

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TİTREŞİM ANALİZİ İLE POMPALARDA ARIZA TESPİTİ VE KESTİRİMCİ
BAKIM UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Halil Murat KARADAYI

Balıkesir, Şubat - 2011

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TİTREŞİM ANALİZİ İLE POMPALARDA ARIZA TESPİTİ VE KESTİRİMCİ
BAKIM UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Halil Murat KARADAYI

Balıkesir, Şubat - 2011

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TİTREŞİM ANALİZİ İLE POMPALARDA ARIZA TESPİTİ VE
KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halil Murat KARADAYI

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Gülşen YAMAN

Sınav Tarihi: 11.03.2011

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. İrfan AY (BAÜ)

Prof. Dr. Ramazan YAMAN (BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Gülşen YAMAN (Danışman-BAÜ)

Balıkesir, Şubat-2011

ÖZET

TİTREŞİM ANALİZİ İLE POMPALARDA ARIZA TESPİTİ VE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI

Halil Murat KARADAYI

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Gülşen YAMAN)

Balıkesir, 2011

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.

Bu çalışmada, 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 izlenmiştir. Ayrıca alınan ölçümler FFT spektrum analizi yapılarak incelenmiştir. Titreşim analizi ile ekipman arızı bir duruşa sebep olmadan önce arızaların tespitinin yapılabildiği ve bazı arızaların birbiriyle ilişkili olabileceği tespit edilmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER : Kestirimci Bakım, Titreşim Analizi, Pompalar ve Arızaları.

ABSTRACT

PUMP FAULT DETECTION BY USING VIBRATION ANALYSIS AND PREDICTIVE MAINTENANCE APPLICATIONS

Halil Murat KARADAYI

**Balıkesir University, Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Department of Mechanical Engineering**

(Ph. D. Thesis / Supervisor : Asist. Prof. Dr. Gülşen YAMAN)

Balıkesir, 2011

Pumps are used in daily life in many points. Particularly, they works a lot of critical point in industry. If a failure occurs in them, this failure can cause unexpected production losses. This unplanned downtimes increase operating costs.

In this thesis, the critical pumps are selected by using the ABC analysis. Vibration analysis is one of the predictive maintenance methods. Vibration measurements were taken over the critical pumps and followed the course of vibration. Also the measurements, that taken from the pumps, were analyzed by using FFT spectrum method. The equipment failures can be predicted by using vibration analysis before they cause. And in some defects were found to be associated with each other.

KEY WORDS : Predictive Maintenance, Vibration Analysis, Pumps and Failures.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Bakım Yaklaşımları	3
1.1.1 Arıza Çıktıkça Bakım Yaklaşımı	4
1.1.2 Periyodik – Koruyucu Bakım Yaklaşımı	5
1.1.3 Kestirimci Bakım Yaklaşımı	6
1.1.4 Pro – Aktif Bakım Yaklaşımı	7
2. KESTİRİMCİ BAKIM ve KESTİRİMCİ BAKIM YÖNTEMLERİ	9
2.1 Kestirimci Bakım Yöntemleri	10
2.1.1 Kızıl Ötesi Termografi (Termal Kamera ile İzleme)	10
2.1.1.1 Termal Kamera ile Yakalanabilecek Arızalara Çeşitli Örnekler	11
2.1.2 Yağ Analizi	13
2.1.3 Ultrasonik İzleme	15
2.1.3.1 Ultrasonik İzleme ile Yakalanan Arızalara Çeşitli Örnekler	15
2.1.4 Titreşim Analizi	16
3. TİTREŞİM ANALİZİ ve ÖLÇÜMLERİN TANIMI	18

	<u>Sayfa</u>
3.1 Titreşim ile İlgili Genel Kavramlar	18
3.2 Basit Harmonik Salınım	18
3.3 Deplasman	19
3.4 Hız	20
3.5 İvme	20
3.6 Titreşim Genliği Değerleri	22
3.6.1 Tepe Değer	22
3.6.2 Tepeler Arası Değer	22
3.6.3 RMS (Root Mean Square)	22
3.6.4 Ortalama	22
3.7 Titreşim Ölçümünde Kullanılan Sensörler	23
3.7.1 Hız Sensörü	23
3.7.2 İvme Sensörü	24
3.7.3 Deplasman Sensörleri	25
3.8 Titreşim Görüntüleyen Cihazlar	26
3.9 Frekans Tanım Teknikleri	26
3.9.1 Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT)	26
3.9.2 Zaman Dalga Formu	28
3.9.2.1 Zaman Dalga Formunun Frekanslara Ayırıştırılması (Spektrum)	29
3.10 Titreşim Analizi ile Yakalanabilecek Arızalar	31
3.10.1 Ölçüm Yönleri	31
3.10.2 Balanssızlık	33
3.10.2.1 Tek Düzlem Dengesizliği	33
3.10.2.2 Çok Düzlem Dengesizliği	34
3.10.3 Mekanik Gevşeklik	34
3.10.4 Eksenel Ayarsızlık	35
3.10.4.1 Paralel Eksen Kaçıklığı	35
3.10.4.2 Açısal Eksenel Ayarsızlık	36
3.10.5 Rulman Arızaları	36
3.10.5.1 Rulman Hasar Frekansları	37
3.10.5.1.1 Kafes Frekansı (w_c)	38
3.10.5.1.2 Bilye Dönme Frekansı (w_b)	38
3.10.5.1.3 Dış Bilezik Bilye Geçiş Frekansı (w_{bp})	38

	<u>Sayfa</u>
3.10.5.1.4 İç Bilezik Bilye Geçiş Frekansı (w_{bpi})	38
3.10.6 Dişli Arızaları	41
3.10.7 Kayış Problemleri	42
3.10.8 Akış Problemleri	43
3.10.9 Kavitasyon	43
3.11 Titreşim Standartları	44
4. POMPALAR	46
4.1 Santrifüj Pompalar	46
4.2 Santrifüj Pompa Elemanları	47
4.2.1 Salyangoz	48
4.2.2 Çark	48
4.2.3 Mil	48
4.2.4 Yumuşak Salmastra	49
4.2.5 Mekanik Salmastra	50
5. MATERYAL METOT	52
5.1 Titreşim Ölçümünde Kullanılan Cihaz	52
5.1.1 SPM (Shock Pulse Measurement)	53
5.1.1.1 dBc Halı Değeri	55
5.1.1.2 dBm Maksimum Değer	56
5.2 Titreşim Ölçümü Analizinde Kullanılan Yazılım	56
5.3 Kritik Ekipman Seçim Şekli	58
5.3.1 ABC (Pareto) Analizi	58
5.3.2 Uygulama Yapılacak Ekipmanın Seçilmesi	59
5.4 Uygulama Yapılacak Ekipman Bilgileri	61
5.5 Kızgın Yağ Pompalarında Titreşim Ölçümlerinin Analizi ve Sonuçlar	61
5.5.1 Kızgın Yağ Pompası 1 Titreşim Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar	61
5.5.2 Kızgın Yağ Pompası 2 Titreşim Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar	65
5.5.3 Kızgın Yağ Pompası 3 Titreşim Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar	70
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	77
6.1 Uygulama Çalışması Sonuçları	77

	<u>Sayfa</u>
6.2 Öneriler	77
KAYNAKLAR	79

SEMBOL LİSTESİ

Simge Adı / Tanımı / Değeri, Birimi

f	: Frekans (Hz)
T	: Periyot (s)
RPM	: Revolution per minute (Devir/dakika)
X	: Deplasman
X_0	: En yüksek genlik değeri
V	: Hız (mm/s)
ω	: Açısal frekans (rad/s)
RMS	: Root mean square
FFT	: Fast Fourier Transform
α	: Temas açısı
D	: Bölüm dairesi çapı (mm)
D	: Bilye çapı (mm)
w_c	: Kafes frekansı
w_b	: Bilye dönme frekansı
w_{bp}	: Dış bilezik bilye geçiş frekansı
w_{bpi}	: İç bilezik bilye geçiş frekansı
N_b	: Yuvarlanma elemanı sayısı
n	: Dönme devri (dev/dak)
Z	: Diş sayısı
Rps	: Revolution per second

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Bakım yaklaşımlarının belirlenmesi	3
Şekil 1.2 Arızalanan bir motor	4
Şekil 1.3 Kestirimci bakım yöntemi akış şeması	7
Şekil 2.1 Kestirimci bakım yöntemler önem sırası	9
Şekil 2.2 Bir su borusunun termal kamera ile arıza analizi	10
Şekil 2.3 Bir elektrik motorundaki arıza tespiti ve giderilmesi	11
Şekil 2.4 Fan rulman yataklarındaki ısınma problemi	12
Şekil 2.5 Buhar hattındaki kondensatörün termal görüntüsü	12
Şekil 3.1 Harmonik hareketin grafiği	19
Şekil 3.2 Hızın değişimi	20
Şekil 3.3 Genlik-frekans grafiği	21
Şekil 3.4 Sismik hız sensörü görünümü	24
Şekil 3.5 Piezoelektrik hız sensörü görünümü	24
Şekil 3.6 Baskı tipi ivme sensörü	25
Şekil 3.7 Kesme tipi ivme sensörü	25
Şekil 3.8 Genlik-frekans grafiği	27
Şekil 3.9 Genlik-zaman grafiği	27
Şekil 3.10 Dalga formu kaydı	29
Şekil 3.11 Sinüs eğrisinin frekansları	30
Şekil 3.12 Sinüs eğrisinin frekansları	30
Şekil 3.13 Yataktan alınan radyal ölçümler	32
Şekil 3.14 Yataktan aksel yönde alınan ölçümler	32
Şekil 3.15 Spektrum grafiğindeki balanssızlık piki	33
Şekil 3.16 Mekanik gevşeklik spektrum grafiği	34
Şekil 3.17 Paralel kaçıklık	35
Şekil 3.18 Paralel aksel kaçıklık spektrum grafiği	35
Şekil 3.19 Açısal kaçıklık	36
Şekil 3.20 Açısal aksel kaçıklığının spektrum grafiği	36
Şekil 3.21 Rulman geometrisi	37
Şekil 3.22 Rulman arızası gelişimi	40

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.23 Basit bir dişli kutusu gösterimi	41
Şekil 3.24 Dişli geçiş frekansı ve dişli hasarının spektrum grafiğindeki görünümü	42
Şekil 3.25 Kavitasyonda basınç düşümü	44
Şekil 4.1 Santrifüj pompanın kesit görünüşü	47
Şekil 4.2 Mekanik Salmastra	50
Şekil 5.1 Leonova Infinity cihazının görüntüsü	52
Şekil 5.2 Basınç değişimlerinin şok sinyal grafikleri örneği	54
Şekil 5.3 Şok ölçümü yapılmış bir ekipmanın şok sinyal grafiği (dBm / dBc)	54
Şekil 5.4 Hasarlı bir rulmanın dBm / dBc grafiği	56
Şekil 5.5 Titreşim tarih grafiği	57
Şekil 5.6 Spektrum grafiği (mm / sn – Hz)	57
Şekil 5.7 Ölçüm yönleri	62
Şekil 5.8 Pompa 1 ekipmanı motor dış yatay ölçüm	62
Şekil 5.9 Pompa 1 motor dış yatay ölçüm	63
Şekil 5.10 Pompa 1 motor dış yatay ölçüm (Müdahaleden sonraki ölçüm)	63
Şekil 5.11 Pompa 1 motor iç yatay ölçüm (Eksenel Ayarsızlık)	64
Şekil 5.12 Pompa 1 motor iç yatay ölçüm (Müdahaleden sonra)	64
Şekil 5.13 Pompa 1 pompa iç SPM (şok) ölçümü seyri	65
Şekil 5.14 Pompa 2 motor dış Spm ölçümü	66
Şekil 5.15 Kızgın yağ pompalarının görünüşü	66
Şekil 5.16 Pompa 2 motor dış yatay ölçüm 08.11.2010	67
Şekil 5.17 Pompa 2 motor dış yatay ölçüm 28.12.2010(Artış)	67
Şekil 5.18 Pompa 2 motor iç yatay spektrum grafiği 03.11.2010	68
Şekil 5.19 Pompa 2 iç yatak şok ölçüm seyri	69
Şekil 5.20 Pompa iç yatay ölçüm	69
Şekil 5.21 Pompa 3 Motor dış yatay ölçüm	70
Şekil 5.22 Pompa 3 motor dış yatay ölçüm 04.11.2010	71
Şekil 5.23 Pompa 3 motor iç ölçüm 04.11.2010	71
Şekil 5.24 Pompa 3 pompa iç yatak rulman şok ölçümü seyri	72
Şekil 5.25 Pompa 3 pompa dış yatak rulman şok ölçümü seyri	72
Şekil 5.26 Pompa 3 pompa dış yatak titreşim seyri	73
Şekil 5.27 Pompa 3 pompa iç yatay ivme değeri değişimi	73

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.28 Pompa 3 iç yatak rulman titreşim spektrumu(arızalı durum)	74
Şekil 5.29 Pompa 3 iç yatak rulman titreşim spektrumu (Pompa değişiminden sonra)	74
Şekil 5.30 Pompa 3 dış yatak rulman titreşim ölçümü spektrumu(arızalı ölçüm)	75
Şekil 5.31 Pompa 3 dış yatak rulman titreşim spektrum (Pompa değişiminden sonra)	75

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge Numarası</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 ISO 2372	45
Çizelge 4.1 Santrifüj pompa elemanları	47
Çizelge 4.2 Salmastra tipleri	49
Çizelge 5.1 Kızgın yağ pompalarının bölümlere göre ABC analizi	59
Çizelge 5.2 Kritiklik seviyeleri	60
Çizelge 5.3 Titreşim ölçümü yapılacak pompa bilgileri	61

ÖNSÖZ

Bir yandan çalışıp bir yandan akademik çalışma yürütmenin ne kadar zor bir durum olduğunu bu çalışmamda öğrenmiş oldum. Ancak çalışmamı tamamlayarak bu zor duruma rağmen ortaya bu çalışmayı çıkartmış olmaktan mutluyum.

Gerek tez konusunu seçerken gerekse tez hazırlık aşamasında, desteği için fabrikamız mekanik bakım şefi sayın Bülent ORAL'a ve mekanik bakım mühendisi sayın Tuğrul KUMAŞ' a çok teşekkür ediyorum.

Çalışmanın ortaya çıkmasında yönlendirmeleri, fikirleri için ve özellikle de iyi niyeti ve sabrı için danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Gülşen YAMAN' a ve değerli eşi Prof. Dr. Ramazan YAMAN hocama teşekkürü bir borç biliyorum. Eşim Neslihan KARADAYI' ya vermiş olduğu manevi destek için sonsuz teşekkür ederim.

Balıkesir, 2011 Halil Murat KARADAYI

1. GİRİŞ

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler, artan enerji ihtiyacı, değişen ve gelişen rekabet şartları, işletmelerin önemli gider kalemlerinden birini oluşturan bakım ve onarım faaliyetlerini daha da önemli hale getirmektedir. Teknoloji geliştikçe, işçilik giderleri azalmakta, buna bağlı olarak yatırım giderleri ve otomasyon ağırlıklı tesislerin sayısı artmaktadır. Artan yatırıma, oranlı olarak bakım giderleri de artmaktadır.

Üretim esnasında oluşan beklenmedik arızalar neticesinde yaşanan üretim kayıpları, üretim planlarının uygulanmasını aksatabilmektedir. Günümüzde mevcut üretimin kesintiye uğraması, dakikalarla bile olsa büyük maliyetlere sebep olmaktadır.

Arıza yapan makinelerin bakım ve onarımı hem zahmetli, hem de maliyetli olmaktadır. İşletme içerisinde beklenmeyen, ani olarak oluşan arızalarda bakım ve onarım hem uzun sürer hem de yedek parça bulmak, arızanın çıktığı yere bağlı olarak zorlaşabilir. Tabi ki, bu arada üretim kayıpları ve maliyetler artar [1]. Her ne kadar arıza oluştuğundan sonra arızaya müdahale, bir çeşit bakım yöntemi olsa da günümüz şartları göz önüne alındığında, arıza oluşmadan makineye müdahale etme anlayışı daha ağır basmakta ve gitgide önem kazanmaktadır.

Makinelere arıza meydana çıkmadan müdahale etme anlayışı, bir makineden en yüksek verimi almak ve arızı bir duruştan veya bakımdan kaynaklanan üretim kayıplarını en aza indirmek için geliştirilmiş bir anlayıştır. Çalışan makinelerde durum izlemeye yönelik bu anlayışa kestirimci bakım anlayışı denir. Mevcut kestirimci bakım yöntemleri ile çalışan makine durdurulmadan toplanan veriler incelenerek yorumlar yapılmaktadır. Bu yorumlar neticesinde söz konusu makinelerde arıza oluşumu tahmin edilip uygun duruşlar uygun zamanlarda planlanarak makineye müdahale edilir. Böylece arızı durum oluşmadan makinedeki arızalı olan bölgeye müdahale edilerek gereksiz duruş ve maliyetlerin önüne geçilir.

Bu çalışmada da kestirimci bakım anlayışını inceleyerek, bu bakım anlayışı içinde %45 ile diğer kestirimci bakım yöntemleri içinde en önemli paya sahip olan titreşim

analizi yöntemi kullanılacaktır [2]. Pareto analizi ile önem derecesini belirlediğimiz kızgın yağ pompalarından veriler toplanacak ve bu veriler ışığında oluşabilecek arızaların ortaya çıkma sıraları önceden belirlenmeye çalışılacaktır.

Bir kestirimci bakım metodu olan titreşim analizi ile çeşitli arıza teşhisi konuları üzerinde çalışmalar da yapılmıştır.

Arslan (2010)' da, fan makinelerinde oluşturduğu test düzeneği ile muhtemel arızalar oluşturmuş, bunları titreşim analizi ile incelemiş, oluşabilecek arızalar ile ilgili bilgileri irdelemiştir.

Denli (2007)' de, makinelerin çalışırken yaydığı ses, titreşim ve ısıdan yola çıkarak yaptığı ölçüm ve gözlemler neticesinde makinelerin durumlarını incelemiştir. Önceki durumlarıyla karşılaştırıp alınması gereken önlem ve planlarla ilgili çalışmalar yaparak, kestirimci bakım uygulamalarının iyileştirilmesi üzerine çalışmıştır.

Baykara (2009)'da yaptığı çalışmada, şanzımanlarda titreşim analizi ile arıza teşhisi ve kestirimci bakım uygulamaları konusunu ele almıştır. Sistem üzerinde çalışan, belirlediği bir şanzımandan titreşim ölçümleri alarak, bu ölçümler neticesinde bir dişli hasarı tespit etmiştir. Kestirimci bakımı uygulayarak şanzımanın ciddi bir şekilde hasarlanarak plansız duruşa sebep olmasını engellemiştir.

Orhan (2002)' deki çalışmasında, rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi metodunu kullanarak kestirimci bakımını gerçekleştirmiştir. Bu amaçla fan ve pompalardan oluşan bir makine grubunda periyodik titreşim ölçümleri gerçekleştirmiştir. Elde ettiği verileri frekans analizi metodu ile değerlendirerek makinelerde oluşan balanssızlık, mekanik gevşeklik, aksel ayarsızlık ve rulman hasarlarının henüz oluşmaya başlamadan tespit edilebildiğini göstermiştir.

Tatar (2010)' daki çalışmasında, periyodik ve kestirimci bakım arasındaki farkı ortaya koymuştur. Ayrıca kestirimci bakım tekniklerinden titreşim analizi yardımıyla arızaların genel titreşim özellikleri hakkında bilgiler vermiştir.

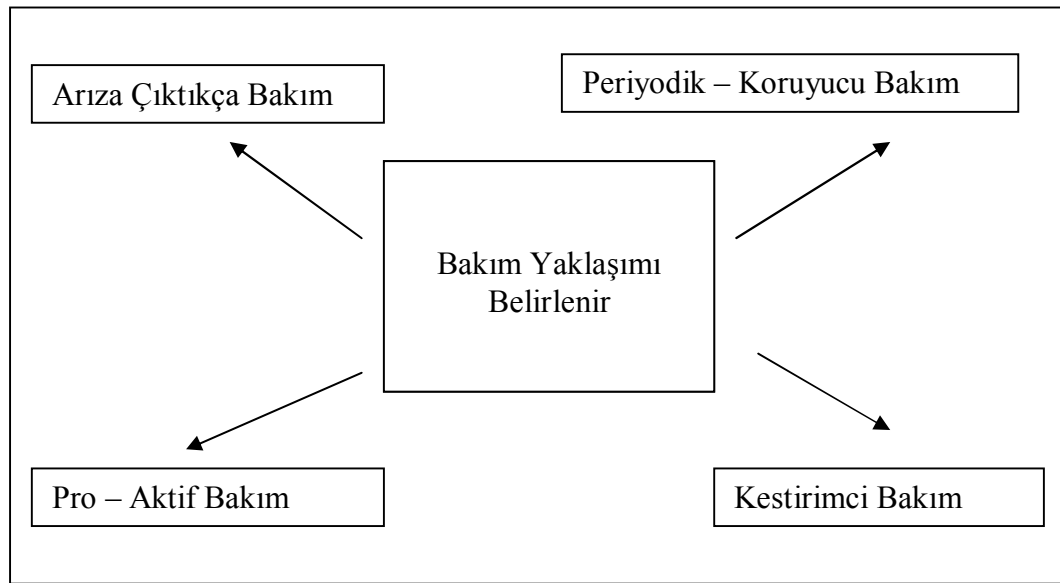
Bu çalışmada ise endüstride oldukça fazla kullanılan ekipmanlardan olan pompalarda meydana gelebilecek arızaların, titreşim analizi ile incelenmesi yapılmıştır. Bunun yanında kestirimci bakım uygulamaları incelenmiştir. Uygulama yapılacak işletmedeki pompa seçiminde ABC analizinden yararlanılmıştır.

