ile genel olarak ağ kapasitesi küçük olan makinelerde uygulanamaması. ✓ Yağ analiz sürecinin uzun sürmesi. ✓ Uygun olmayan numune alımının hatalı değerlendirmelere neden olması.

Çizelge 4.12. (Devam) Yağ analizi için SWOT analizi

✓ Onarım personelini azaltması. ✓ Yapılan filtre işleminin faydası kontrol edilebildiğinden, bakım verimliliğinin yükseltmesi. ✓ Kirli yağdan kaynaklı sistem arızalarının önüne geçerek onarım maliyetlerini azaltması ✓ Sistemdeki suyu tespit ederek korozyonun önüne geçilebilmesi. ✓ Yağın viskozitesinin tespit edilerek yağlamanın ölçülebilmesi. ✓ Kullanılabilir yağın tespit edilerek gereksiz yağ değişimin önüne geçmesi. ✓ Atık yağ miktarını ve buna bağlı çevre kirliliğinin azaltması.	✓ Numunelerin uygun ortamda muhafaza edilmemesi ve numuneye kirletici hava unsurlarının bulaşması. ✓ Günümüzde hala birçok üretici firmanın bakıma yeteri kadar önem vermemesi ve gittiği yere kadar felsefesini izlemesi. ✓ Firmaların yağ analizi ile yağ değişiminden ziyade, maliyeti azaltmak için eksilen yağı tamamlamayı tercih etmesi.
Fırsatlar	Tehditler

Bu incelemelerim neticesinde; fabrikaların üretim hatlarında genel olarak dönme hareketi ile iş yapan makinelerin mevcut olması ve dönme ile iş yapan makinelerin yaydıkları titreşim frekansının değişimi arıza habercisi olduğundan titreşim analizi ile kestirimci bakım metodunun daha geniş bir kullanım alanı olduğu ve fabrikaların bulundukları üretim sektörü, ekipmanlarının durumu ve bakım personelinin miktarına göre genel olarak kısıtlı alanda kestirimci bakım metotlarını uyguladıklarını ve bunu fabrikanın geneline yayamadıkları görülmüştür.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüzde makine elemanları onarımdan ziyade değişime ihtiyaç duyarlar. Fakat, değişmesi gereken makine elemanının tespiti, gerekli ekipman ile yapılacak periyodik ölçümleri ve bu ölçümleri analiz edebilecek deneyimli bakım personeli gerektirmektedir.

Öncelikle kestirimci bakım metotlarını işletmeye alacak fabrikaların, envanterlerindeki ekipmanlarının ayrıntılı listesini yaparak, ekipmanları için maliyet ve etkinlik açısından en uygun kestirimci bakım metot veya metotlarını tespit etmeleri gerekmektedir. Titreşim analizinin, dönme hareketi ile iş yapan ekipmanların fazlalığından dolayı imalat sektöründe daha geniş bir kullanım alanı olsa da kestirimci bakım metodunu fabrikadaki ekipmanların özellikleri belirlemektedir.

Kestirimci bakım metodunu işleten fabrikalarda arızadan kaynaklı plansız duruşların, üretimdeki firelerin, onarım maliyetlerinin ve iş kazalarının azaldığı, işletme verimliliğinin, iş güvenliğinin, üretilen malın kalitesinin ve müşteri memnuniyetinin arttığı görülmüştür.

Çalışma yapılan fabrikalarda titreşim analizi ile arıza teşhisi, ultrasonik testler, termografik test ile arıza teşhisi metotlarını firmanın kendi bünyesinde bulunan bakım personeli ve ekipman ile yaparken, daha fazla ekipman, deneyim ve yatırım gerektiren yağ analizlerinin, fabrikanın yağ numunesi göndermesi suretiyle yağ sağlayıcı firmalar tarafından yapıldığı tespit edilmiştir.