1.1 Bakım Yaklaşımları

Her bir işletmede uygulanan, işletmelerin şartlarına göre farklılık gösteren, ancak 4 ana başlık altında toplanmış bakım yaklaşımları mevcuttur. (Şekil 1.1)

- Arıza Çıktıkça Bakım
- Periyodik – Koruyucu Bakım
- Kestirimci Bakım
- Pro – Aktif Bakım

Bu bakım yaklaşımları göz önüne alınarak, bakım yaklaşımlarının verimliliği üzerine yapılan araştırmalar da, bakım masraflarının 1/3 'ünün gereksizce yapılan parça değişimleri ve bakımlar ya da zamanında yapılmamış bakımlar sonucunda israf edildiğini göstermiştir [3, 4, 5].



Şekil 1.1 Bakım Yaklaşımlarının Belirlenmesi

1.1.1 Arıza Çıktıkça Bakım Yaklaşımı

Bu yaklaşım, makinelerin arızalanana kadar herhangi bir müdahaleye uğramadan çalışması üzerine kuruludur. Makineye arıza olduğu zaman müdahale edilerek makinenin tamiri yapılır. Ancak makinenin arızaya sebep olan noktasının yanında makine arızalanana kadar bu ekipmana herhangi bir bakım yapılmadığı için, makinenin başka yerleri de arızalanabilir. Hatta makinede fiziksel hasarlar bile meydana gelebilir.



Şekil 1.2 Arızalanan Bir Motor

Bu bakım yaklaşımında, makinelerde asıl arızalanan yerin yanında başka bölümlerine de bakım gerekir. Ayrıca bu bakım yaklaşımında bir yandan da iş kazası riski mevcuttur. Arızalanan makinenin nereden arızalanacağını ve nasıl bir tepki göstereceğini kestiremeyiz.

Bunun yanında bakım grubu için bir plansızlık mevcuttur denilebilir. Çünkü arızanın ne zaman olacağı bilinmediği için her an arıza çıkabilir gibi düşünülerek acil durum modunda çalışılmasına sebep olur [6]. Üretim kayıpları oluşur ve arıza durumu olduğunda bakım yapılacağından, fazla yedek parçaya ihtiyaç duyulabilir. İhtiyaç duyulan yedek parçalar, arızanın nereden çıkacağı belli olmadığı için, stokta

bulunmayabilir. Bu durumlar arızı duruşun süresini arttıran ve beraberinde maliyetleri de etkileyecek olaylardır. Bir arıza oluştuğunda hızlı bir müdahale yapılması gerektiğinden verimli bir bakım veya tamir yapılamaması mümkündür yani hata yapılma ihtimali yüksektir.

Tüm bu sebeplerden dolayı, arızalanınca bakım yaklaşımı tüm bakım yaklaşımları içinde en verimsiz denilebilecek yaklaşımdır. Ancak ne var ki günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler ve buna bağlı olarak gelişen bakım yaklaşımlarına rağmen hala bu yaklaşımın uygulandığı tesisleri bulmak mümkündür.

1.1.2 Periyodik – Koruyucu Bakım Yaklaşımı

Periyodik – Koruyucu bakım yaklaşımında amaç, makineler arızalanana kadar değil, belirli aralıklarla bakıma alınarak periyodik kontrollerinin yapılması ve arıza meydana getirebilecek parçalarının değiştirilmesi esasına dayanır. Örneğin çalışma saati baz alınarak ya da yılda bir, ayda bir gibi zaman aralıkları belirlenerek bakımlar yapılabilir. Bakım aralıkları genellikle geçmiş tecrübelerden istatistiksel olarak belirlenir [3].

Arızanın oluşup oluşmaması önemli değildir. Makinenin arıza meydana getirebilecek parçaları değiştirilir. İlgili parçalar değiştirilirken, değişen parçalar çalışma ömrünü tamamlamamış veya tamamlamış olabilir. Her durumda parça değiştirilir ve bakım yapılmış olur. Çünkü bakım amacıyla durmuş bir makinenin bir sonraki durma periyodu gelene kadar durma şansı olmayabileceği için, bundan sonra arızı duruş oluşturma ihtimali artar. Hatta zaman zaman makineler, işletme şartlarından kaynaklanan sebeplerden dolayı durma periyotlarını da geçebilir. Yani arıza çıkarabilecek parçalar olması gerekenden daha fazla çalışabilir.

Koruyucu bakım arızı duruşları azaltır. Ancak zaman zaman parçalar, gereğinden önce değiştiği için bakım maliyetleri de doğal olarak artış gösterir. Gereksiz değişim olursa, makine boşuna durmuş olacağından üretim kayıpları da meydana gelebilir.

Periyodik – Koruyucu bakım yaklaşımının bir işletmede uygulanması, makineler belirli aralıklarla duruyorsa faydalı olabilir [6].

1.1.3 Kestirimci Bakım Yaklaşımı

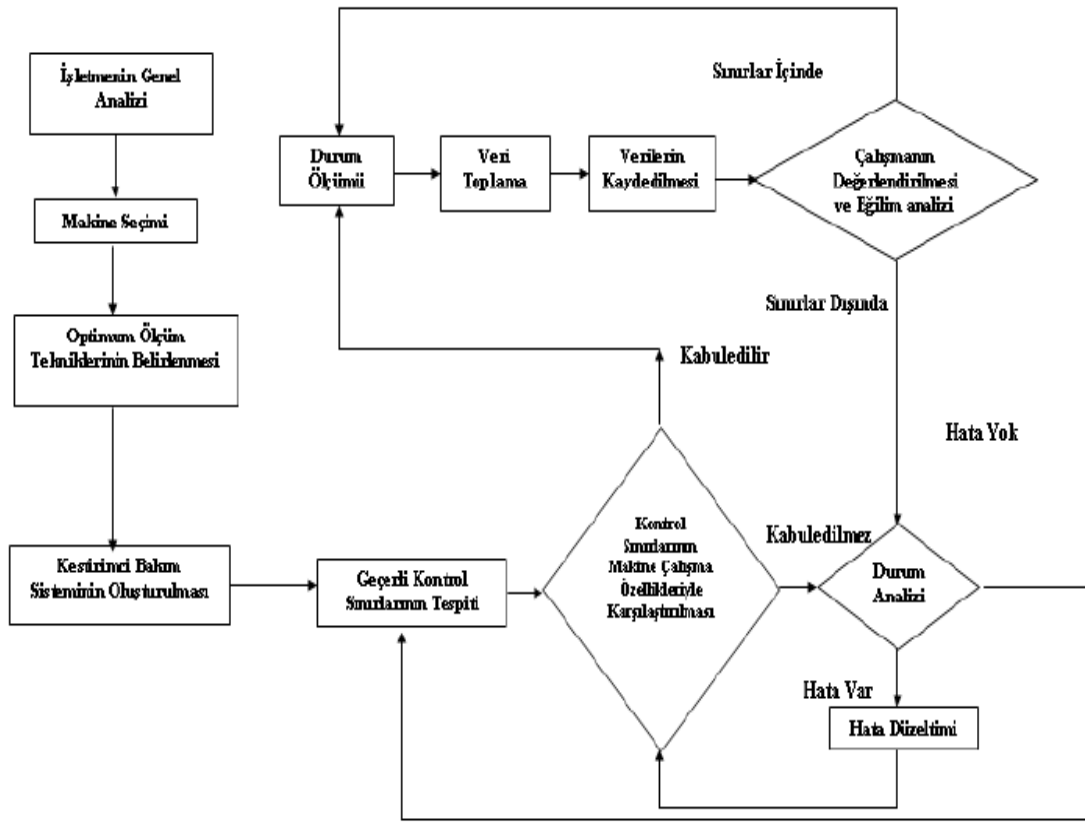
Kestirimci bakım yaklaşımında, çalışır durumdaki makinelerin durumlarını izleyerek, oluşabilecek muhtemel arızaları, analizler neticesinde tahmin ederek uygun bakım zamanını ve uygun stokları planlayarak arızaya müdahale etme amacı vardır.

Bu yaklaşım bizi, koruyucu bakımda oluşabilecek gereksiz parça değişimlerinden alıkoyar. Çünkü kestirimci bakımda çeşitli metodlar kullanarak arızaların ne zaman oluşabileceği tahmin edilir ve böylece parçaların çalışma sürelerini tamamlamadan değiştirilmesinin önüne geçilir. Bu da parça ve stok maliyetlerini düşürür. Gereksiz olabilecek bir periyodik duruş yapılmaz ve üretim kayıpları meydana gelmez. Yalnızca gerektiğinde gerektiği kadar duruş yapılarak sorun giderilir ve üretime devam edilir.

Kestirimci bakımı gerçekleştirmek için çeşitli yöntemler uygulanır. Bu yöntemlerle, periyodik olarak, çalışan makinelerden veriler toplanarak, üretimi durdurmadan kontrol ve ölçümler yapılır. Elde edilen bu verilerin analiz edilmesiyle oluşan sorunlar önceden yakalanır. En uygun zamanda da bakımı yaparak kestirimci bakım yaklaşımının amacına ulaşılır.

Bu yaklaşımın dezavantajı, arızalı ekipmanların yanlış değerlendirilmesinden dolayı bakım işlerinin artması olabilmektedir [6]. Ancak bu sorun eğitimle ve tecrübe edinildikçe ortadan kalkar.

Şekil 1.3’ te kestirimci bakım yaklaşımının işletmedeki uygulama adımı verilmiştir.



Şekil 1.3 Kestirimci Bakım Yöntemi Akış Şeması [4]

1.1.4 Pro – Aktif Bakım Yaklaşımı

Kestirimci bakımda durum izlemesi yapılarak arızanın meydana gelebileceği zamanın tahmini yapılırsa da, arızanın temel nedeni her zaman tam olarak tespit edilmeyebilir. Bu noktada devreye proaktif bakım girer.

Arızanın kaynağına inilerek arızayı bertaraf etmek için kullanılır. Sürekli tekrarlayan bir problemi, sürekli yakalayıp sürekli müdahale etmek yerine, arızayı oluşturabilecek sebepleri örneğin gerilme, dengesizlik, eksenal kaçıklık vb. problemleri uygun ekipmanlar kullanarak azaltıp ortadan kaldırarak veya etkisini azaltarak arıza oluşmasını engeller. Ayrıca geciktirir. Proaktif bakıma örnek olarak lazerli kaplin ayarı ve balans alma işlemi verilebilir [7].

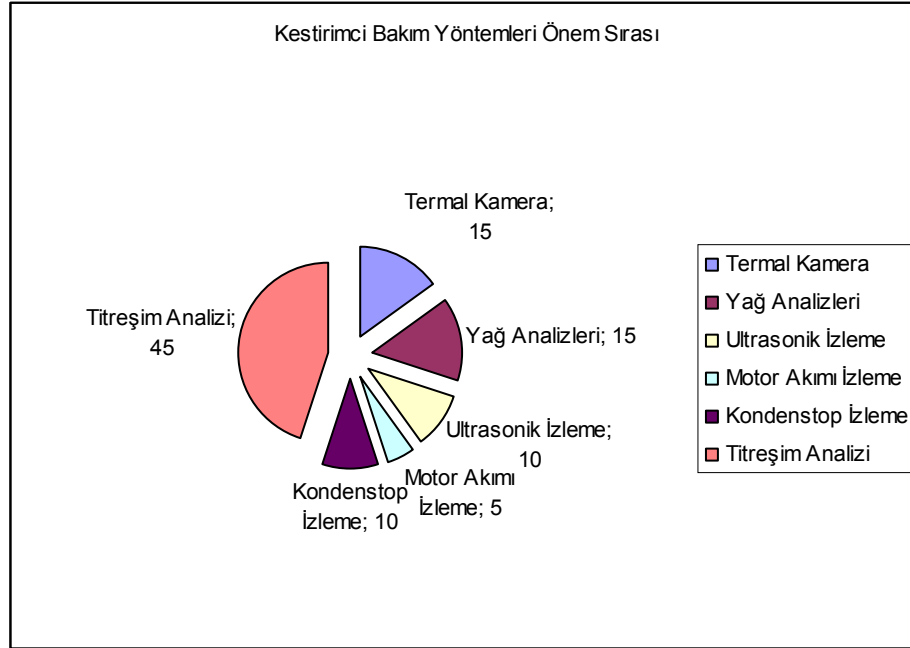
Kestirimci bakıma destek olarak birlikte uygulandığında oldukça verimli ve yararlı olan bu bakım yaklaşımı giderek daha çok firma tarafından tercih edilir hale gelmektedir.

2. KESTİRİMCİ BAKIM VE KESTİRİMCİ BAKIM YÖNTEMLERİ

Kestirimci bakım yaklaşımının bir işletmede uygulanabilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmalıdır. Bu yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Kızıl Ötesi Termografi (Termal kamera ile izleme)
- Yağ Analizleri
- Ultrasonik İzleme
- Motor Akımı İzleme
- Kondenstop İzleme
- Titreşim Analizi

Bu yöntemler arasından birini veya birkaçını işletmeye uygulayarak kestirimci bakım programı oluşturulabilir [3, 8]. Bu yöntemler içerisindeki önem sıralaması Şekil 2.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Kestirimci Bakım Yöntemleri Önem Sırası [2]

Titreşim analizi yönteminin diğerlerinden daha büyük paya sahip olması, titreşim analizi ile çalışan makineyi durdurmadan verileri toplayıp, hızlı bir şekilde çok çeşitli

sorunları tespit edebildiğimiz içindir. Titreşim analizi bir bakıma bize makine hakkında daha fazla veri sağladığı için daha verimli bir yöntemdir. Ancak bir kerede, makine titreşimi ölçüm analizi ile, arıza kaynağı ile ilgili kesin ve net karar verebilmek için titreşim analizi ile ilgili deneyim ve bilgi sahibi olmak gerekir [9]. Bu durumun etkisini azaltmak için titreşim ölçümleri belirli aralıklarla tekrarlanarak oluşacak değişimler takip edilir.

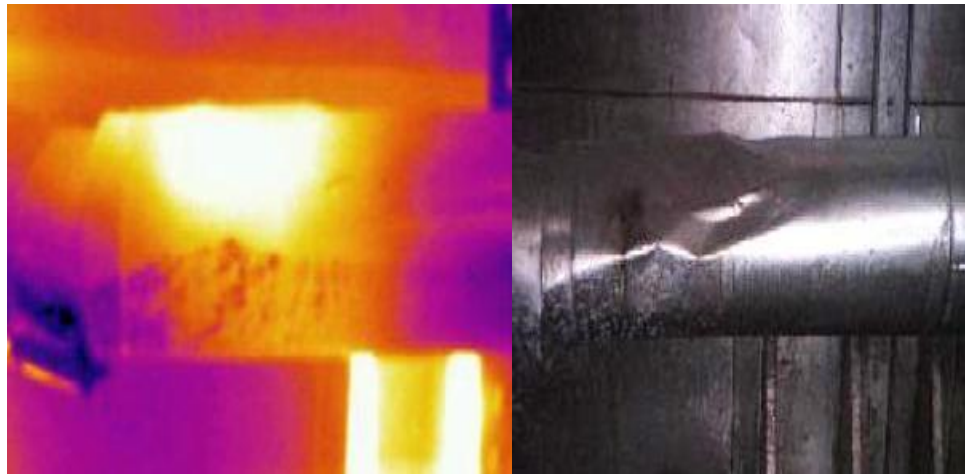
2.1 Kestirimci Bakım Yöntemleri

2.1.1 Kızıl Ötesi Termografi (Termal Kamera ile İzleme)

Kestirimci bakım yöntemleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Pek çok elektriksel ve mekanik arızanın önceden yakalanmasına yardımcı olur.

Kızıl ötesi ışınların dalga boyu büyüklükleri 0,75 ile 1000 mikron arasındadır [7]. Teknolojik gelişmeler sayesinde üretilen termal kameralarla kızıl ötesi ışınlar yakalanarak makinelerin, kabloların, yalıtım malzemelerinin ve bunun gibi pek çok şeyin durumu hakkında yorum yapılabilir.

Termal kamera ile izlenen ve çekilen görüntülerde sıcaklığın daha fazla olduğu bölgeler beyaz renge doğru sarı, açık sarı, beyaz diye giderken daha soğuk olan bölgeler, mavi ve siyaha doğru gider.

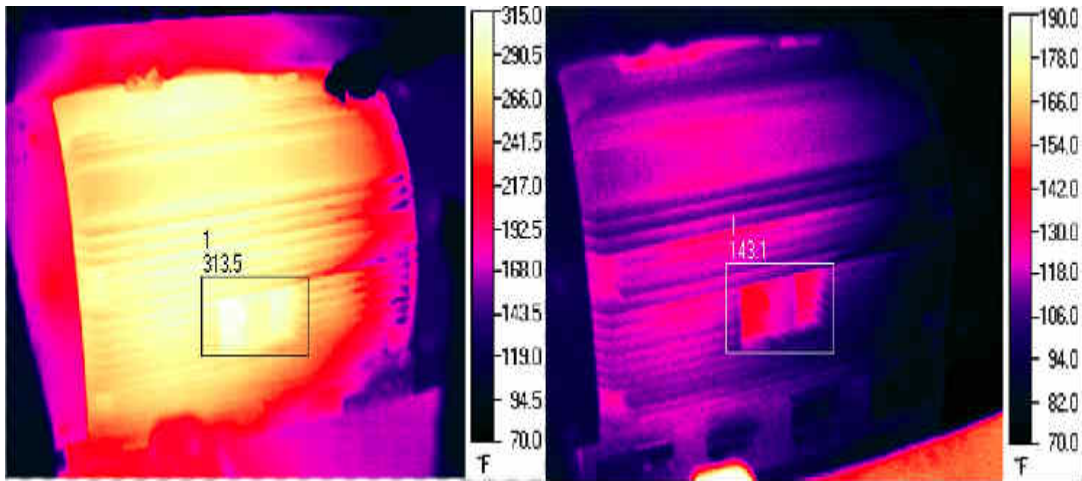


Şekil 2.2 Bir su borusunun termal kamera ile arıza analizi [10]

Şekil 2.2' de soğuk bölgeler daha koyu olan renklerle, sıcak bölgeler ise açık sarı ve beyaza yakın renklerle görüntülenir. Bu fotoğrafa bakarak borudaki zayıflık hakkında yorum yapmak kolaylaşır.

2.1.1.1 Termal Kamera ile Yakalanabilecek Arızalara Çeşitli Örnekler

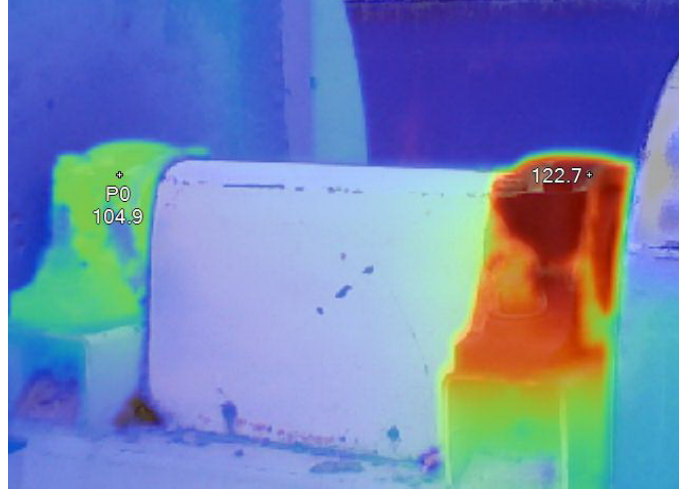
Uygulamada pek çok konuda termal kamera ile çeşitli arızalar yakalanabilir. Bu arızaların başlıcalarını sıralamak gerekirse; elektriksel kablo arızaları, metal metal temasından kaynaklanan arızalar, yatakların fazla yağlanması sonucu oluşan arızalar, zayıf yalıtımların tespiti sıralanabilir. Isı ve sıcaklığın olduğu yerlerde görüntüler yorumlanarak diğer pek çok çeşitli yorumları yapmak mümkündür.



Şekil 2.3 Bir elektrik motorundaki arıza tespiti ve giderilmesi [11]

Şekil 2.3' te sol tarafta kalan termal görüntüde elektrik motoru gövdesinde mevcut olan tozlardan dolayı elektrik motorunun sıcaklığı 300°C ' nin üzerine çıkmıştır. Bu durumda uzun süre çalışan elektrik motoru, bir süre sonra arızalanarak belki de kullanamaz duruma gelecektir. Oluşan arıza üretim kaybına neden olup tesisin durmasına sebep olabilir. Bu durum termal kamera ile yakalanarak, elektrik motorunun gövdesini kaplayan toz temizlenip sıcaklıkların normal çalışma sıcaklığına çekilmesi sağlanmıştır. Basit bir temizlik işlemiyle, çok önemli olabilecek bir arızanın önüne geçilmiştir.

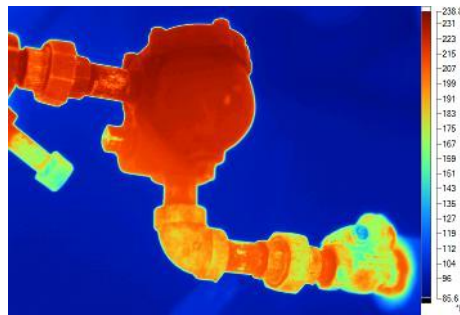
Bazı durumlarda ise rulman yataklarında mevcut olan fazla ısınmaları termal kamera ile tespit edebiliriz. Bu tespit neticesinde dönen makinelerin en kritik elemanlarından olan rulmanların arızalanmasının önüne geçilir. Şekil 2.4' te bu duruma bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.4 Fan rulman yataklarındaki ısınma problemi [11]

Bu örnekte iki rulman yatağından birisi diğerine oranla daha fazla yağlandığı için rulmanın sıcaklık değeri kritik değere ulaşmış durumdadır. Burada bu sorun yakalandığında müdahale edilerek büyük sorun yaratacak bir duruş olmasının önüne geçilir. Aksi takdirde rulman arızası neticesinde rulman değişimi gerekeceğinden duruş süresi uzayacak bu da üretimi etkileyecektir.

Buhar sistemlerinde mevcut kondensstopları da termal kamera ile kontrol edebiliriz. Şekil 2.5' te görülen kondensstopun termal kameradaki görüntüsünü yorumlayacak olursak şu sonuçlara ulaşabiliriz.



Şekil 2.5 Buhar hattındaki kondensstopun termal görüntüsü [11]

Bu termal görüntüde iki farklı renkte görüntü mevcuttur. Fotoğrafın sol üst tarafındaki kısım daha sıcak, sağ alt tarafındaki kısım ise diğer tarafa göre daha soğuktur. Bu fotoğrafta sol tarafın sıcak olmasının sebebi, sol kısmın buhar tarafı olmasıdır. Sağ taraf ise sıcak su tarafıdır. Yani yoğuşma tarafıdır. Mevcut olan bu sıcaklık farkından dolayı bu kondensatör şu anda iyi bir şekilde çalışmaktadır diyebiliriz. Olması gereken budur. Eğer her iki tarafı da aynı renge sahip olan bir kondensatörle karşılaşırsak kondensatör görevini yapmıyor yorumunu rahatlıkla yapabiliriz. Böylece arızaya müdahale ederek buhar sistemimizin daha verimli çalışmasını sağlayabiliriz.

Görüldüğü gibi termal kamera yöntemi basit ve çok etkili bir yöntem olabilmektedir. Ciddi sonuçlar ve ciddi duruşlara neden olabilecek arızaların önceden tespitini, (yorumlar iyi yapıldığında) sağlamaktadır.

2.1.2 Yağ Analizi

Makinelerin çalışmasında hayati bir önem arz eden ve herkes tarafından bilinen yağlama faaliyetleri, işletmelerde önemli işlerden biridir. Rulmanlarda, redüktörlerde, zincirlerde yüzeyler arasında belirli kalınlıklarda yağ filmi oluşturarak parçaların aşınmasını, birbirlerine sürtünmeden kaynaklanacak hasarların önüne geçilir. Uzun süre yağsız çalışan bir rulman veya redüktör arıza yapmaya mecburdur. Bunun yanında uygun makinelerde uygun yağın kullanılması gerekmektedir. Eğer kullanılan yağ istenilen şartları karşılayamazsa bir süre sonra yağlayıcılık özelliğini kaybedecek ve makinenin arızalanmasına yol açacaktır. Tüm bu sebeplerden dolayı belirli çalışma aralıklarında çalışan yağdan numune alınarak analiz yapılması ve çıkan sonuçları yorumlayarak, önemli kararlar alınır [7].

Ayrıca yeni alınan yağların da analizi yapılarak istenilen özellikleri karşılayıp karşılamadıkları kontrol edilmelidir. Bunun yanında yeni yağın da içindeki parçacık sayımları yapılmalıdır [7].

Yağ analizlerinde yapılacak parçacık sayımları ile makinelerdeki aşınma, sürtünme ve filtre arızaları gibi arızalar yakalanabilir.

Yağ değişim zamanları belirlenirken üreticilerin vermiş olduğu bilgilerin yanında, yağa analiz yapılarak, yağın durumu net olarak belirlendiğinde değişim yapılmalıdır.

Temel olarak yağ analizinde iki çeşit durum vardır. Birincisi yağın fiziksel durumu, ikincisi ise kirlilik seviyesi ile ilgilidir [7]. Yağ değişim kararına yağın fiziksel durumu yorumlanarak varılabilir.

Yağ analizleri sonucunda dikkat edilmesi gereken kavramlar kısaca sıralanırsa; viskozite, TBN (yağdaki katkı maddelerinin sayısı), yağın oksidasyon durumu, TAN (asitlik miktarı), su miktarı, parçacık sayımı, kurum, sülfür ürünleri gibi kavramlar örnek verebilir [7].

Bir motor yağı analizi yapılıyorsa bakılacak maddeler buna göre değişiklik gösterir. Örneğin bir hidrolik yağ analiz ediliyorsa TBN yerine TAN değerine bakmak daha yararlı olacaktır.

Yağ analizi yapılarak makinelerde kullanılan yağın durumu hakkında net bilgiler elde edilir. Bu şekilde beklenmedik arızaların önüne geçme olanağı artar ve makinede çalışan parçaların ömrü uzar. Yağ analizi yöntemi uzun süreli bir yöntemdir. Makinelerde çalışan yağın belirli bir süre çalışması gerekir. Bununla beraber diğer yöntemler kadar kesin bilgiler verebilir. Yağın durumu hakkında, yapılan yağlamanın durumu hakkında sonuca varılabilir. Fakat zaman zaman belirli makineler için sonuçları toplamak ve izlemek, sonrada yorumlamak aylar hatta yıllar alabilir. Her şeye rağmen önemli bir arıza tespit yöntemi olarak kestirimci bakım faaliyetlerindedir.

Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde yağ analizlerini laboratuara göndermek ve bunun için geçen süreleri beklemek durumunda kalınmayabilir. Çünkü portatif, küçük boyutlarda hızlı analizler yaparak yağ hakkında sonuçlara ulaşıp karar vermeyi sağlayan cihazlar satılmaktadır. Bu durum yağ analizi olayına yeni bir

boyut katmıştır. Ancak yorumlar yapılırken, yorumu yapan kişinin yağ ile ilgili terimleri ve ne ifade ettiklerini bilmesi hayati önem taşır. Bunun için eğitim yolu izlenerek eksiklik ortadan kaldırılabilir.

2.1.3 Ultrasonik İzleme

Ultrasonik izleme, kestirimci bakım yöntemleri içerisinde bulunan işletmeye önemli kazançlar sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak basınçlı hava kaçaqları belirlenebilir, kondensatörlerin (buhar kapanı) çalışma testleri yapılabilir, rulmanların yağlama ve hasar durumlarının kontrolleri yapılabilir, tesisatlarda kalınlık ölçülmesi, korozyonun tespiti yapılabilir [12].

İnsan kulağının duyma eşiği 20 Hz ile 20 kHz arasındadır. Duyulabilir sınırdaki seslerin dalga boyu 1,9 cm ile 17 m arasında değişir [7]. Ultrasonik cihazlar insanın duyamayacağı, dalga boyu 0,3 cm ile 1,6 cm arasındaki sesleri yakalayıp ayırarak insanın duymasını sağlar [7]. Böylece bu cihazlar kullanılarak bazı sorunlara çözüm önerileri sunup işletme daha verimli hale getirilir.

2.1.3.1 Ultrasonik İzleme ile Yakalanan Arızalara Çeşitli Örnekler

Ultrasonik izleme ile yakalanan belki de en önemli sorun hava kaçaqlarıdır. Basınçlı hava pahalıdır ve üretmek için elektrik enerjisi harcanır. Dolayısıyla basınçlı hava hatlarındaki kaçaqlar kullanılan enerjinin boşa harcanmasına neden olur ve önemli maliyetler oluşturur.

Kaçak noktalarında oluşan türbülans kuvvetli ultrasonik dalgalar yayarak çevre gürültüsünden farklı olarak ultrasonik cihaz tarafından algılanır ve ölçüm yapan kişinin kulağına gelir [7]. Bu şekilde hava kaçağı tespit edilerek müdahale edilebilir. Bunun yanında basınçlı her türlü gaz için kullanılabilir.

Çalışan bir makinenin en önemli elemanlarından olan rulmanlardaki arızalar da ultrasonik dinleme cihazlarıyla tespit edilebilmektedir. Çalışan rulman yatağından dinleme yapılarak, hasarlı rulmanlar, yağsız çalışan rulmanlar tespit edilebilir. Bunun neticesinde önlem alınarak herhangi bir duruşa sebebiyet vermeden planlama yapılır. Müdahale gerçekleştirilir.

Kondenstoplarda da ultrasonik cihazlarla dinleme yapılarak arızalar tespit edilebilir. Bozuk bir kondenstop düşük kalitede buhar ve koç darbeleri oluşması demektir [7]. Kondenstoptan geçen buhar iş yapmadan dışarı çıkmış olacağından, üretimi için harcanan enerji boşa gitmiş olacaktır. Tüm bu sebeplerden dolayı arızalı kondenstopların, ultrasonik olarak dinleme ile bulunarak arızalarının giderilmesi oluşan maliyetlerde önemli bir azalma sağlayacaktır.

2.1.4 Titreşim Analizi

Titreşim analizi yöntemi, kestirimci bakım yöntemleri arasında en çok uygulanan ve en hızlı sonuç alınabilen yöntemdir. Bu yöntemde, titreşimleri bir elektrik sinyaline dönüştüren bir alıcı yardımıyla makine üzerinden ölçüm alınır ve bu ölçüm sonucunda oluşan elektrik sinyalini işleyen bir cihaza aktarılır. Bu bilgiler bilgisayara aktarılarak bir analiz yazılımı yardımıyla analiz edilerek makineler hakkında bir sonuca varılır.

Dönen parçaları bulunan tüm makinelere uygulanabilir. Makinenin mekaniksel durumu hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar [6]. Makinelerin sürekli olarak, önem durumlarına göre belirli aralıklarla titreşim ölçümlerinin yapılması ve verilerin analizi ile yapılır.

İzleme işlemi neticesinde çok fazla sayıda arızayı yakalama şansımız vardır. Bunlar arasında balanssızlık problemleri, mekanik gevşeklik problemleri, eksenel ayarsızlık problemleri, rulman arızaları, kayış-kasnak problemleri, dişli hasarları, kaplin hasarları, mil eğrilikleri, yatak aşınmaları, kavitasyon, yağlama problemleri, şase ve ankraj zayıflıkları bulunur. Her biri için elde edilen verilerin iyi ve detaylı analizleri

yapılmalıdır. Aksi halde yanlış tespitler yapmak mümkün olabilmektedir. Tüm kestirimci bakım yöntemlerinde olduğu gibi tecrübe isteyen bir konudur. Belki de en çok tecrübe isteyen yöntem bu yöntemidir.

3. TİTREŞİM ANALİZİ ve ÖLÇÜMLERİN TANIMI

3.1 Titreşim ile İlgili Temel Kavramlar

Herhangi bir nesnenin, bir referans eksenine göre bulunduğu doğal pozisyondan, farklı periyot ve genliklerle geçerek, tekrarlamış olduğu yer değiştirmelere titreşim denir. Titreşim tekrarlanan bir çevrim şeklinde ve sürekli dir. Aksi takdirde bu durum titreşim değil hareket olur.

Titreşimin kendini tekrar ettiği zaman aralığına periyot adı verilir [13]. Titreşimin birim zamandaki tekrarlama sayısı da bize frekansı verir. Bu iki kavram titreşim analizinde temel iki kavramı ifade eder.

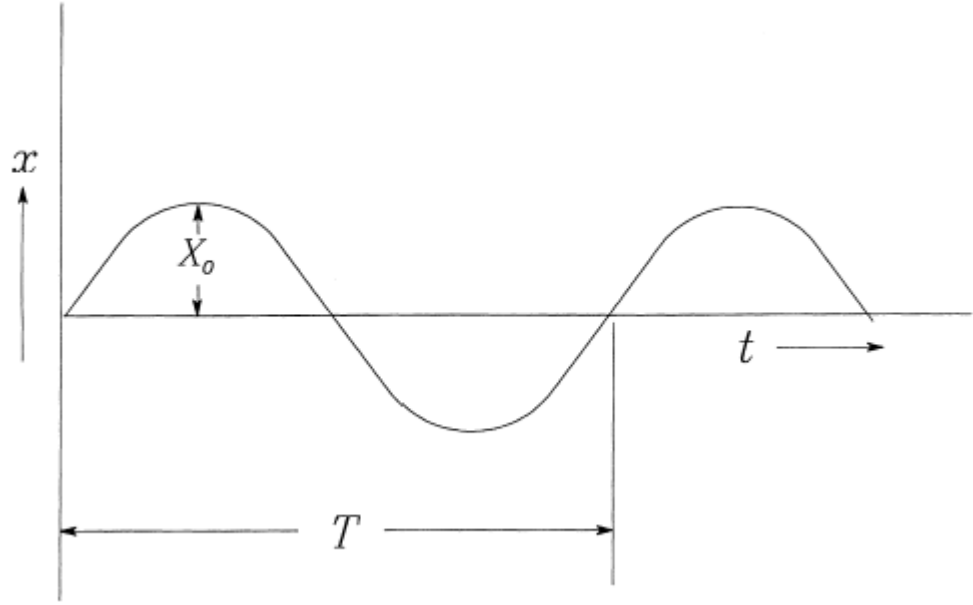
Frekans iki türlü ifade edilebilir. Bunlardan ilki titreşimin bir saniye içindeki tekrarlama miktarıdır ve birimi hertz (Hz)' dir [13]. Diğeri ise titreşimin bir dakika içerisindeki tekrarlama miktarıdır ve birimi RPM (revolution per minute)' dir. Frekans ile periyot arasındaki bağıntı şu şekildedir;

$$f = 1 / T \quad (3.1)$$

$RPM / 60 = Hz$ eşitliği ile dönüşüm yapılabilir.

3.2 Basit Harmonik Salınım

En basit titreşim, harmonik titreşimdir [13]. Oluşan bütün harmonik hareketler periyodiktir ancak tersi her zaman mümkün değildir. Basit olarak harmonik salınım şekil üzerinde şekil 3.1' deki gibi gösterilir.



Şekil 3.1 Harmonik Hareketin Grafiği

Titreşimin oluşması için gereken kuvvetlerin büyüklüğü, titreşimin şiddetini ifade eder. Bu etki eden kuvvetler ne kadar büyükse yer değiştirme miktarı yani titreşimin genliği de o derece büyük olur.

3.3 Deplasman

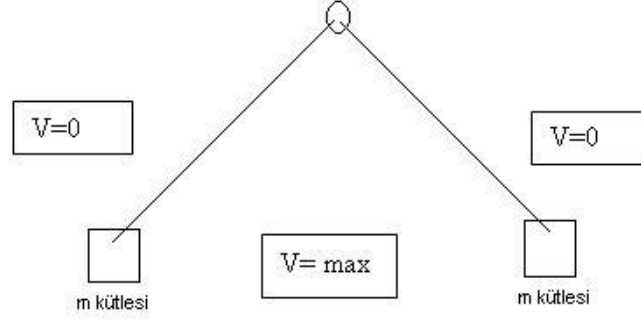
Sıfır konumundan başlayarak maksimuma, oradan tekrar sıfır konumuna oluşan harekette yer değiştirme miktarı mm veya mikron cinsinden ifade edilebilir. Titreşim ile geçen zaman arasındaki bağıntı ise şu şekilde ifade edilir.

$$X = X_0 \cdot \sin(\omega t) \quad (3.2)$$

Buradaki X , deplasman olarak adlandırılır. X_0 ise en yüksek genlik değeridir.

3.4 Hız

Titreşim hareketini yapan kütle hareket ettikçe kütle hızı sıfırdan maksimuma doğru değişir [13].



Şekil 3.2 Hızın değişimi

Burada kütle hızı, deplasman denkleminin zamana göre türevinin alınması ile elde edilebilir.

$$V = \frac{dX}{dt} = X_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) \quad (3.3)$$

Daha da basit olarak birim zamanda alınan yol olarak tanımlanır. Birimi mm/s, m/s, inç/s olabilir.

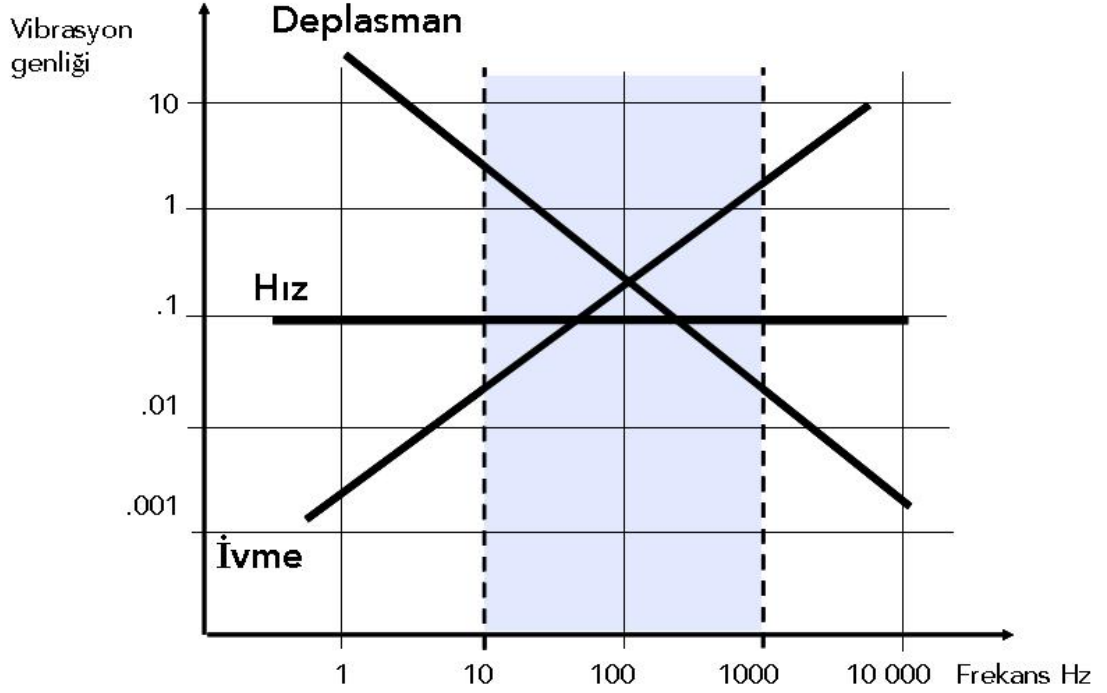
3.5 İvme

Hız denkleminin zamana göre türevinin alınması ile elde edilir. Hızda birim zamanda meydana gelen değişimdir. Birimi m/s^2 , mm/s^2 , $inç/s^2$ olabilir.

$$a = \frac{dV}{dt} = -X_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega t) \quad (3.4)$$

Bu üç ifade yani deplasman, hız ve ivme genlik birimi olarak ifade edilir.

Ölçümlerin yapılması esnasında birim olarak hangi ifadenin seçilmesi gerektiğine karar vermek önemlidir. Deplasman, hız ve ivme ile yapılan ölçümlerin kendilerine has avantaj ve dezavantajları vardır [7]. Bu kararın verilebilmesi için ölçüm yapılacak makinenin devrine göre (Hz) karar verilir. Aşağıdaki şekil bu durumu daha iyi açıklamaktadır.



Şekil 3.3 Genlik – Frekans Grafiği

Şekil 3.3' te 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 şekil 3.3' te de görüldüğü üzere daha geniş bir frekans aralığında kullanılabilir ve verimli sonuçlar verir. Hız çoğu ölçümde kullanılacak bir genlik birimidir.

Ölçümler esnasında hangi birimi kullanarak ölçüm yapacağımızı bilmek önemlidir. Buna uygun hareket edilmediği zaman sağlıklı ölçüm yapıp sağlıklı analizler yapamayabiliriz. Değerlerimiz ve kararlarımız yanıltıcı olabilir.

3.6 Titreşim Genliği Değerleri

Genlik, yani titreşimin şiddeti, tepe değer, tepeler arası değer, RMS ve ortalama olmak üzere dört şekilde ifade edilebilir [8].

3.6.1 Tepe Değer

Tepe değer, sıfır noktasından tepe noktasına olan uzaklık, yani titreşim sinyalinin bir noktada eriştiği maksimum değerdir [8]. Bu değer X_0 değeridir. Titreşimin hızının veya ivmesinin genlik değerini ifade için kullanılır [13].

3.6.2 Tepeler Arası Değer

Sinyalin maksimum tepe noktasından, minimum tepe noktasına kadar aldığı değer olarak tanımlanır. $2X_0$ değeridir. Genellikle titreşimin deplasmanını ifade eder [13].

3.6.3 RMS (Root Mean Square)

Bir sinyalin t_1 ve t_2 zaman aralıklarında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının kareköküdür.

3.6.4 Ortalama

Bir sinyalin t_1 - t_2 zaman aralığında aldığı değerin aritmetik ortalamasıdır.

Daha öncede bahsedildiği gibi titreşim genlik değerlerinin birimleri yer değiştirme, hız, ivme birimlerinden birisi olabilir.