İnceleme yapılan bir fabrikada daha önce titreşim analiz metodu ile kestirimci bakıma geçildiği, fakat metodun uygulanmaya başlamasıyla tespit edilen, kullanım ömrünün sonuna gelmiş ekipmanların değişim maliyetinden dolayı fabrikanın kestirimci bakım metodunu işletmeden çıkardığı tespit edilmiştir. Fabrikaların, kestirimci bakım uygulamalarının ilk etapta kullanım ömrünün sonuna gelmiş fakat hala çalışmakta olan makine elemanlarının değişiminden dolayı maliyetli olduğunu, fakat uzun vadede işletmeye kar getirisinin, sağladığı ürün kalitesinin yüksek olduğunu bilmesi gerekmektedir.

Sektörde kestirimci bakım konusunda uzmanlaşmış personel konusunda ciddi eksiklik bulunmaktadır. Fabrikalarda kestirimci bakım metotlarını işleten bakım personeli genellikle kendi kendini yetiştirmiş kişiler olup özel bir uzmanlık eğitimine

tabi tutulmamıştır. Bu konuda açığın kapatılabilmesi için Üniversite ve Yüksek Okullarda gerekli uzmanlık bölümlerinin açılarak sektördeki kalifiye eleman açığının önüne geçilmelidir.

Hala klasik bakım metotlarını işleten fabrika yöneticilerine,kestirimci bakımın fabrikalara sağlayacağı faydalar seminerler vasıtası ile anlatılarak işletmelerin kestirimci bakıma geçişi ve bu branşta daha geniş bir iş kolu oluşturulmasının teşvik edilmesi gerekmektedir.

Kullanım ömrünün sonuna yaklaşmış makine elemanlarının iş-işçi güvenliğini azalttığı için işletmelerin üretim hatlarının; Devlet, sendikalar, Makine Mühendisleri Odası, iş güvenliği uzmanları tarafından kestirimci bakım metotları ile ön görülebilir arızaların tespiti, bir denetim mekanizmasına çevirmesi sağlanmalı, işletmelere kestirimci bakım dolaylı olarak dayatılmalıdır.

Özel denetim firmaları yetkilendirilerek, işletmelerin bir denetim firması ile bakım sözleşmesi yapması ve işletmelerin, ön görülebilir arızalardan kaynaklı iş kazalarındaki hukuki sorumluluğunun, kestirimci bakım sözleşmesi yapılan bu denetim firması ile paylaştırılarak yapılan sözleşmenin işçi - işveren ilişkisinden ziyade hukuki bağlayıcılık ilkesine dayandırılması sağlanmalıdır.