Genlik değerlerini kendi ilerinde birbirine dnstrlebilir [13].

$$\text{Ortalama} = 0.637 \times \text{Tepe} \quad (3.5)$$

$$\text{Ortalama} = 0.9 \times \text{RMS} \quad (3.6)$$

$$\text{Tepeden Tepeye} = 2 \times \text{Tepe} \quad (3.7)$$

$$\text{Tepe} = 1.414 \times \text{RMS} \quad (3.8)$$

$$\text{Tepe} = 1.57 \times \text{Ortalama} \quad (3.9)$$

$$\text{RMS} = 0.707 \times \text{Tepe} \quad (3.10)$$

$$\text{RMS} = 1.11 \times \text{Ortalama} \quad (3.11)$$

Tüm bu temel ifadeler kestirimci bakımda titreşim analizi ayağının temelini oluşturarak, analizin anlaşılmasını ve sağlıklı yorum yapılabilmesini sağlar. lm yaparken elektrik motorları, fanlar, pompalar, kompresörler gibi ilerinde belirli bir devirde dönen rotor bulunduran sistemlerin kendi gövdeleri üzerinden ve yataklara en yakın bölgelerden sensörler yardımıyla veriler toplanır [14]. Günümüzde üç tip sensör kullanılmaktadır.

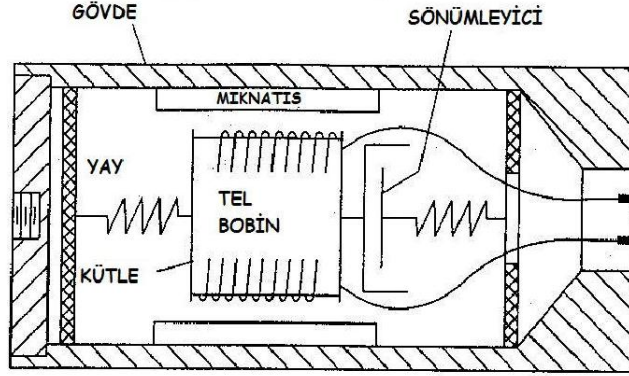
3.7 Titreşim lmnde Kullanılan Sensörler

Titreşim, lm 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 [13]. lm sensörü seçilirken şekil 3.3 göz önüne alınmalıdır.

3.7.1 Hız Sensörü

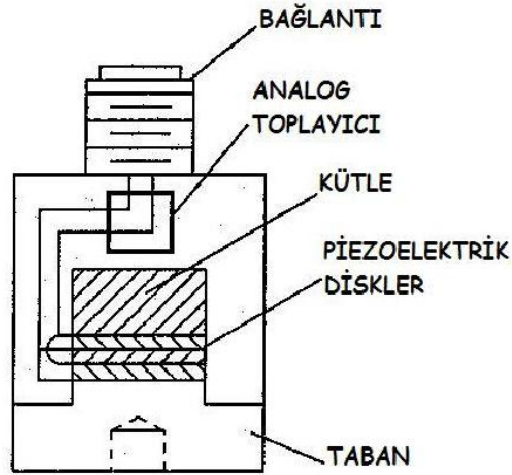
Hız birimli ölçüm alan sensörlerdir. lm, sensörün içinde bulunan yay ve damper ile modellenen mıknatıs kütlenin, makine gövdesi üzerinde dokundurulduğu yerdeki titreşime bağlı olarak yapılır. Bobin, oluşan manyetik alanın içerisinde hareket

ettiğinde bobin uçları arasında gerilim oluşur ve bu, akım cinsinden hareketliliği elektriksel sinyale dönüştürür [9,13].



Şekil 3.4 Sismik Hız Sensörü Görünümü [7]

Sismik ve piezoelektrik hız sensörleri olmak üzere iki tiptir. Kullanım yerlerine ve ölçüm yapılacak makinenin frekansına göre farklı yerlerde kullanılırlar.



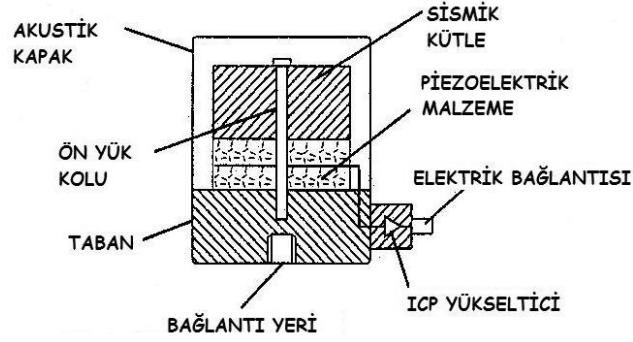
Şekil 3.5 Piezoelektrik Hız Sensörü Görünümü [7]

3.7.2 İvme Sensörü

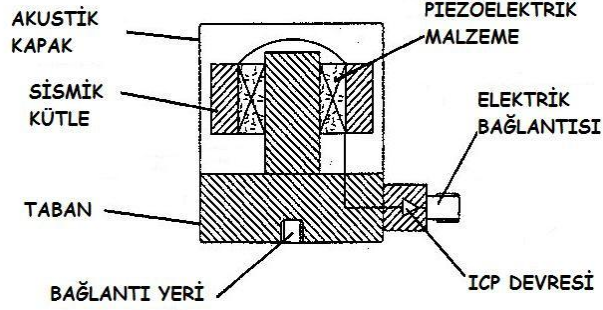
İvme ölçer transduserler titreşim ölçümlerine yaygın olarak kullanılan sensörlerdir. Bakıma gerek duymayan, hafif, geniş aralıklardaki frekanslara cevap verebilen

sensörlerdir [13]. Bu sensörlerin çalışmalarını ve hassasiyetlerini etkileyen bazı değerler mevcuttur. Bunlar voltaj hassasiyeti (mV/g), frekans (Hz) ve ağırlıktır. Hız sensörlerine oranla daha ucuz ve daha geniş frekans aralıklarına cevap verebildikleri için sıklıkla tercih edilirler.

Günümüzde en çok kullanılan iki ivme sensörü şekil 3.6 ve 3.7’de verilmiştir [7].



Şekil 3.6 Baskı Tipi İvme Sensörü



Şekil 3.7 Kesme Tipi İvme Sensörü

3.7.3 Deplasman Sensörleri

Bu sensörler hız ve ivme sensörleri gibi mutlak olarak titreşim değerini değil, ölçüm noktasına göre şaft titreşimini ölçerler. Özel ucu sayesinde mili görece şekilde sabitlenen sensör, ucundaki manyetik alan değişimleri yardımıyla milin titreşim bilgisini verir [7, 9]. Deplasman birimiyle ölçüm alır.

3.8 Titreşim Görüntüleyen Cihazlar

Sensörler, titreşimi elektrik sinyaline çevirirler fakat bu sinyalin işlenmesi gerekir. Tek başına bu sinyal ile bir yorum yapılamaz. Bu da ham sinyali alıp işleyecek niteliklere sahip bir izleme cihazıyla yapılabilir. Gelişen teknoloji ile çeşitli tiplerde ve çeşitli amaçlara ve çalışma koşullarına uygun izleme cihazları mevcuttur. Bu cihazların çeşitlerine kısaca değinecek olunursa şu şekilde sıralanabilir; elde taşınabilen portatif cihazlar ucuz ve hızlı bir veri toplama imkanı sunar. Saha da ölçüm yapacak kişinin çok bilgili olmasına gerek duyulmaz. Çünkü bu tip cihazlar küçük ekranlarında sayısal bazı titreşim değerleri ve rulman ile ilgili hızlı bilgi verirler. Bu değerler belirli aralıkların dışında ise sorun anlık olarak görülebilir. Ancak bu tip cihazlarda yapılabilecek ölçümler sınırlıdır [6].

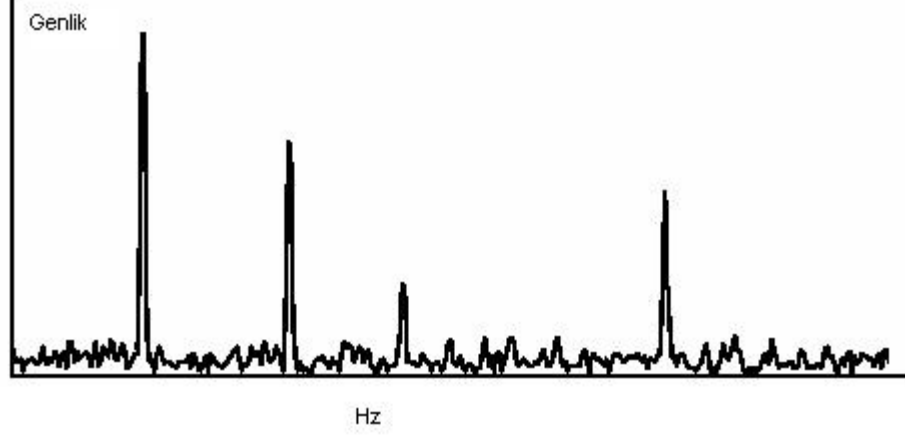
İkinci bir cihaz tipi ise yine taşınabilir ve sahada ölçüm yapılabilir cihazlardır. Ancak bu cihazların el tipi olanlarından farkı, çok daha çeşitli ölçümler yaparak mevcut olan yazılımlar neticesinde spektrum grafiklerinde analizler yapılabilmesidir. Geçmişte yapılan ölçümlerin de tutulması ile değerlendirme ve karşılaştırmalar yapılarak makinelerde meydana gelen arızaların sebepleriyle beraber tespiti yapılır.

Son yıllarda oldukça sık uygulamalarına rastlanan bir diğer tip cihaz ise sürekli ölçüm yapan ve aldığı bilgileri anlık olarak bir bilgisayara göndererek veri toplayan cihazlardır. Bu tip cihazlar çok kritik makinelerin takibinde ve ölçüm yapılmasının zor ve tehlikeli olabileceği noktalarda titreşim ölçümlerinin takip edilmesi amacıyla kullanılır. Anlık değişimleri görebildiğimiz için yolunda gitmeyen ve farklı bir titreşim genliği meydana geldiğinde arızayı yakalamak mümkündür. Hatta artık yeni çıkan sistemlerde internet üzerinden bile tesiste olunmadığı zamanlarda dahi kontrol ve izleme yapılabilir.

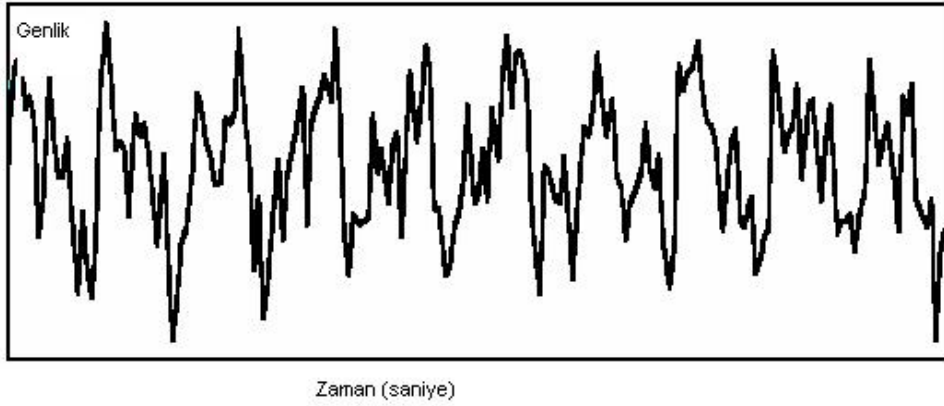
3.9 Frekans Tanım Teknikleri

3.9.1 Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT)

Bir titreşim deplasman, hız ve ivme genlikleri ile hem zaman hem de frekans alanında temsil edilebilir [13].



Şekil 3.8 Genlik – Frekans Grafiği



Şekil 3.9 Genlik – Zaman Grafiği

Zaman alanı zamanla değişen genlikte oluşmaktadır. Bu genellikle sızma veya tüm değerlerin okunması olarak ele alınır.

Frekans alanı genlik değerinin sinüs ve kosinüs dalga serileri ile gösterildiği alandır. Bu dalgaların frekansla değişen bir büyüklüğü ve fazı bulunmaktadır.

Ölçülen titreşimler her zaman analog biçimdedir (zaman alanında) ve frekans alanına dönüştürülmesi gerekmektedir. Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) bunun için kullanılmaktadır. Bu yüzden FFT örneklenmiş bir sinyal üzerindeki hesaplamadır.

Verilen anlarda bir dalga genliğinin kayıt edilmesine örnekleme denmektedir ve ardından kayıt yapılan noktalar ile bir eğri oluşturulmaktadır.

Tranduserler tarafından toplanan titreşim dalgaları analog sinyallerdir. Analog sinyaller daha sonra yapılacak işlem için dijital değerlere döndürülmek zorundadır. Bir analog sinyalin dijital sinyale dönüştürülmesi Analog-Dijital (A/D) Dönüştürücü ile yapılmaktadır.

Sinyal bir A/D dönüştürücü kullanılarak dijitalleştirildikten sonra süreçteki bir sonraki adım Pencereleme (windowing) olarak adlandırılmaktadır. Sinyalin kaçak etkilerini en aza indirmek için veriye bir pencere uygulanmak zorundadır.

Pencereler verideki süresizlikleri örnekleme periyodunun başında ve sonunda sıfıra indirerek doldurduğu düşünülebilir. Dolayısıyla örneklenmiş periyot sürekli olarak gözükür.

Günümüzde kullanılan titreşim analizörlerindeki FFT algoritması gerçek ve sanal dizilerden oluşan karmaşık frekans spektrumunu verebilmektedir [13].

3.9.2 Zaman Dalga Formu

Bir zaman dalga formu analizi zaman alanı sinyalidir. Titreşim terimlerinde bu zamana göre deplasman, hız veya ivme grafiğidir.

Zaman dalga formları ham titreşimin kısa bir zaman aralığını göstermektedir. FFT gibi uygun olmadığı düşünüldüğünden özel uygulamalarda kullanılmaktadır ve bir makine frekans spektrumunda görülemeyen koşulu hakkında bilgi verebilmektedir. Zaman dalga formunun analizi yeni bir teknik değildir. Titreşim analizinin yapıldığı ilk zamanlarda zaman dalga formları osiloskoplar ile görülmekteydi ve frekans bileşenleri elle hesaplanmaktaydı.

Zaman dalga formu verisi en yaygın olarak bir makinenin dalga formu yapısının benzer arızaya sahip diğer makineden alınan dalga formu ile karşılaştırılması için kullanılmaktadır.

Eğer gerekli ise dalga formu yapısındaki önemli olayların frekans bileşenleri hesaplanabilir [6].

3.9.2.1 Zaman Dalga Formunun Frekanslara Ayrıştırılması (Spektrum)

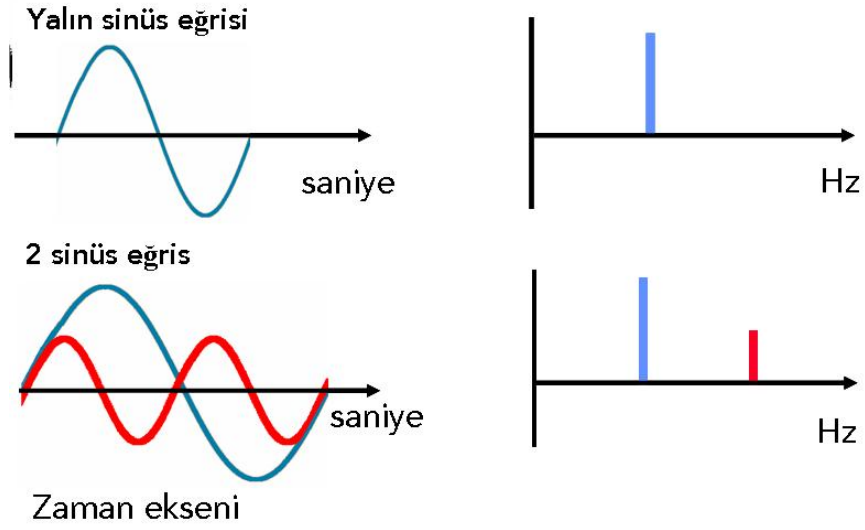
Titreşimin zaman formu grafiğinde sürekli devam eden bir titreşimin belirli bir zaman dilimindeki bölümü görüntülenir. Bu gerçek hareketin zaman eksenindeki eğrisi çizilebilir. Tepe, tepeden tepeye ve RMS genlik değerleri görüntülenebilir..

Şekil 3.10' daki sinüs dalgaları aslında yüzlerce değişik genlikteki sinüs dalgalarının bir bütünüdür. İstenirse bu dalgalar tek tek ayrıştırılabilir. Her bir sinüs dalgasının frekansı farklı olduğundan bu değişik genlikteki sinüs dalgaları frekans ekseninde görüntülenebilir. Böylece her bir sinüs dalgasının genliği ve frekansı bilinebilir. Bu görüntüye spektrum görüntüsü adı verilir. Ayrıca Spektrum, herhangi bir titreşimin bütün sinüs dalgalarını aynı anda görüntüleyen grafik olarak da tanımlanabilir.

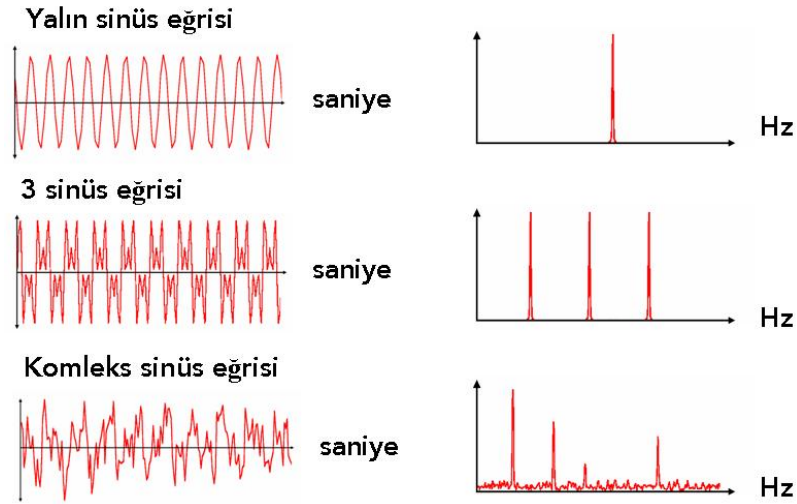


Şekil 3.10 Dalga formu kaydı

Hızlı fourier dönüşümü ile karışık sinyaller yalın sinüs dalgaları haline getirilir. Bu durum şekil 3.11 ve şekil 3.12'de daha iyi açıklanır.



Şekil 3.11 Sinüs eğrisinin frekansları [15]



Şekil 3.12 Sinüs eğrisinin frekansları [15]

Şekil 3.11'de üstteki grafikte yalın bir sinüs eğrisinde gözüken tek bir dalga hareketinin periyodu saniye olarak ifade edilmiştir. Frekans ekseninde aynı genlikte tek bir sinyal görüntülenmektedir. Altteki grafikte ise birinci sinüs eğrisiyle yarı genlikte fakat iki katı periyotta ikinci bir sinüs eğrisi mevcuttur. Frekans ekseninde bu iki sinüs eğrisini ifade eden farklı genliklerde iki sinyal görülür. Dikkat edilirse periyodu fazla olan dalganın oluştuğu yer daha büyük frekanslarda olmaktadır. Bu da bize farklı arızalar hakkında yorumlar yapabilmeyi sağlar.

Şekil 3.12’de ise daha kompleks dalgalar ve periyodu yüksek dalgalar gösterilmiştir. Komplekslik arttıkça spektrum grafiğindeki sinyal sayısı artacaktır. Çünkü çoğu elemanın titreşim enerjisi çok azdır ve sinyal genlikleri de düşüktür.

3.10 Titreşim Analizi ile Yakalanabilecek Arızalar

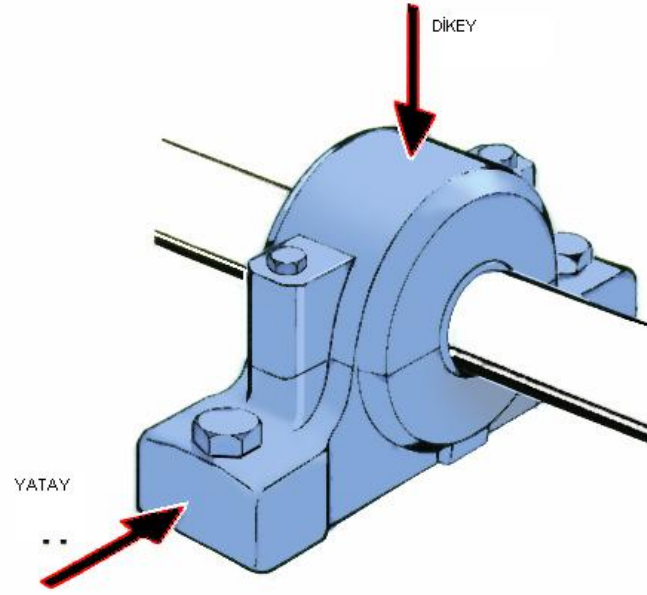
Daha önce de bahsedildiği gibi, titreşim ölçümleri yapılarak ve bunların spektrum grafikleri incelenerek ölçüm yapılan makinede var olan sorunlar hakkında kararlar alınır. Bu arızalar şu şekilde sıralanabilir; balanssızlık, eksenal ayarsızlık, mekanik gevşeklik, rulman arızaları, yatak aşınma arızaları, yağlama problemleri, şase zayıflıkları, akış problemleri, kayış-kasnak problemleri, dişli hasarları ve kaplin hasarları gibi pek çok arıza önceden yakalanıp müdahale edilebilir.

Titreşim ölçümlerinin yataklar üzerinden hangi yönlerden alındığının önemi büyüktür. Çünkü bazı arızalar, bazı yönlerden alınan ölçümlerden daha kolay yakalanabilir.

3.10.1 Ölçüm Yönleri

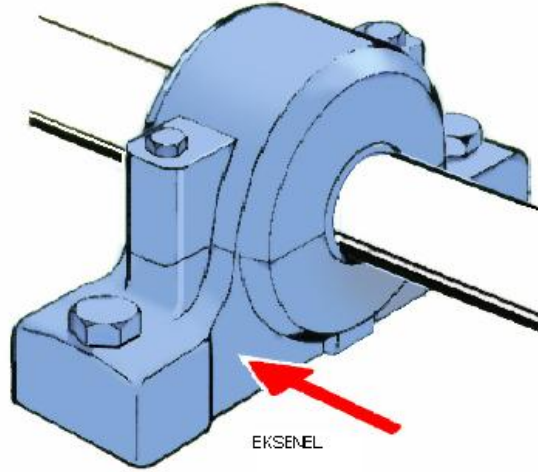
Makinenin gövdesi üzerinden ve yataklara en yakın olan yerden titreşim ölçümleri radyal ve eksenal yönlerden alınmalıdır. Titreşim ölçümü yaptığımız sensörü ölçüm yaptığımız yatağa, dönen mile dik olacak şekilde dikey ve yatay tutarak ölçümler alınır. Ayrıca eğer makinede bir kaplin bağlantısı, kayış kasnak bağlantısı gibi durumlar mevcutsa, o yataktan bir de dönen mile paralel olacak şekilde ölçüm alınmalıdır. Bu ölçümlerde yatay yönde mile dik eksende yapmış olduğumuz ölçümde balanssızlık problemini yakalamamız kolaylaşır. Balanssızlık temel bir problemdir ve makinelerde görülen yaygın bir titreşimdir [16].

Dikey yönde alınan ölçümlerde ise makinede var olan mekanik gevşeklik problemini daha kolay yakalayabiliriz.



Şekil 3.13 Yataktan Alınan Radyal Ölçümler [15]

Eksenel yönden alınacak ölçümde ise eksenel ayarsızlık problemlerini daha rahat bir şekilde yakalayabiliriz.



Şekil 3.14 Yataktan Eksenel Yönde Alınan Ölçüm [15]

3.10.2 Balanssızlık

Balans bozukluğu, dönmekte olan bir kütle için ağırlık merkezinin dönme ekseninden kaçık olmasından kaynaklanır. Pratikte dönen hiçbir nesnenin balanssızlığını ortadan kaldırmak mümkün değildir [17]. Bu sebepten dolayı tüm dönen makinelerde balanssızlık mevcuttur. Ancak burada önemli olan balanssızlık şiddetidir. Dengesizlik ne kadar büyükse söz konusu makine için arızalanma riski de artar.

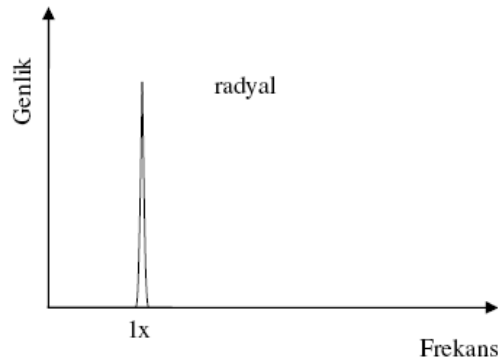
İki tip balans bozukluğu mevcuttur.

3.10.2.1 Tek Düzlem Dengesizliği

Bu dengesizliğin sebep olduğu titreşimler, spektrum grafiğinde baskın olarak 1X titreşim frekansında yani dönme devri frekansında oluşur. Sadece bir noktada dengesizlik mevcut olduğu için rotorun her dönüşünde yalnızca bir işaret oluşur.

Dönme frekansı açılırsa örneğin 3000 d/d ile dönen bir pompa çarkının dönme devri frekansı yani saniyedeki tekrar sayısı $3000/60=50$ Hz hesabı ile bulunur. Bu 50 Hz frekansı 1X frekansıdır ve dönme devri frekansı olarak adlandırılır. Bu frekansın katlarına 2X, 3X diye isim verilir.

Şekil 3.15'te spektrum grafiğinde oluşacak örnek tek düzlem balanssızlığı piki görülür.



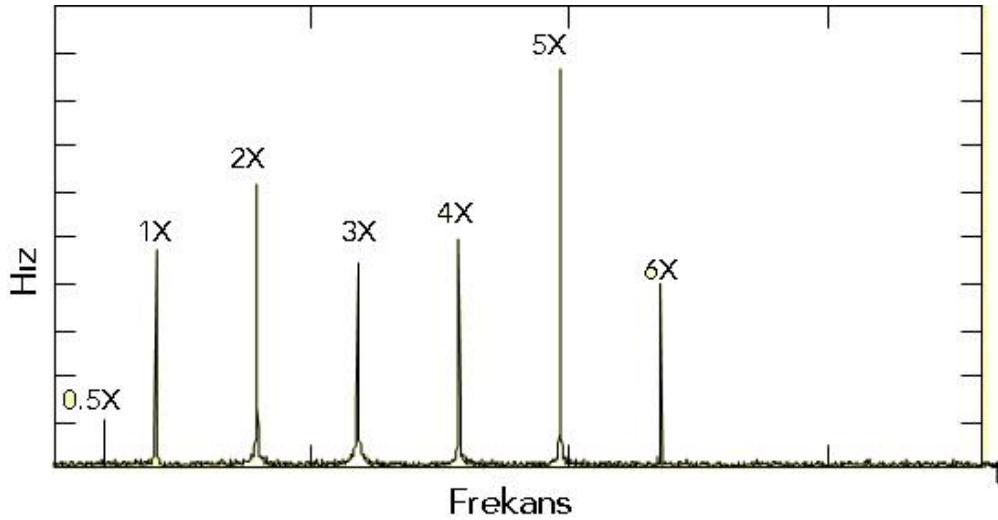
Şekil 3.15 Spektrum Grafiğindeki Balanssızlık Piki

3.10.2.2 Çok Düzlem Dengesizliği

Çok düzlem dengesizliği mil dönme hızının çoklu katlarında titreşim frekansları oluşturur. Katların gerçek sayısı dengesiz noktaların sayısına, dengesizliğin şiddetine bağlıdır [16]. Örnek verilirse; üç noktadan dengesiz olan bir makineden yapılacak titreşim ölçümünden sonra spektrum grafiğinde mil dönme devrinin 1X, 2X, 3X katlarında titreşim frekansları oluşacaktır. 1X piki daima diğerlerinde baskındır.

3.10.3 Mekanik Gevşeklik

Çalışan makine parçaları, örneğin ayak civataları 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.



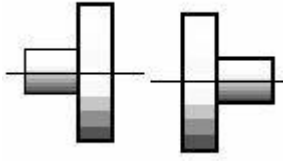
Şekil 3.16 Mekanik Gevşeklik Spektrum Grafiği

3.10.4 Eksenel Ayarsızlık

Eksenel kaçıklık döndüren ve döndürülen makinenin aynı ekseninde olmaması durumudur [16]. Kaplin bağlantılarının olduğu makinelerde, Kayışlar arasında ve ara bağlayıcılar arasında meydana gelebilmektedir. Açısal ve paralel olmak üzere iki eksen ayarsızlığı karşımıza çıkar.

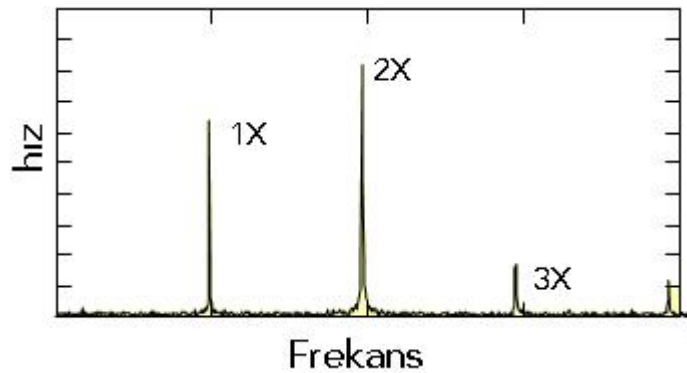
3.10.4.1 Paralel Eksen Kaçıklığı

Eğer bir makinenin kaplininde bir paralel kaçıklık mevcutsa spektrum grafiğinde mil dönme devri 1X ve 2X katında frekanslar oluşur. Belirleyici olansa normalde baskın olması gereken 1X frekansının, 2X frekansından daha düşük olmasıdır ve kendini radyal ölçümlerde daha çok belli eder.



Şekil 3.17 Paralel Kaçıklık [15]

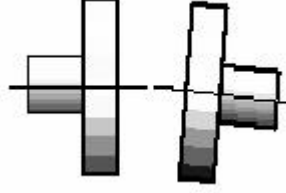
Şekil 3.18' deki gibi bir spektrum grafiği mevcutsa paralel eksenel kaçıklıktan bahsedilebilir.



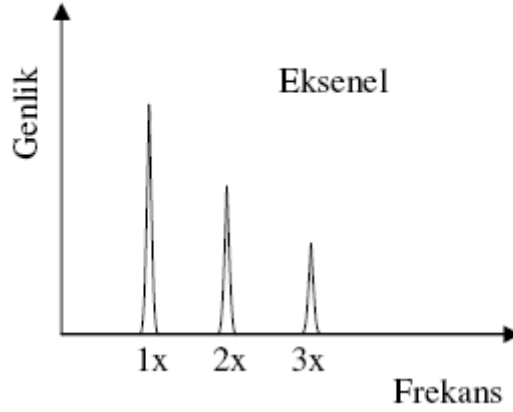
Şekil 3.18 Paralel Eksenel Kaçıklık Spektrum Grafiği

3.10.4.2 Açısal Eksnel Ayarsızlık

Paralel eksen kaçıklığından farklı olarak, eksnel yönde alınan ölçümlerde daha kuvvetli titreşimler elde edilir. Aynı zamanda dönme devri frekansı ve $2X$ frekansında baskın frekanslar oluşur.



Şekil 3.19 Açısal Kaçıklık [15]



Şekil 3.20 Açısal Eksen Kaçıklığının Spektrum Grafiği

3.10.5 Rulman Arızaları

Titreşim ölçümleriyle dönen makinelerde hayati önem taşıyan rulman arızalarını tespit edip, arıza meydana gelmeden önce değişimi planlayabiliriz.

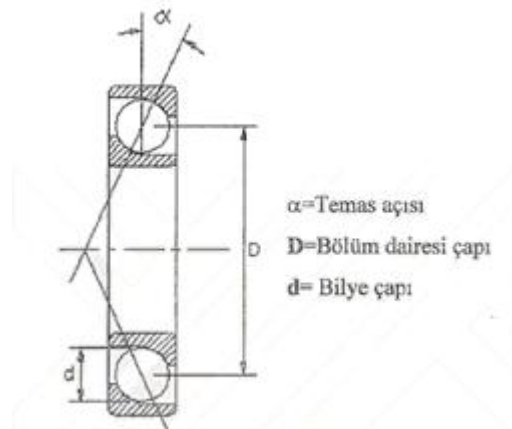
Rulmanlarda oluşabilecek hasarlar şiddetli titreşime neden olurlar. Rulmanlar titreşim ölçümleriyle izlendiği takdirde rulmanı oluşturan elemanların, yani kafes, yuvarlanma elemanı, bilezikler gibi, yüzeylerinin durumu hakkında yorum

yapılabilir[8]. Hasarları oluşturan sebepler arasında üretim ve montaj bozuklukları olabileceği gibi, temas yüzeylerinin aşınması, yuvarlanma elemanlarındaki hasar, kirlilik gibi sebepler de olabilir. Rulmanlarda meydana gelen hasarlar rulmanın bir yerinde olabileceği gibi, sürekli olarak her yerine de dağılmış olabilir. İşletmemizde yaptığımız titreşim ölçümlerinde bir bölgede toplanmış hasarlar içinde iç bileziğin bir yerinde meydana gelmiş hasar, aynı şekilde dış bilezikte meydana gelmiş hasar veya yuvarlanma elemanlarının birinde oluşmuş bir hasar ile karşılaşılmıştır. Bunlar rulmanın bir bölgesinde oluşan hasarlara örnek olarak verilebilir.

Bazı durumlarda ise iç veya dış bileziğin çevresi boyunca aşırı yükten, sıcaklıktan kaynaklanan sürekli izlere de rastlanmıştır. Bu tip rulman hasarları sürekli denilen hasar tipine girmektedir.

3.10.5.1 Rulman Hasar Frekansları

Rulmanlarda hasar oluştuğunda hasarı tanımlamamıza sebep olan 4 çeşit hasar frekansı mevcuttur. Bunlar iç bilezik, dış bilezik, kafes ve yuvarlanma elemanı frekanslarıdır [8]. Şekil 3.21’ de frekans hesaplamaları için gerekli olan bazı değerler gösterilmektedir.



Şekil 3.21 Rulman Geometrisi [8]

3.10.5.1.1 Kafes Frekansı (w_c)

Rulman kafesi bileziklerin hızına bağılı olarak w_c frekansında döner. Kafesin görevi yuvarlanma elemanlarını birbirine bağlamak ve onların birbirine çarpmasını engellemektir. İyi bir yağlanma yapılsa bile genellikle yuvarlanma elemanları ile kafes arasında sürtünme olur [8]. Kafes genellikle mil hızının yarısına yakın bir hızda döner.

3.10.5.1.2 Bilye Dönme Frekansı (w_b)

Yuvarlanma elemanları bileziklerin ve aynı zamanda kendi eksenleri etrafında dönerler.

3.10.5.1.3 Dış Bilezik Bilye Geçiş Frekansı (w_{bp})

Yuvarlanma elemanlarının dış bilezik üzerinden geçerken oluşturdukları frekansa denir.

3.10.5.1.4 İç Bilezik Bilye Geçiş Frekansı (w_{bpi})

Yuvarlanma elemanlarının iç bilezik üzerinde bağılı dönme hareketleri neticesinde oluşturdukları frekanslardır [8]. İç bilezik mil ile aynı hızda döner.

Genellikle hasarların ilk görüldüğü yer rulman dış bileziğinde olur. Hasar artmaya başladıkça dış bilezik frekans genliği artar. Arızanın ilerleyen bölümleri de yuvarlanma elemanları da hasarlanır ve arıza iç bileziğe geçirilir. Böylece iç bilezik frekansları da artmaya başlar.

Rulman elemanlarında bir hasar oluşmaya başladığında, bu hasar neticesinde rulman hasar frekansları spektrum grafiğinde oluşmaya başlayacaktır. Hangi elemenda hasar oluşursa o elemene ait hasar frekansında ve harmoniklerinde frekanslar oluşarak analiz yapan kişiyi uyaracaktır.

Rulman arıza frekanslarına ait değerlerin hesaplanması için kullanılan formüller verilmiştir. Eğer rulman hakkında yeterli bilgi yoksa denklem (3.16), (3.17) ve (3.18) kullanılabilir. Temel arıza frekansları bilinirse hangi frekanslarda hangi arızalar oluşur, bilinir. Bu durumlarda sağlıklı analiz yapılabilir.

$$\omega_{bp} = \frac{n}{2} \cdot N \cdot \left[1 - \frac{d}{D} \cos(\alpha) \right] \quad (3.12)$$

$$\omega_{bpi} = \frac{n}{2} \cdot N \cdot \left[1 + \frac{d}{D} \cos(\alpha) \right] \quad (3.13)$$

$$\omega_b = \frac{N}{2} \left(\frac{D}{d} \right) \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right] \cos^2(\alpha) \quad (3.14)$$

$$\omega_c = \frac{N}{2} \left[1 - \frac{d}{D} \cos(\alpha) \right] \quad (3.15)$$

$$\omega_c \cong 0.4x \text{ (mil hızı)} \quad (3.16)$$

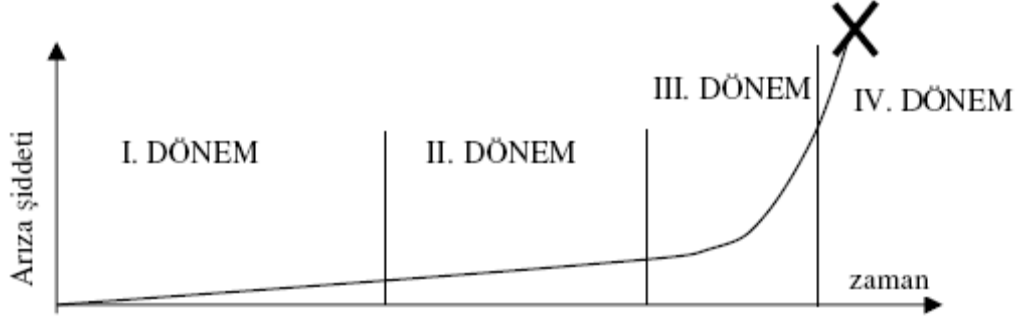
$$\omega_{bp} \cong 0.4x \text{ (mil hızı)} \cdot x N_b \quad (3.17)$$

$$\omega_{bpi} \cong 0.6x \text{ (mil hızı)} \cdot x N_b \quad (3.18)$$

(3.16), (3.17), (3.18) nolu denklemlerin çıkış noktası, iç bileziğin mil hızının %60, kafesin %40 ve dış bileziğin de %40 hızında döndüğü gerçeğidir [8]. Eğer yuvarlanma elemanı sayısı da bilinmiyorsa ortalama 10 alınabilir. Çünkü bir çok rulman, çoğunluğu 9-11 arasında olmak üzere, 7 ile 15 yuvarlanma elemanına sahiptir [8].

Bir rulmanda yuvarlanma elemanı ve bileziklerde hasar ilerlerse titreşim frekansları doğal olarak artacaktır. Harmoniklerinin de frekansları artacaktır. İç bilezikte var olan bir hasarın titreşim frekansı genliği dış bilezikteki hasara göre daha düşük olacaktır. Çünkü iç bilezikteki titreşim alıcıya ulaşana kadar yuvarlanma elemanı ve dış bilezik, ardından da yataktan geçer. Bu da titreşim genliğinin ve oluşan frekansın düşük olmasına sebep olur [8].

Bir makinede rulman arızasının gelişimini izlemek ve en doğru zamanda değişime karar vermek gereklidir.



Şekil 3.22 Rulman Arızası Gelişimi [17]

Rulman arızalarının gelişimi önce lineer ilerler sonra logaritmik olarak artmaya başlar. Müdahale yapılmazsa logaritmik olarak artmaya başladığı Şekil 3.22’de gösterilen üçüncü bölgeden sonra rulman her an arızalanabilir. Analizler neticesinde hasar başlangıcı tespit edilen rulmanın değişimine karar vermek için üçüncü dönemin ikinci yarısı beklenmelidir [17]. Bu dönemde değişim yapılırsa rulman iyi planlanarak değiştirilmiş olur ve arıza çıkmadan sorun giderilir. Bu noktadan sonra devam edecek her çalışma büyük risk demektir.

Rulman hasar oluşumunun spektrum grafiğindeki davranışları dönemlere göre şu şekilde açıklanabilir [8]:

1.dönemde hasarlı rulmanın ilk belirtisi olarak rulman hasar frekanslarının daha yüksek frekanstaki çarpanları spektrum grafiğinde gözükür. Bu frekansların önce görünmesinin nedeni, yuvarlanma elemanlarının hasarlı bölgeye çarpması ile rulman yüksek frekansları uyuracak ve böylece yüksek geniş bant titreşim oluşacaktır. Esas hasar bu aşamada görülmez.

2.dönemde spektrum grafiğinde çok fazla titreşim hasar frekansı harmoniği oluşur. Devam eden bozulma genellikle mil dönme hızı ile hasar frekansının modülasyonu ile ifade edilir. Bu aşamada hasar frekansı harmoniklerine göre yan bantları genliği

çok önemlidir. Yan bant genliği hasar frekansı genliğini geçerse hasarın önemli olduğu anlaşılmalıdır.

3.dönemde artık titreşim hasar frekansı harmonikleri ve yan bant frekanslarına ek olarak hasar frekansı da görüntülenmeye başlar.

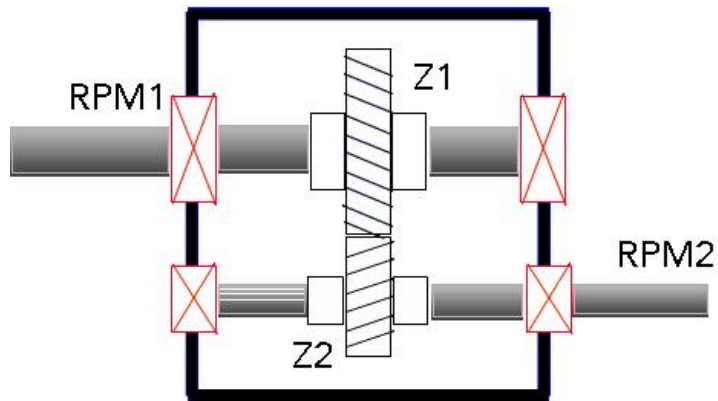
4. dönemde değişim hala gerçekleştirilmemişse rulman bozulmaya devam ettiği için rulman elemanlarının bozulmalarını hızlandıran iç boşluklar artmaya devam eder. Bu durum rulmanda geniş bant görüntüsünü arttıran çok fazla vuruntunun oluşmasına neden olur. Değişim için bakım planı acil olarak yapılmalıdır.