Sonuç olarak Kestirimci Bakım uygulamalarının bakım giderlerini azaltması, iş güvenliğini arttırması, faydalı üretim süresini arttırması, onarım için geçen süreyi azaltması gibi faydaları göz önüne alındığında işletmelere kazandırdığı faydanın diğer klasik bakım yöntemlerine göre çok daha fazla olduğu yapılan uygulamalar ve elde edilen veriler neticesinde görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Açıkel, S., 2008. Sürekli form baskı makinesinin titreşim sinyali yardımıyla kestirimci bakımının yapılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Açıkel, S. ve arkadaşları, 2010. Sürekli form baskı makinesi fan arızasının titreşim sinyali yardımıyla kestirimci bakım analizi. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü. **Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi**, 7 (2): 81-86.
- Adıgüzel, M. ve Sabancı, A., 2013. DSİ işletmelerinde koruyucu bakım yöntemlerinin (Çukurova bölgesi) değerlendirilmesi ve geliştirilmesi için öneriler. **Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 29 (4): 87-94.
- Aktürk, N. ve arkadaşları, 2000. Titreşim analiziyle rulmanların çalışabilirlik durumlarının belirlenmesi. **Mühendis ve Makine Dergisi**, 41 (481): 30-33.
- Aktürk, N. ve arkadaşları, 2003. Bir santrifüj pompa rulmanlarının çalışabilirliğinin titreşim analizi ile belirlenmesi. **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 16 (3): 543-552.
- Aktürk, N. ve arkadaşları, 2003. Titreşim analiziyle rulman arızalarının belirlenmesi. **Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 18 (2): 39-48.
- Aktürk, N. ve Orhan, S., 2003. Aktarma organı dişlilerinde oluşan fiziksel hataların titreşim analizi ile belirlenmesi. **Gazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 18 (3): 97-106.
- Anonim, 2014-a. Bilgisayar Destekli Bakım (Anonim, 2014)
- Anonim, 2014-b. <http://www.analizsonucu.com/?pnun=22&pt=Neden%20D%C3%BCze%20nli%20Analiz%20?> Erişim tarihi: 12.11.2014
- Anonim, 2014-c. <http://www.ayvaz.com/urunler/153-Vana-Ceketi.html>. Erişim tarihi: 26.09.2014
- Anonim, 2014-ç. <http://www.enerjidergisi.com.tr/haber/2013/07/harmoniklerin-elektrik-sistemlerindeki-bozucu-etkileri>. Erişim tarihi 18.04.2014
- Anonim, 2014-d. <http://www.kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2013/03/bakim-planlamasi.pdf>. Erişim tarihi: 13.12.2014
- Anonim, 2014-e. <http://www.mikronfiltre.com/yag.html>. Erişim tarihi: 18.12.2014
- Anonim, 2014-f. <http://www.otomasyondergisi.com.tr/arsiv/yazi/ue-systems-ultraprobe-ultrasonik-kacak-tespit-ve-onleyici-bakim-uygulamalari>. Erişim tarihi: 26.04.2014
- Anonim, 2014-g. http://www.seckinelektrik.com/menu_detay.asp?id=3369 Erişim tarihi: 11.02.2014
- Anonim, 2014-ğ. <http://www.skodam.com/ne-nedir-nasil-calisir/turbocharger-ne-ise-yarar-nasil-calisir-t181.html>. Erişim tarihi: 23.03.2014
- Anonim, 2014-h. http://www.topazmakina.com.tr/index_dosyalar/Page414.htm. Erişim tarihi: 18.10.2014
- Anonim, 2014-ı. <http://www.vibrasyon.com/ultrasonik270.htm>. Erişim tarihi: 26.04.2014
- Anonymous, 2014-a. http://www.acenersis.com/parabolik_pinpointer_model_250.htm. Erişim tarihi: 26.04.2014

- Anonymous, 2014-b. https://www.cot.com.tr%2FTR%2FGenel%2Fdsg.ashx%3FDIL%3D1%26BELGEANAH%3D173%26DOSYASIM%3DMotor_yagi_analiz_aciklamalari_ve_degerlerinin_sinirlari.pdf. Erişim tarihi: 12.11.2014
- Anonymous, 2014-c. <http://www.gammandt.com/>. Erişim tarihi: 26.09.2014
- Anonymous, 2014-. <http://www.setral.net/tr/schmierstoff-abc.html>. Erişim tarihi: 12.11.2014
- Anonymous, 2014-d. <http://www.skf.com>. Erişim tarihi: 15.11.2014.
- Anonymous, 2014-e. <http://www.tequipment.net/Fliri60.html>. Erişim tarihi: 18.12.2014
- Anonymous, 2014-f. <http://t-konsult.com/vara-tjanster2/>. Erişim tarihi: 26.09.2014
- Anonymous, 2014-g. <http://tr.bearing-news.com/vakum-ve-kizgin-yag-pompa-motorlarında-yapılan-iyileştirme-calismasi/>. Erişim tarihi: 26.09.2014
- Anonymous, 2014-ğ. <http://www.wikipedia.com>. Erişim tarihi: 19.07.2014
- Arnaiz, A. ve Gilabert, E., 2005. Intelligent automation systems for predictive maintenance: A case study. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, 22: 543–549.
- Arslan, S., 2010. Titreşim analizi ile fanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Aydın, K., ve arkadaşları, 2003. Erdemir bakım yönetim sistemi. **Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi**, 334: 119-126, Denizli.
- Aydın, K. ve arkadaşları, 2003. Erdemir bakım yönetim sistemi yardımı ile hidrolik ve pnömatik sistemlerin periyodik bakımı. **3' üncü Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi**, 342: 329-336, İzmir.
- Baykara, V. İ., 2009. Titreşim analizi ile şanzımanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Belek, H. T. ve Güvenç, S., 1988. Dinamik erken-uyarıcı bakım yöntemleri. **Mühendis ve Makine Dergisi**, 29 (340): 17-22.
- Carnero, M. C., 2003. Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program. A case study. **Decision Support Systems**, 38: 539– 555.
- Carnero, M. C., 2005. An evaluation system of the setting up of predictive maintenance programmes. **Engineering and System Safety**, 91: 945–963.
- Carnero, M. C., Costa, C. A. B. ve Oliver, M. D., 2011. A multi-criteria model for auditing a Predictive Maintenance Programme. **European Journal of Operational Research**, 217: 381–393.
- Chrysosolouris, G. ve arkadaşları, 2012. On a predictive maintenance platform for production systems. **Procedia CIRP**, 3: 221 – 226.
- Crowder, M. ve Lawless, J., 2005. On a scheme for predictive maintenance. **European Journal of Operational Research**, 176: 1713–1722.
- Curcuro, G. ve arkadaşları, 2010. A predictive maintenance policy with imperfect monitoring. **Reliability Engineering and System Safety**, 94: 418– 431.
- ağlayan, İ., 1993. Bilgisayar destekli uyarıcı bakım ve endüstride uygulaması. **TMMOB 1993 Sanayi Kongresi ve Sergisi**, 405: 39-46, Ankara.
- Denli, H. B., 2007. Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Dowlatsahi, S., 2008. The role of industrial maintenance in the maquiladora industry: An empirical analysis. **Int. J. Production Economics**, 114: 298– 307.