3.10.6 Dişli Arızaları

Sanayide oldukça fazla kullanım alanına sahip dişli kutularındaki arızalar da titreşim analizi yöntemiyle yakalanabilir. Dişli kutuları çoklu frekans üretirler ve bunların en önemlisi dişli geçiş frekansıdır. Dişli geçiş frekansı ise dişlinin diş sayısı ve dişlinin devrinin çarpımı ile elde edilir. Karşılıklı çalışan dişlilerin dişli geçiş frekansları aynıdır.

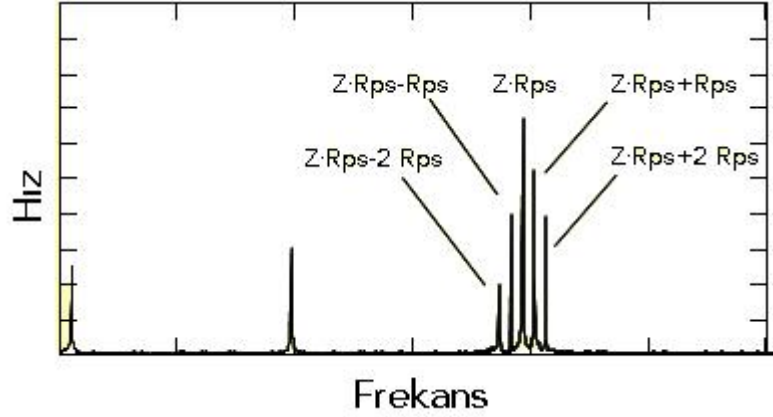
$$Z_1 \cdot RPM_1 = Z_2 \cdot RPM_2 \quad (3.19)$$

Z burada diş sayısını ifade eder.



Şekil 3.23 Basit bir dişli kutusu gösterimi

Şekil 3.23’ te gösterilen çizimde karşılıklı çalışan dişlilerin dişli geçiş frekansları birbirine eşittir. Dişli geçiş frekansı spektrum grafiğinde görünür. Eğer dişlilerde hasar mevcutsa bu frekansın yan bantları Şekil 3.24’te görüldüğü gibi oluşur ve bize dişlilerde hasar olduğunu söyler [15].



Şekil 3.24 Dişli Geçiş Frekansı ve Dişli Hasarının Spektrum Grafiğindeki Görünümü

Rps ifadesi burada mil dönme devri frekansını gösterir. Hasarlı bir dişlide mil dönme frekansından yani temel frekans kadar frekanslarda yan bant frekansları oluşur. Dişli kutusunun kademesine, belirlenecek devirler ve dişli sayılarına göre hesaplar yapılarak veya mevcut ölçüm cihazı tarafından otomatik olarak hesaplanarak dişli hasarı hakkında yorum yapılarak arıza tespiti yapılabilir.

3.10.7 Kayış Problemleri

İşletmelerde yaygın olarak kullanılan bir başka güç aktarım şekli de kayışlı aktarımdır. Titreşim analizi ile ölçümler neticesinde kayış problemleri de yakalanabilir.

Frekans önemli olduğu için kayış problemlerinin yakalanmasında kayış frekansı kullanılır. Denklem 3.20’de kayış frekansının formülü verilmiştir [6].

$$Kayış Frekansı = \frac{\pi \times (\text{kasnak devri (d/d)}) \times (\text{kasnak nominal çapı})}{\text{kayış uzunluğu}} \quad (3.20)$$

Bu formül ışığında frekans hesaplanır ve bu frekansın görüntüsü spektrum grafiğine yansır. Kayışlarda aksenal bir ayarsızlık mevcutsa, aksenal ölçümde 1X temel frekansında yüksek titreşimler oluşur.

3.10.8 Akış Problemleri

Bu çalışmada pompalarda titreşim inceleneceğinden titreşim analizi ile sorunların tespitine akış problemi de eklenmiştir. Akış sorunlarını titreşim analizi neticesinde yakalanabilir. Pompalarda görülen bir tür problemdir ve genellikle akışkan pompa boşluğunda ötelenirken oluşan hidrodinamik kuvvetlerin dengesizliğinden kaynaklanır [17]. Oluşan bu kuvvetler kendilerini kanat geçiş frekansı adını verdiğimiz frekansta gösterirler. Bu frekans pompanın rotorunun ya da çarkının kanat sayısı ile pompa mili dönme devrinin çarpımına eşittir ve bunun harmoniklerinde de gözükür [17].

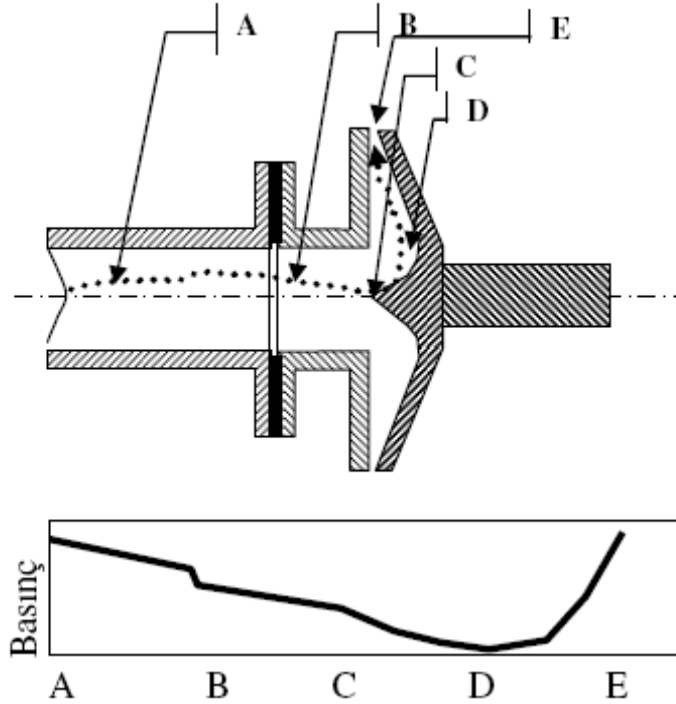
Bu tip bir problem çarkın kanat ucunun pompa boşluğunda, imalat sırasında toleransı dar tutulmuş bir bölgeden geçerken akımın sıkışması ve kanat ucunda oluşan vorteksler nedeniyle ortaya çıkar. Bu nedenle pompa milinin her turunda kanat sayısı kadar vuruş olur. Bu vuruşta kendini dönme devrinin kanat sayısı kadar katında gösterir [17].

3.10.9 Kaviteasyon

Kaviteasyon bir pompada ortaya çıkabilecek bir akış problemidir. Kaviteasyonun başlaması laminer akışın bitmesi basınç dengesinin alt üst olması demektir. Özellikle çarka giriş bölgesinde yaşanan aşırı basınç düşmesinden dolayı akışkan ortam sıcaklığında gaz haline dönüşür. Bu bölge geçildikten sonra akışkan içerisinde

oluşan gaz kabarcıkları yükselen basınçla beraber küçük fakat şiddetli iç patlamalarla sıvı hale dönüşürler. Bu patlamalar çark yüzeyine zarar verip hasara neden olabilir. Bu olay ciddi bir sorun teşkil eder. Ayrıca bu durumda pompa hem gaz hem de sıvıyı basmaya çalışacağından verim düşer [17].

Tüm bu sebeplerden dolayı kavitasyon bir akışta ve pompada istenmez ve bu problem titreşim analizi ile yakalanabilecek bir problemdir. Bahsedilen patlamalar geniş ve yüksek frekans bandında titreşim eşiği yükselmesine sebep olur. Genellikle 500 ile 2000 Hz bandında görünen seviye yükselmesi bu kadar geniş bir bantta sesler çıkaran kabarcıkların, yani kavitasyonun işaretidir [17].



Şekil 3.25 Kaviteasyonda Basınç Düşümü [17]

3.11 Titreşim Standartları

Titreşim ölçümlerinde elde edilen değerlerin kabul edilebilir olup olmadıkları uluslar arası bir standart ile kabul görür. Çalışmamızda da kullanılacak olan standart ISO

2372 nolu standarttır. 10 ile 1000 Hz arasındaki frekanslardaki hız değerleri için bize titreşim sınırları belirler. Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 ISO 2372

TİTREŞİMİN DERECESİ				RMS			
Sınıf I	Sınıf II	Sınıf III	Sınıf IV	mm/s			
A	A	A	A	0,28			
				0,45			
				0,71			
B	B	B	B	1,12			
C				1,8			
D	C	B	B	2,8			
	D	D	C	C	4,5		
			D	C	C	7,1	
				D	C	C	11,2
					D	D	18
D	D	D	D	28			
D	D	D	D	45			

Ölçümlerimizde bu standart göz önüne alınacaktır.

Bu çizelgedeki sınıf kavramları;

- Sınıf I, 15 Kw’ a kadar olan motorlarla tahrik edilen makineleri
- Sınıf II, 15 Kw ile 75 Kw arası gücü olan motorlar tarafından tahrik edilen makineleri
- Sınıf III, 75 Kw’dan yukarı ve rijit bir temel üzerine monte edilmiş büyük makineleri
- Sınıf IV, 75 Kw’dan yukarı ve yumuşak bir temel üzerine monte edilmiş büyük makineleri ifade eder.

Bu çizelgede A iyi, B kabul edilebilir, C takip altında tutulmalı, D kabul edilemez, demektir.

4. POMPALAR

Pompalar günlük yaşamda ve sanayide oldukça fazla kullanılmaktadır. Pompalar ihtiyaca ve kullanılacak yerlere göre çok çeşitli olarak üretilirler. Suyun iletiminde, soğutma ve ısıtmada, endüstride ise çok çeşitli sektörlerde pompalardan yararlanılır. Endüstride pompalar iki amaç için kullanılır. Bunlar devir daim ettirmek ve nakil etmektir [18].

Günümüzde en çok kullanılan pompa tipleri santrifüj pompa tipleridir. Bu çalışmada da santrifüj kızgın yağ pompaları incelenecektir.

4.1 Santrifüj Pompalar

Santrifüj pompalar içinde, sıvının daha düşük bir seviyeden yüksek seviyeye kaldırılmasına olanak veren bir dinamik basınç geliştiren pompalar roto dinamik tip pompalar olarak sınıflandırılırlar [19].

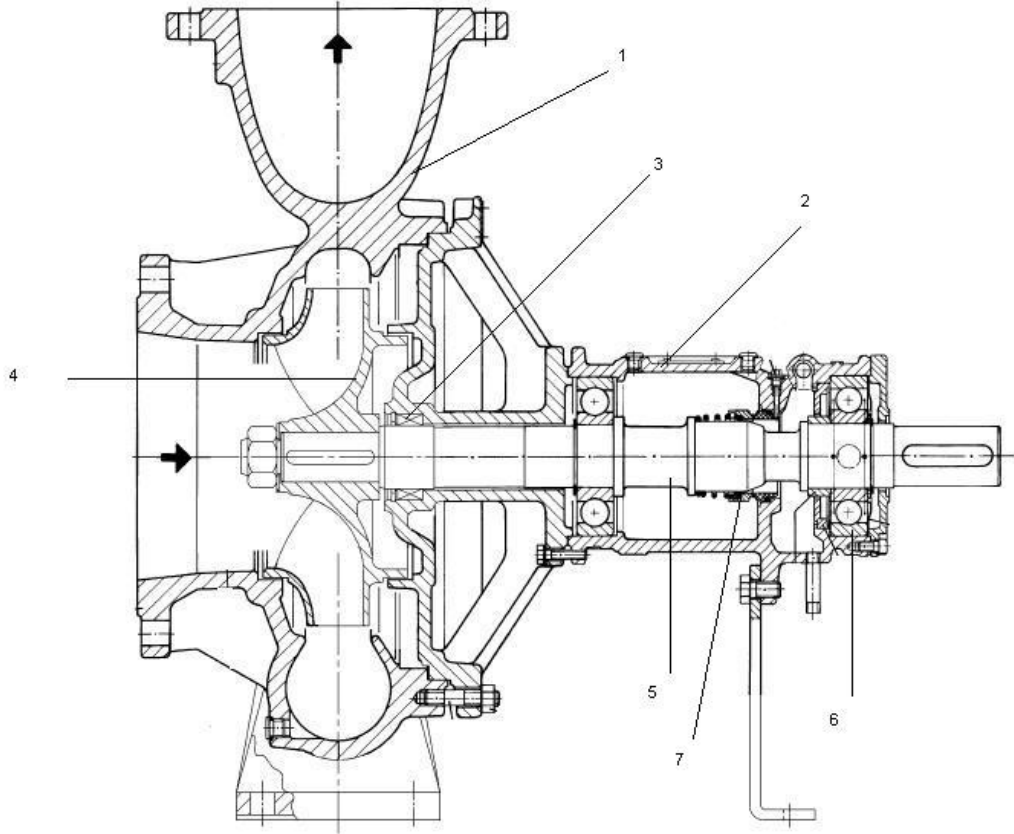
Santrifüj pompalar, dönen bir çark ve pompa gövdesi olarak iki ana bölümden oluşur. Gövde de emme ve basma tarafları bulunur. Bu tip pompalarda sıvıya verilen enerji, üzerinde çarklar bulunan ve bir eksen etrafında dönen bir çark tarafından sağlanır. Çarkın sıvıya devrettiği kinetik enerji, sıvı çarktan ayrıldıktan sonra yayıcı ve salyangoz içerisinde basınç enerjisiye dönüştürülür. Santrifüj pompalar sıvıyı bir seviyeden diğer seviyeye sürekli bir şekilde basar. Bir mile bağlı olan çarkın devir sayısına göre sıvının basıncı sınırlı bir şekilde arttırılır.

Santrifüj pompanın çarkı sıvıyı belirli bir yüksekliğe kadar basar. Sıvıyı daha yüksek seviyelere basmak istendiği takdirde çarklar aynı gövde içerisinde seri olarak bağlanır. Bir pompanın bastığı sıvı yeterli değilse pompalar paralel bağlanır [19].

Santrifüj pompalar pek çok işletmede kullanılmaktadır. Kullanım yerine göre tek, ikili ve daha çoklu pompalar seçilebilir. Tesisimizde inceleyeceğimiz santrifüj pompalar kızgın yağ transferinde kullanılmaktadır.

4.2 Santrifüj Pompa Elemanları

Santrifüj pompanın kesit görünüşü Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1 Santrifüj Pompanın Kesit Görünüşü

Bu görünüşte verilen numaraların hangi elemanlara ait olduğu ise çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Santrifüj Pompa Elemanları

Numara	Parça
1	Salyangoz
2	Pompa Gövdesi
3	Yumuşak Salmastra
4	Çark
5	Mil
6	Rulman
7	Mekanik Salmastra

4.2.1 Salyangoz

Çarkın basmış olduğu sıvının akış doğrultusunda değişmesine girdap ve türbülansların sebep olduğu kayıpları azaltmak için pompanın gövdesi salyangoz şeklinde yapılmıştır. Salyangoz pompanın ana yapısını oluşturur. Genelde dökme demirden imal edilirler [18]. Pompanın durumuna göre tek parçadan, iki parçadan veya çoklu parçalardan meydana gelebilmektedirler. Çok kademeli pompalarda salyangoz sayısı, çark sayısından bir fazla olmak durumundadır.

4.2.2 Çark

Pompa motorunun vermiş olduğu dönüş hareketini alarak, yani mekanik enerjiyi alarak, hidrolik enerjiye çeviren üzerinde çeşitli formlarda kanatçıklar bulunan elemandır [18]. Çarklar pompanın basmış olduğu sıvının cinsine göre dökme demirden veya bronzdan yapılabilir. Pompalarda çark sayısı birden fazla olabilir. Bu, pompalarda kademe sayısını belirtir. Çarklarda kanat sayısının artması ile sirkülasyon azalır. Yani pompa debisi azalır. Pompanın kanat verimi artarak basıncı yükselir. Ayrıca kanatçıklardaki sürtünme kayıpları da artar. Pompa kanatçıklarında aşınmalar meydana gelmesi durumunda pompanın sıvı basma kapasitesi düşer. Pompa basıncı azalır. Bu gibi durumlarda çark değiştirilir.

4.2.3 Mil

Pompayı tahrik eden elemandır. Elektrik motorundan dönüş hareketi alan mil, bu hareketi çarka aktarır. Pompa mili yatakla tarafından hassas olarak yataklanmalıdır. Yataklama işlemi hassas yapılmadığı takdirde mil üzerinde bulunan çark, salyangoz veya aşınma ve yıpranma halkalarına çarparak sistemin kısa zamanda hasar görmesine neden olabilir.

Mil iki türlü tahrik edilebilir. Birincisi elektrik motoru vasıtasıyla kaplinler aracılığıyla ya da ikincisi ise direk hareketini elektrik motorunun kendisinden alabilir.

4.2.4 Yumuşak Salmastra

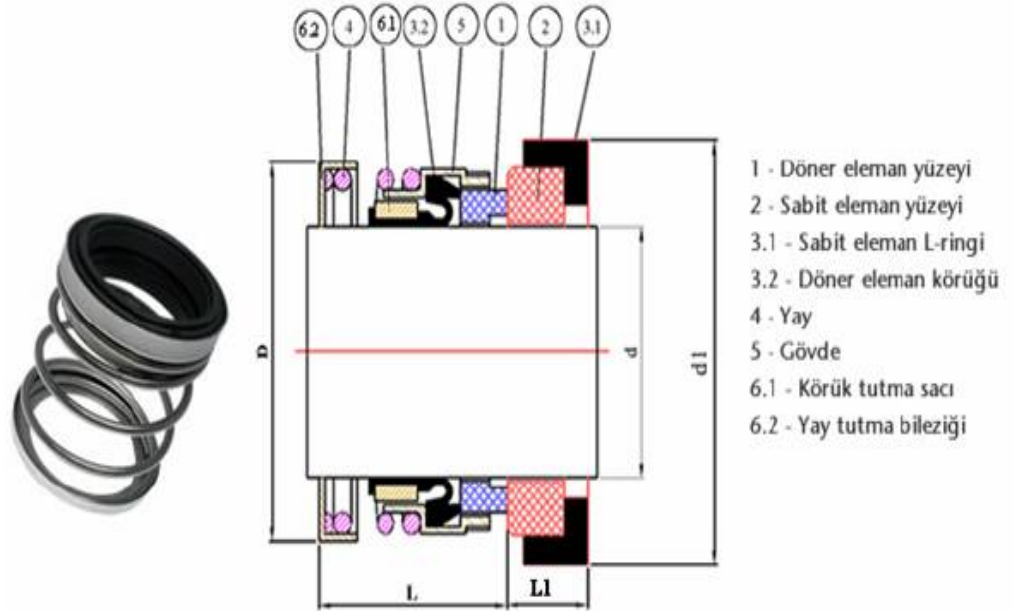
Yumuşak salmastralar örgü yapısı ana malzemesi ve emprenye maddeleri açısından incelenir. Malzemenin örgü yapısı çalışma sınırlarını, çalışma güvenilirliğini ve kullanım süresini etkiler. Yumuşak salmastraların ana malzemeleri doğal lifler, mineral lifler, yapay liflerden oluşur [18].

Çizelge 4.2 Salmastra Tipleri [18]

YUMUŞAK SALMASTRA TİPİ	MALZEMELER			ÇALIŞMA ŞARTLARI					
	İPLİK	KATKI	YAĞ	Dayanım Sıcaklığı (°C)	Ph	Tavsiye edilen en fazla çevresel hız V[m/sn]	Dayanım Basıncı [bar]		
							Pompalarda	Pistonlarda	Vanalarda
AMYANT ESASLILAR									
Teflonlu amyant	Y	T	-	200	4_12	10	25	50	100
Yağlı teflonlu amyant	Y	T	+	200	4_12	14	30	50	100
Grafitli teflonlu amyant	Y	T,G	+	200	4_12	16	30	50	100
Grafitli amyant			-	600	2_14	10	30	100	500
PTFE(Teflon) ESASLILAR									
Saf PTFE	T	-	-	270	0_14	2	7	20	40
Sinterlenmiş saf teflon	T	-	-	270	0_14	5	20	150	250
Saf PTFE-Slikon yağlı	T	-		270	0_14	8	15	100	150
Grafitli PTFE	T	G	-	270	1_13	10	15	100	150
Sinterlenmiş grafitli teflon	T	G	-	270	1_13	10	20	150	250
GRAFİT ESASLILAR									
Saf grafit	G	-	-	500	0_14	20	20	100	300
Tel takviyeli grafit	G	-	-	500	0_14	20	20	100	300
ARAMİD(KEVLER) ESASLILAR									
Saf aramid	A	T	-	280	3_12	15	50	100	100
Köşe aramid,saf PTFE	A,T	-	-	280	3_12	10	150	300	500
Aramid,saf PTFE zigzag örgü	A,T	-	-	280	3_12	10	170	350	550
Köşe aramid,grafitli PTFE	A,T	G	-	280	3_12	25	70	250	350
Aramid grafitli PTFE zigzag örgülü	A,T	G	-	280	3_12	25	100	300	400
CAM ELYAF ESASLILAR									
Cam elyaf	C	-	-	550	5_9	2	5	20	50
Nikel tel takviyeli cam elyaf	C	-	-	550	5_9	2	8	25	60
Nikel tel kafesli cam elyaf	C	-	-	550	5_9	-	-	-	-
Grafitli cam elyaf	C	G	-	700	5_9	4	3	10	25
LİF ESASLILAR									
Karbon fiber salmastra	K	T	-	280	2_12	25	20	100	200
Remie salmastra	R	T	-	140	4_11	12	25	100	100
Poliamid fiber salmastra	P	T	-	315	1_13	20	25	100	200
Seramik salmastra	S	-	-	650	0_14	5	5	15	30

4.2.5 Mekanik Salmastra

Mekanik salmastralar dinamik ekipmanlarda mil veya mil burcu boğazındaki akışkan sızıntılarının engellenmesi için sızdırmazlık elemanıdır. Ayrıca yabancı akışkan ve parçacıkların ortama girmesini ve yataklara sızarak yağ kaybını önler. Mekanik salmastralar sıvı damlatmadan çalışırlar ve bu nedenle enerji kaybı yaratmazlar [18]. Mekanik salmastralar az sızdırmazlık, uzun ömür, ekonomik minimum yüzey gereksinimleri, düşük güç gereksinimi, az ısı üretimi sebebiyle tercih edilmektedir. Akışkanın cinsine, sıcaklığına, basıncına ve pompa milinin dönüş yönüne bağlı olarak değişik tipte mekanik salmastralar dizayn edilebilir.



Şekil 4.2 Mekanik Salmastra [18]

Pompalar sanayide çok kullanıldıklarından ve işletmeler için çok kritik bölgelerde kritik görevler üstlendiklerinden kestirimci bakım yöntemlerinin uygulanması gerekli ekipmanlardır. Özellikle titreşim ölçümleri periyodik olarak yapılarak, titreşim analizleri yorumlandığında çok önemli arızalar zamanında hatta zamanından önce yakalanıp, önceden tedbirler alınabilir. Bu sayede gereksiz ve beklenmedik duruşların önüne geçilerek, zaman ve maliyet kayıpları engellenir.

Uygulama çalışmasında işletmemizde mevcut bulunan kızgın yağ pompalarından kritiklik sırasına göre en kritik olanlarına titreşim analizi uygulanarak çeşitli veriler elde edilmiş ve bu veriler değerlendirilmiştir.

5. MATERYAL METOT

Uygulama çalışması Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş' nin Balıkesir fabrikasında yapılmıştır. Fabrikanın kazan bölümünde bulunan 3 adet kızgın yağ pompası üzerinden belirli periyotlarla ölçümler alınmıştır. Fabrika genelinde bulunan 37 adet kızgın yağ pompası arasından ABC analizi yapılarak kazan bölgesindeki bu pompalar kritik makine olarak seçilmiştir.

Makineden alınan titreşim ölçümlerinin spektrum analizleri yapılmış ve bunun sonucunda ölçüm periyodu arasında çeşitli değişimler elde edilmiştir. Elde edilen bu değişimler, mevcut tesisat durumu da göz önüne alınarak değerlendirilmiş ve kızgın yağ pompalarında ortaya çıkan arıza durumları, sıraları ve değerlerin değişimleri incelenmiştir.

5.1 Titreşim Ölçümünde Kullanılan Cihaz

Uygulama çalışması için yapılan ölçümlerde SPM firmasının bir ürünü olan Leonova Infinity kullanılmıştır. Leonova Infinity şekil 5.1' de gösterildiği gibi ufak boyutlu, rahatlıkla el ile taşıma yapılabilen tasarım olarak son derece ergonomik bir cihazdır.



Şekil 5.1 Leonova Infinity Cihazının Görüntüsü

Cihaz, sahip olduğu modüler yapı sayesinde pek çok ölçümü yapabilmektedir. Satın alınma esnasında mevcut ihtiyaçlara göre seçenekler belirlenip, buna göre alım yapıldığı için avantajlı bir durum mevcuttur. Sonradan ortaya çıkacak ihtiyaçlar olduğunda da sıkıntı yaşanmadan veya bir başka cihaza ihtiyaç duyulmadan, talep karşılanabilir.

Titreşim ölçümü ve bunun yanında rulmanlardaki durumu daha kolay analiz edebileceğimiz SPM (Shock Pulse Measurement) ölçümleri de bu cihazla yapılmıştır.

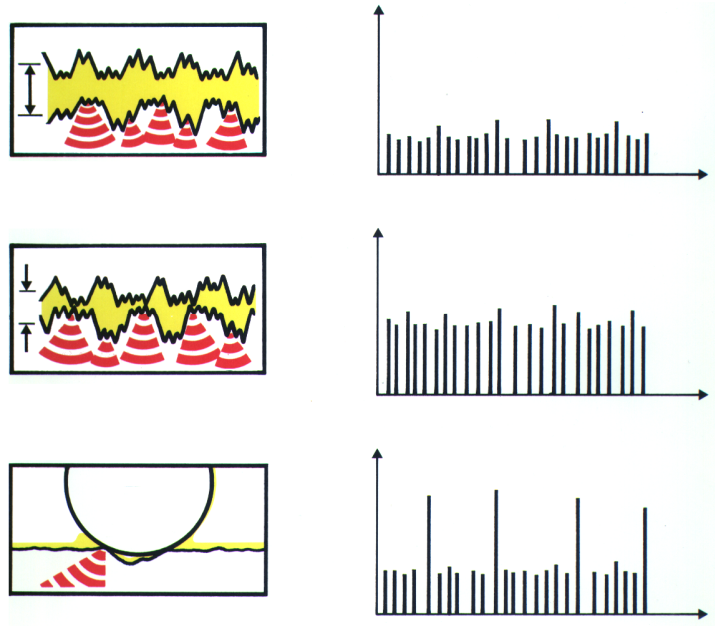
5.1.1 SPM (Shock Pulse Measurement)

Leonova cihazının önemli bir özelliği olan şok sinyal metodu ölçümleri, titreşim ölçümleri yanında rulmanın durumu hakkında yorum yapabilmemizi kolaylaştıran bir özelliktir.

Adından da anlaşılacağı gibi şok sinyal metodu, titreşimleri değil rulmanlarda yuvarlanma elemanlarının dönüşü esnasında oluşturdukları şok sinyallerini algılayıp ölçer. Titreşim ölçümü esnasında ortaya çıkan şok sinyalleri ayırt etmek zor olacağından ayrı bir sensör ve ölçüm devresi yardımıyla yuvarlanma elemanları tarafından üretilen şok sinyalleri direk olarak ölçülür.

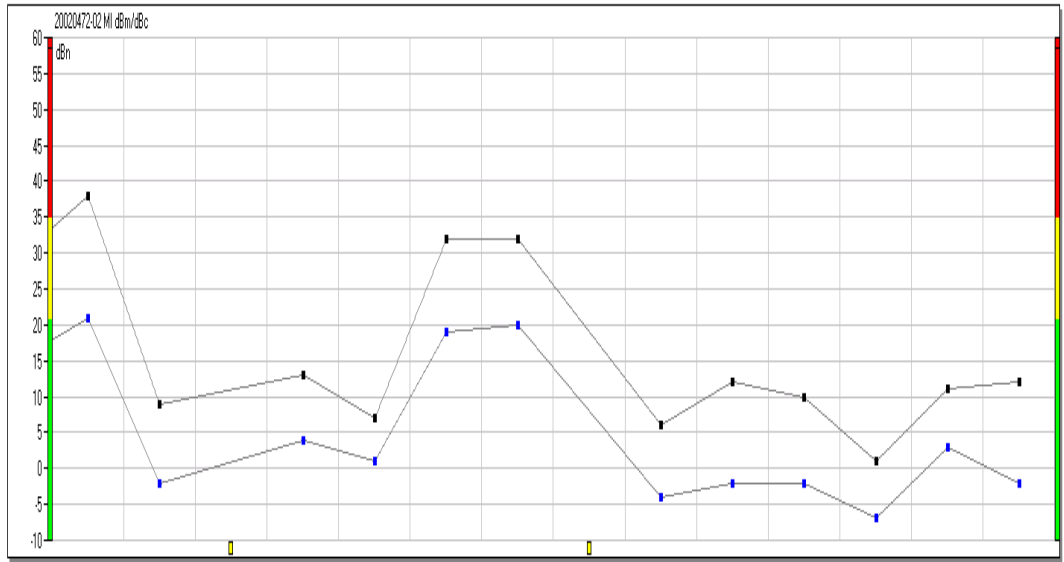
Şok sinyalleri kesintili basınç dalgaları olup, dönen rulmanların çalışma ömrü boyunca hep vardır. Bu şokların gücü ve yapısı direk olarak bileye ve bilezikleri arasındaki yağ filmi kalınlığı ve rulman yüzeylerinin mekanik durumuyla ilgilidir.

Tipik olarak yağ filmi kalınlığı 0 ile 0,76 μm arasında değişir. Yağ filminin kontak alanı film kalınlığına oranla çok daha büyüktür. Meydana gelen ani basınç değişimleri sonucunda alınan ölçümler sensör ve ölçüm devresiyle Şekil 5.2' deki gibi şok sinyal grafiklerine dönüştürülür. Hasarsız bir rulmandaki şok sinyalleri temas bölgesindeki basınç dağılımını ifade eder.



Şekil 5.2 Basınç Değişimlerinin Şok Sinyal Grafikleri Örneği [15]

Yağ filmi kalın ise genel seviye düşük olur ve güçlü ayırık tepeler içermez. Yağ filmi incelmeye başladığında genel sinyal seviyesi artış gösterir fakat yine de ayırık hasar tepeleri oluşmaz. Hasar başladığında güçlü ve ayırık tepeler görülmeye başlar.



Şekil 5.3 Şok Ölçümü Yapılmış Bir Ekipmanın Şok Sinyal Grafiği (dBm / dBc)

Şok sinyali değişik büyüklüklerde bir grup elektriksel sinyali içerir. Şekil 5.3' te görülen grafik şok sinyal grafiğidir. Bu grafikte iki değer görülür. Ölçüm sonucunda birimi desibel olan iki parametre elde edilir.

- dBm (Maksimum desibel değeri): Sinyal içindeki en yüksek şok değeridir.
- dBc (Halı desibel değeri): Gürültü tabanını oluşturan çok sayıdaki zayıf sinyallerin değeri.

Bu değerlerin ölçüm birimi dBn' dir. Yani normalize edilmiş şok desibel değeridir. dBn değeri rulman çapı ve devri girilmesiyle otomatik olarak ayarlandığından ölçümün sonucu direk olarak rulman durumunu ifade eder. Bu değerlendirmeyi yaparken üç bölgeye göre karar veririz.

- 0 – 20 arası grafikteki yeşil bölge, rulman durumu iyidir.
- 21 – 34 arası grafikte sarı bölge, rulman durumu uyarıdadır.
- 35 ve yukarısı grafikte kırmızı bölge, rulman kötü durumdadır.

Bu basit bir yorumdur. Makinenin durumuna ve dBm/dBc arasındaki farklara göre rulmanın yağ durumu ve hasar durumuyla ilgili net bilgiler elde edilir.

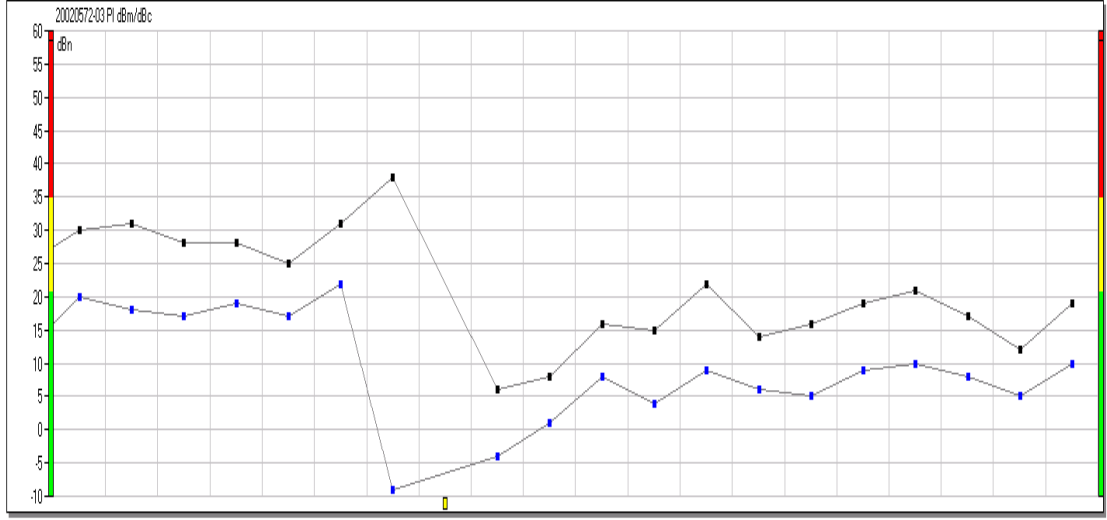
5.1.1.1 dBc Halı Değeri

Şok ölçümünde, şok sinyaller bilye ve bilezikler arasında yük taşıma noktasında oluşur. Rulman çalışma yüzeyleri, sorunsuz da olsa, pürüzlü olduğundan; hareket eden parçaları birbirinden ayırmakla görevli olan yağ filmi ve yüzey tepelerinin çarpışmasında basınç değişimleri meydana gelir. Bu basınç dalgaları yani şok sinyaller rulmanın gövdesine, yatağına ve bitişik diğer parçalara doğru yayılır. Ölçüm yapılan sensör sayesinde iletilen sinyal deseninde kuvvetli ve zayıf genlikler bulunur. dBc halı değeridir. Sinyal deseninde bulunan zayıf ve en fazla bulunan gruptur. Yağlama ve yağ filmi ile direk alakalı bir değerdir.

Halı değerinin miktarı dönen yüzeylerdeki yağ filminin kalınlığına bağlıdır. Dönen elamanların yüzeyleri birbirinde yağ filmi ile tam olarak ayrılıyorsa ve metal yüzeyler arasında bir temas yoksa halı düşük olur. Yağ filmi kalınlığı inceldikçe ve metal metal teması başladıkça halı değeri yükselir.

5.1.1.2 dBm Maksimum Değer

dBm, ölçüm sırasında yakalanan en kuvvetli sinyallerdir. Eğer rulman yüzeyleri hasarsızsa dBm ve dBc arasındaki fark küçüktür. Yüzey hasarı artar ve dönen elemanlar arasına yabancı partiküller girerse dBm değeri ve dBm ile dBc arasındaki fark artar.



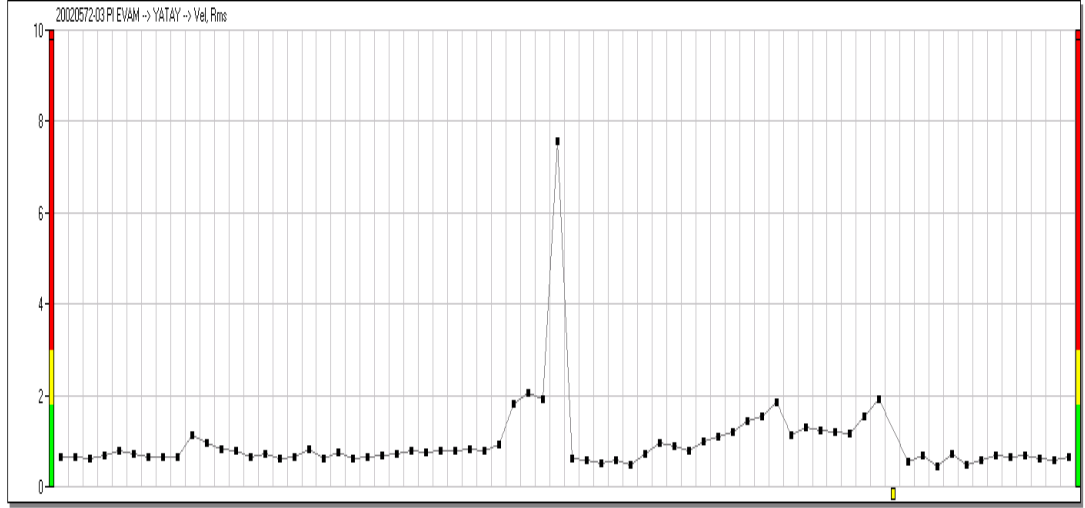
Şekil 5.4 Hasarlı Bir Rulmanın dBm / dBc Grafiği

5.2 Titreşim Ölçümü Analizinde Kullanılan Yazılım

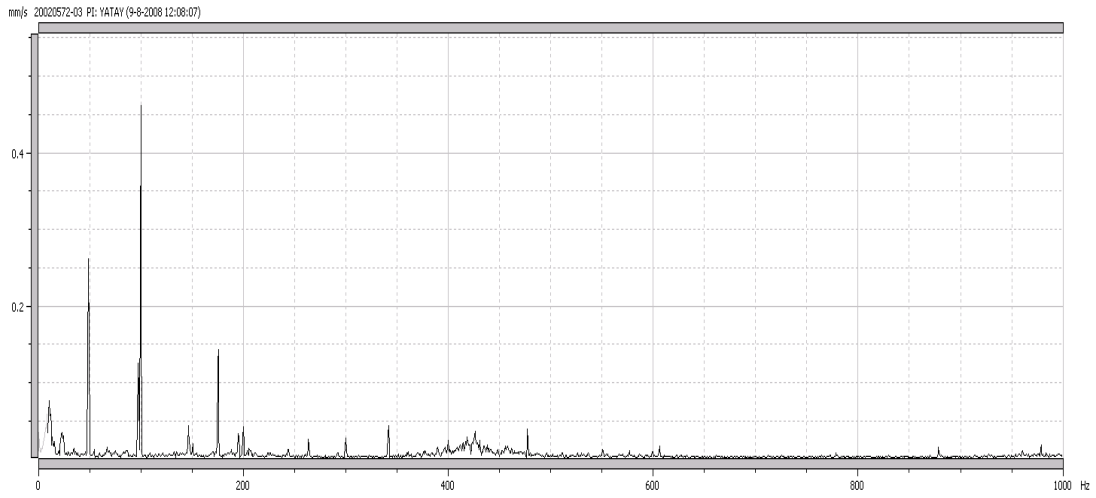
Seçilen makine üzerinden alınan ölçümlerin spektrum analizlerinin yapılabilmesi ve geçmiş kayıtlarının tutulabilmesi için bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bu çalışmada Leonova Infinity' nin yazılımı Condmaster Nova yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda ölçülecek bölgede bulunan 3 adet ekipmanın ölçüm için gerekli olan elektrik motoru rulman ve devir bilgileri, pompa rulman ve devir bilgileri yazılım içerisine oluşturulan ekipmanlara girilerek ölçümün gerçekleşmesi için gerekli bilgilerin eklenmesi yapılmıştır. Bu ekipmanlar için sahada ölçüm sırasını belirleyecek rota oluşturulmuştur.

Condmaster Nova programı bize bir ekipmanın üzerinden alınan ölçümleri saat ve gün olarak kayıtlarını tutarak geçmiş ölçümlere bakıp değişimleri görmemiz için

olarak sağlar. Ayrıca spektrum analizlerini yapacağımız FFT spektrum grafiklerini de cihaz ile toplanan verileri işleyerek oluşturur.



Şekil 5.5 Titreşim Tarih Grafiği



Şekil 5.6 Spektrum Grafiği (mm / sn – Hz)

Makinelerin verileri yazılıma girilirken yazılan rulman değerleri, yazılımda mevcut olan rulman veri tabanı sayesinde rulman arıza frekansları otomatik olarak hesaplanıp teorik çizgiler halinde gösterilir. Dolayısıyla yazılım rulman arıza frekansları ve bunların harmoniklerini otomatik olarak hesaplar.

5.3 Kritik Ekipman Seçim Şekli

Uygulama için çalışma yapılacak ekipmanların seçimi yapılırken ABC analizi (Pareto Analizi) yöntemi kullanılmıştır.

5.3.1 ABC (Pareto) Analizi

ABC analizi değişik sayıdaki önemli nedenleri, daha az önemde olan nedenlerden ayırmak için kullanılan bir yöntemdir. İlk kez 19. yüzyılda yaşayan bir İtalyan ekonomist olan Pareto tarafından uygulanmıştır. Pareto prensibi, problemlerin büyük bir kısmının genellikle birbiri ile bağlantılı az sayıdaki ancak baskın nedenlerden kaynaklandığını ifade eder.

ABC analizinde veya Pareto analizinde olaylar sıklık, zaman ve önem sırasına göre sıralanır. Bu şekilde oluşturulan tablonun en belirgin özelliği, sıralamayı göstermesidir. Olayların sıklık sırasına göre sıralanması, hangi sorunun daha önce ele alınması gerektiği konusunda yardımcı olur. Daha az öneme sahip bir işe zamanın çoğunu harcamak yanlış bir davranış olacaktır. Sorunların önem ve öncelik sırasına göre çözülmesi daha gerçekçi bir durumdur. ABC analizi ile bu durumu elde edebiliriz.