- Duyar, A., 2009. Model bazlı arıza analizi ve kestirimci bakım. **Mühendis ve Makine Dergisi**, 50 (598): 2-9.
- Elmacı, B. ve Ziypak, M., 1993. 2014. E.L.İ. Müessesesinde Kestirimci Bakım Uygulamaları (YAPAL). **Mühendis ve Makine Dergisi**, 161 (2): 95-105.
- Engür, A. İ., 2005. Kestirimci bakımda titreşim analizi. **Mühendis ve Makine Dergisi**, 48 (570): 27-31.
- Erçelebi, S. G. ve Ergin, H., 1997. Maden makinelerinde koruyucu bakım onarım planlaması. **Türkiye 15' inci Madencilik Kongresi**, 216 (3): 31-36, İstanbul.
- Feyzullahoğlu, E., 2001, Bilgisayar destekli kestirimci bakım uygulamaları. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Garcia, M. C. ve arkadaşları, 2006. SIMAP: Intelligent System for Predictive Maintenance Application to the health condition monitoring of a windturbine gearbox. **Computers in Industry**, 57: 552–568.
- Geng, J. ve arkadaşları, 2013. A modeling approach for maintenance safety evaluation in a virtual maintenance environment. **Computer- Aided Desing**, 45: 937-949.
- Hancı, G., 2009. Lastik endüstrisinde kullanılan kestirimci bakım uygulamaları. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Hiçbitmez, N., 2014. Akışkan durum izleme sistemlerinde basınç ve sıcaklık dışındaki bilgilerin ölçümü ve arıza analizinde kullanılması. **Uluslararası Katılımlı 7' nci Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi Kongre Bülteni**, 2: 37-38, İstanbul.
- Hiçbitmez, N., 2014. Kestirimci bakım ve arıza tespitlerinde akışkan analizinin etkin kullanımı. **Uluslararası Katılımlı 7' nci Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi Kongre Bülteni**, 2: 32- 33, İstanbul.
- Horenbeek, A. V. ve Pintelon, L., 2013. A dynamic predictive maintenance policy for complex multi-component systems. **Reliability Engineering and System Safety**, 120: 39–50.
- Ingwald, A. ve Kans, K., 2007. Common database for cost-effective improvement of maintenance performance. **Int. J. Production Economics**, 113: 734–747.
- Koyuncu, M., 2003. Endüstriyel sistemlerde kestirimci bakım açısından kademeli pompanın incelenmesi. Abidin Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Kalyoncu, M., 2004. Titreşim analizi ile makine elemanlarının arızalarının belirlenmesi. **Mühendis ve Makine Dergisi**, 47 (552): 28-35
- Karadayı, H. M., 2011. Titreşim analizi ile pompalarda arıza tespiti ve kestirimci bakım uygulamaları. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Karadayı H. M. ve Yaman, G., 2014. Titreşim analizi ile pompalarda arıza tespiti ve kestirimci bakım için örnek bir çalışma. **Tesisat Mühendisliği Dergisi**, 140: 36-51.
- Karahan, M. M. F., 2005. Titreşim analizi ile makinelerde arıza teşhisi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Köse, R. K., 1996. İşletmelerde neden kestirimci bakım uygulanmalı. **Mühendis ve Makine Dergisi**, 37 (438): 23,24.
- Köse, R. K., 2003. Kestirimci bakım. **Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi**, 334: 199-209, Denizli.

- Köse, R. K., 2005. Kestirimci Bakım. **2' nci Bakım Teknolojileri Kongre ve Sergisi**, 370: 95-104.
- Köse, R. K., 2003. Makina arızalarının belirlenmesinde titreşim analizi. **Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi**, 334: 82-94, Denizli.
- Köse, R. K., 2003. Makina sağlığı yönetimi. **Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi**, 334: 33-42, Denizli.
- Kurt, E., 2012. Kestirimci bakım yöntemi kullanılarak egzoz fanında arıza teşhisi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Kurt, E. ve arkadaşları, 2013. Kestirimci bakım yöntemi kullanılarak egzoz fanında arıza teşhisi. (Yrd.Doç.Dr.G. Şakar). **16'ncı Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, Erzurum, 2: 213-221. Türkiye.
- Lee, J., Xi, L. ve Zhou, X., 2006. Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation. Reliability. **Engineering and System Safety**, 92: 530-534.
- Löfsten, H., 1998. Measuring maintenance performance in search for a maintenance productivity index. **Int. J. Production Economics**, 63: 47-58.
- Moya, M. C. C., 2003. The control of the setting up of a predictive maintenance programme using a system of indicators. **Omega The International Journal of Management Science**, 32: 57-75.
- Orak, S. ve Par, B., 1994. Bakım yöntemleri ve kestirimci bakım yönteminin bir uygulaması. **Mühendis ve Makine Dergisi**, 35 (416): 24.
- Orhan, A., 2009. Yağ analizi yöntemiyle yapılan kestirimci bakımda motor arızalarının tespiti. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Orhan, S., 2002. Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakımı. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Öztürk, H. ve arkadaşları, 2007. Dişli kutularındaki diş çatlak hatasının titreşim etüdüyle erken tespiti ve izlenmesi. (İ. Bakşiyev ve arkadaşları) **13' üncü Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, Sivas, 1: 45-55, Türkiye.
- Saraç, G.O., 2003. Kestirimci bakım yöntemleri pratik uygulamaları. **Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi**, 334: 143-151, Denizli.
- Sönmez, K., 2003. Kestirimci bakımda titreşim analizi uygulamaları. **Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi**, 334: 153-158, Denizli.
- Sivritaş, İ., 2013. Fosfat sprey pompasında titreşim esaslı kestirimci bakım uygulaması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Tayar, V., 2010. Su pompa istasyonunda kestirimci bakım ve yönetim organizasyonu. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Tinga, T., 2010. Application of physical failure models to enable usage and load based maintenance. **Reliability Engineering and System Safety**, 95: 1061-1075.
- Yücel, S., 2009. Otomotiv endüstrisinde kullanılan kestirimci bakım uygulamaları. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Konya' da doğdu. İlköğretimin eğitime Artvin' de başlayıp İstanbul' da tamamladı. 2006 yılında Fatin Rüştü ZORLU Süper Lisesi' nden mezun oldu. 2007 yılında Kara Harp Okulu' nda lisans eğitime başladı ve 2011 yılında mezun oldu. 2011-2012 yılları arasında Balıkesir' de görev yapan GÖÇÜLÜ, Haziran 2012' de İskenderun' a tayin oldu. Şu anda İskenderun' da 39' uncu Mknz.P.Tug.Loş.Des.Bkm. Brl.K.lığı' nda subay olarak görev yapmaktadır.