ABC analizinin faydalarından bahsedilecek olunursa;

- Sorun üzerinde en önemli etkiye sahip olan faktörü belirlemek.
- Problemleri listelemek veya sebepleri tablolamak ve her biri için oluşan hata sayısını saptamak.
- Önem sırasına göre tablo oluşturmak.
- Listedeki toplam hata sayısını belirlemek.
- Her bir problemin gösterdiği % oranlarını hesaplamak.
- Herhangi bir takım çalışmasında ortak bir karar almak ya da bir yolda birleşmek

olarak sayılabilir.

5.3.2 Uygulama Yapılacak Ekipmanın Seçilmesi

Uygulamada titreşim ölçümü yapılacak olan bölge ve ekipman seçiminde izlenen yol şu şekilde gerçekleşmiştir.

Tesiste bulunan 37 kızgın yağ pompası bölgeleri ile birlikte listelenip, bölgelerin üretim başta olmak üzere, iş güvenliği ve tehlike boyutları da dikkate alınarak bir sınıflandırma yapılmıştır. Ayrıca ekipman bazında değişim sıklığına göre de ayrı bir sınıflama yapılmıştır.

Çizelge 5.1 Kızgın Yağ Pompalarının Bölümlere Göre ABC Analizi

Ekipman Adı	Bölüm	Bölümlerin Üretim Yönünden Kritikliği	EKİPMAN BAZINDA POMPA DEĞİŞİM SIKLIĞINA GÖRE
Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 1	Yonga Levha	A	C
Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 2	Yonga Levha	A	C
Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 3	Yonga Levha	A	C
Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 4	Yonga Levha	A	C
Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 5	Yonga Levha	A	C
Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 6	Yonga Levha	A	C
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 1	Emprenye	B2	C
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 2	Emprenye	B2	C
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 3	Emprenye	B2	B
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 4	Emprenye	B2	B
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 5	Emprenye	B2	B
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 6	Emprenye	B2	C
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 7	Emprenye	B2	C
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 8	Emprenye	B2	C
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 9	Emprenye	B2	C
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 10	Emprenye	B2	B
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 11	Emprenye	B2	C
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 12	Emprenye	B2	C
Emprenye Kızgın Yağ Pompası 13	Emprenye	B2	C
Melamin Pres 1 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 1	Melamin Pres 1	B	B
Melamin Pres 1 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 2	Melamin Pres 1	B	B
Melamin Pres 1 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 1	Melamin Pres 1	B	B
Melamin Pres 1 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 2	Melamin Pres 1	B	B
Melamin Pres 2 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 1	Melamin Pres 2	B	B
Melamin Pres 2 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 2	Melamin Pres 2	B	B
Melamin Pres 2 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 1	Melamin Pres 2	B	B
Melamin Pres 2 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 2	Melamin Pres 2	B	B
Melamin Pres 3 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 1	Melamin Pres 3	B	B

Çizelge 5.1' in Devamı

Melamin Pres 3 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 2	Melamin Pres 3	B	B
Melamin Pres 3 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 1	Melamin Pres 3	B	B
Melamin Pres 3 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 2	Melamin Pres 3	B	B
Kazan Kızgın Yağ Pompası 1	Kazan Dairesi	A	A
Kazan Kızgın Yağ Pompası 2	Kazan Dairesi	A	A
Kazan Kızgın Yağ Pompası 3	Kazan Dairesi	A	C
Kazan Kızgın Yağ Pompası 4	Kazan Dairesi	A	C
Destek Pompası 1	Melamin Presler	A	C
Destek Pompası 2	Melamin Presler	A	C

Çizelge 5.1' de bu durum gösterilmiştir. Harflerin ne ifade ettikleri ise çizelge 5.2' de belirtilmiştir.

Çizelge 5.2 Kritiklik Seviyeleri

Bölümlerin Üretim Yönünden Kritikliği	EKİPMAN BAZINDA POMPA DEĞİŞİM SIKLIĞINA GÖRE
A: Çok Kritik (Duruş Kabul Edilemez)	C: 1 YILDAN FAZLA
B: Kritik (Belli Dönemlerde Duruş Kabul Edilebilir)	B: 6 AY - 1 YIL ARASI
B2: Kritik	A: 0 AY - 6 AY ARASI

Çizelgelerdeki bu değerler neticesinde Kazan Dairesinde bulunan kızgın yağ pompaları üretim açısından A değerini almıştır çünkü bu bölgede meydana gelecek bir arıza tüm tesisi durdurmaktadır. Ayrıca bu bölgede meydana gelecek arıza bir duruş veya önceden fark edilmemiş bir arıza, hatlarda kızgın yağ olduğu içinde güvenlik anlamında da bir risk oluşturmaktadır. Ek olarak ekipman bazında pompa değişim sıklığına göre bakılacak olursa A değeri ile sıklıkla değişim yapıldığı görülmüştür.

Tüm bu kritiklik düzeylerinden dolayı kazan bölgesindeki 3 adet kızgın yağ pompasından belirli aralıklarla titreşim ölçümü alınarak titreşim analizleri yapılmasına karar verilmiştir.

5.4 Uygulama Yapılacak Ekipman Bilgileri

Çalışma için belirli aralıklarla titreşim ölçümü alınacak olan kızgın yağ pompasının özellikleri çizelge 5.3' te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Titreşim Ölçümü Yapılacak Pompa Bilgileri

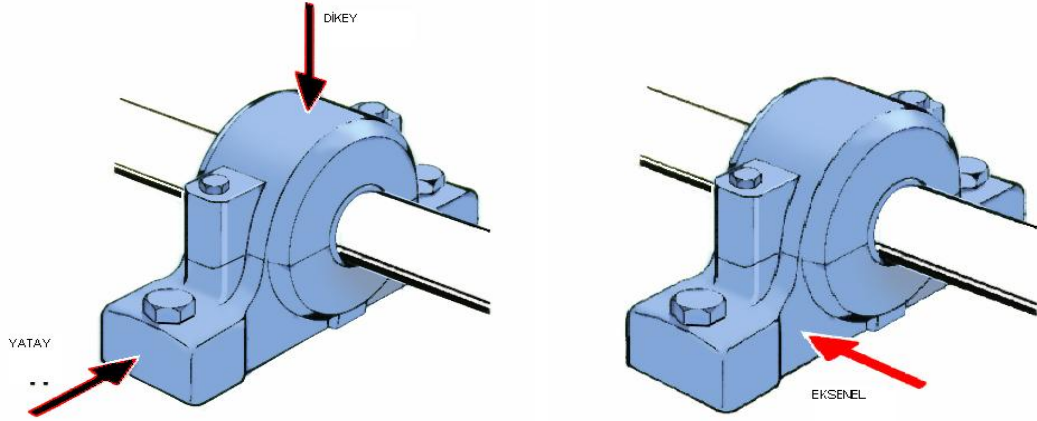
Pompa Markası	ALLWEILER
Pompa Tipi	NTT100-250
Motor Markası	GAMAK
Motor Gücü	75 Kw
Motor Ön Rulman	6315 2Z C3
Motor Arka Rulman	6315 2Z C3
Motor Devri	2975 d/d
Pompa Ön Rulman	6308 2Z/C4WT
Pompa Arka Rulman	6308 2Z/C4WT
Pompa Devri	2975 d/d

Pompa ve elektrik motorunun rulman ve devir bilgileri Condmaster Nova yazılımına girilerek ölçüm rotası oluşturulmuştur. Elektrik motoru üzerinden, arka taraf rulman yatağının olduğu kısımdan yatay ve dikey ayrıca şok ölçümü, motor ön tarafından yatay, dikey ve eksenel yönde ölçüm ayrıca şok ölçümü olacak şekilde toplam 5 noktadan titreşim, 2 noktadan şok ölçümü yapılmıştır. Pompa üzerinden ise, pompa kaplin tarafından yatay ve dikey, ayrıca şok ölçümü, pompa çark tarafından yatay ve dikey ayrıca şok ölçümü olacak şekilde toplam 4 noktadan titreşim ölçümü ve 2 noktadan şok ölçümü yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen veriler ışığında yapılan değerlendirmede çeşitli sonuçlarla karşılaşılmıştır.

5.5 Kızgın Yağ Pompalarında Titreşim Ölçümlerinin Analizi ve Sonuçlar

5.5.1 Kızgın Yağ Pompası 1 Titreşim Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar

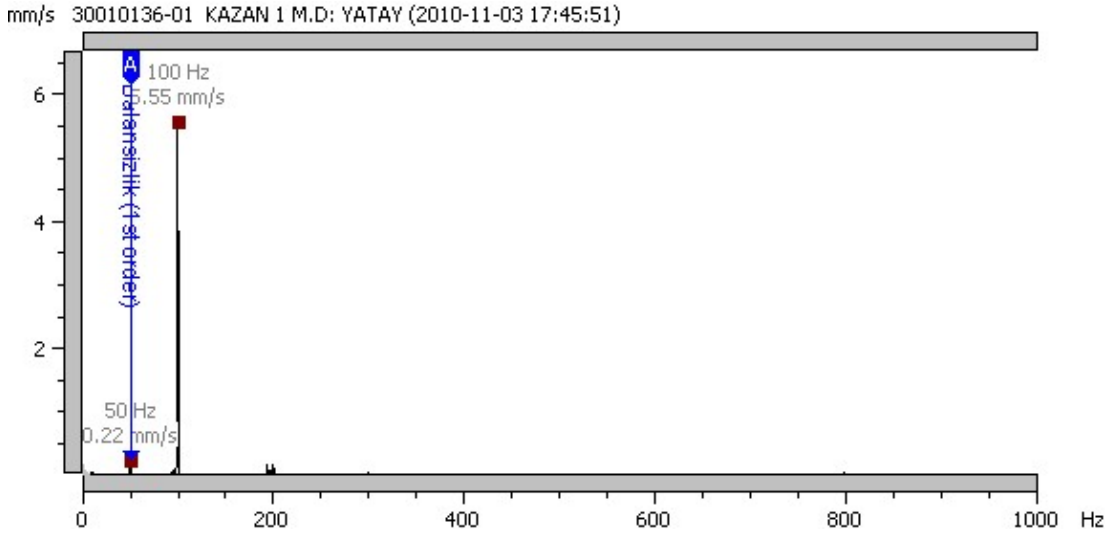
Kızgın yağ pompası 1 üzerinde yapılan titreşim ölçümleri sonucunda bazı yorumlar yapılmıştır. Titreşim ölçümleri Şekil 5.7' de gösterilen şemadaki yönlerden alınmıştır.



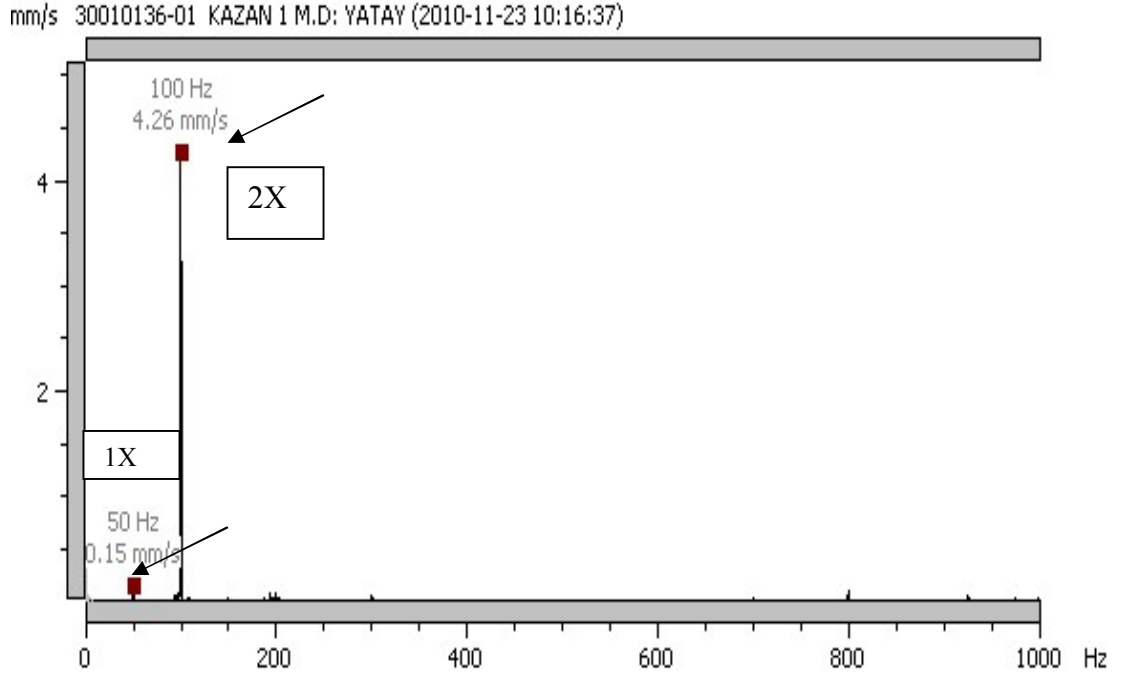
Şekil 5.7 Ölçüm Yönleri

Motor dış tarafından yatay, dikey titreşim ve şok ölçümü olacak şekilde 3 noktadan, motor iç tarafından yatay, dikey, ekstenel ve şok olmak üzere 4 noktadan, pompa iç tarafından yatay, dikey ve şok olmak üzere 3 noktadan ve yine motor dış tarafından yatay, dikey ve şok olmak üzere 3 noktadan toplamda 13 noktadan bir ekipman için ayrı ölçümler alınmıştır.

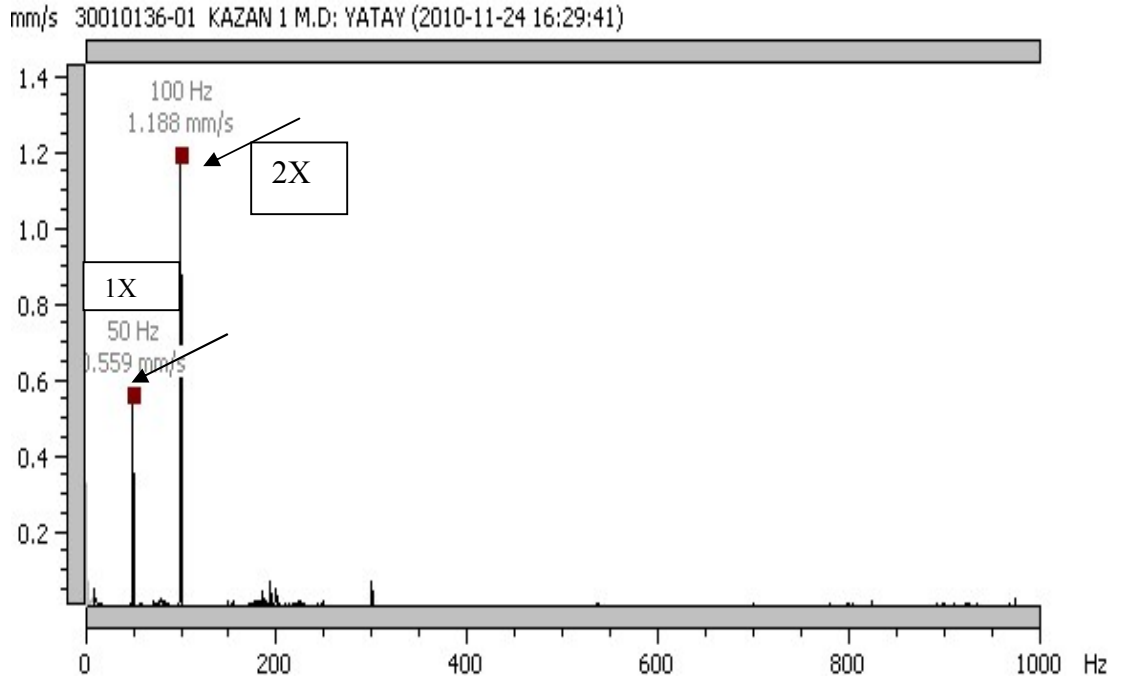
Kızgın yağ pompası 1 ekipmanı için şu sonuçlara ulaşılmıştır.



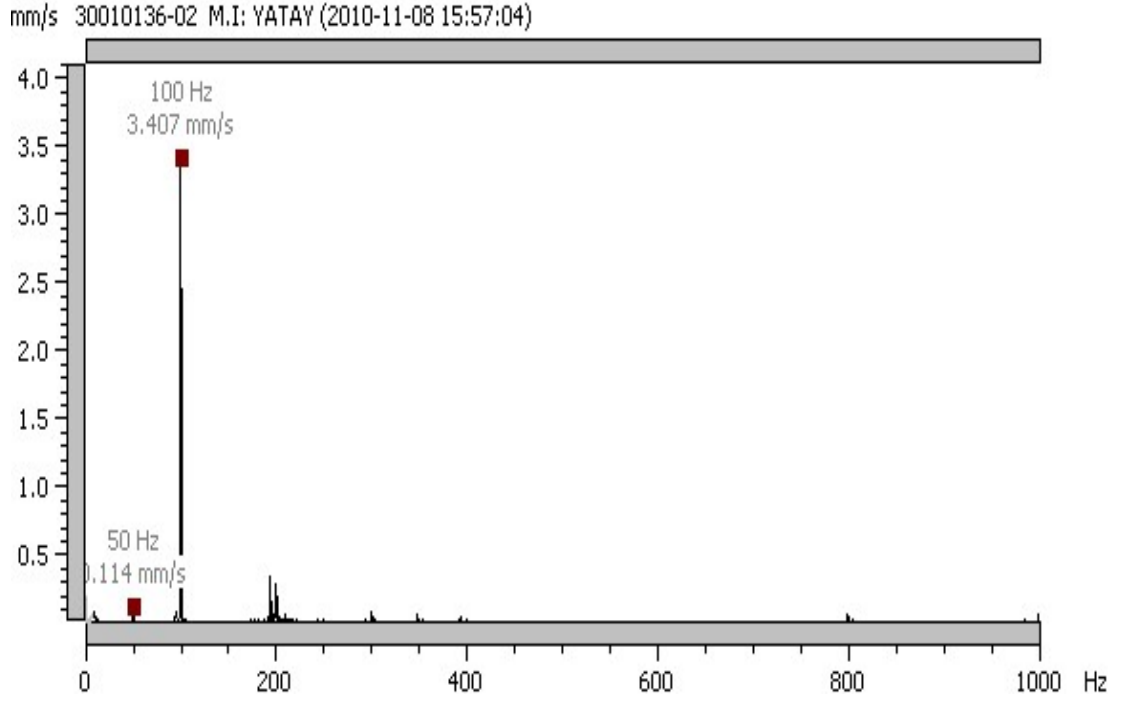
Şekil 5.8 Pompa 1 ekipmanı motor dış yatay ölçüm



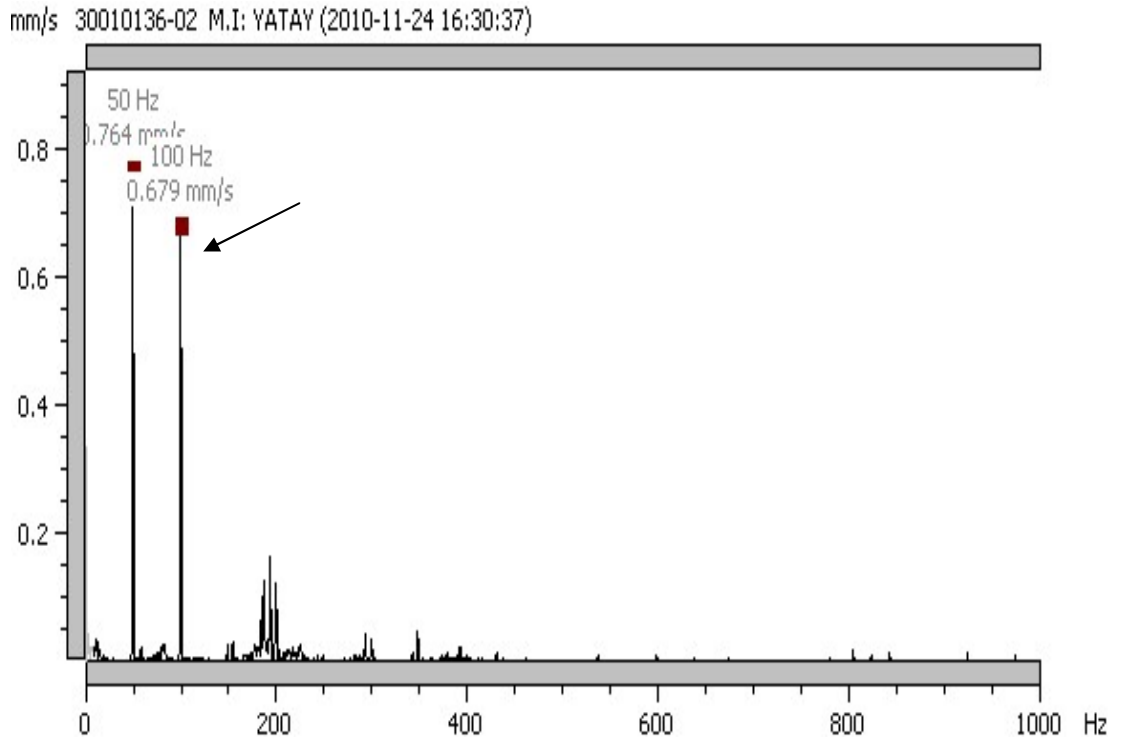
Şekil 5.9 Pompa 1 motor dış yatay ölçüm



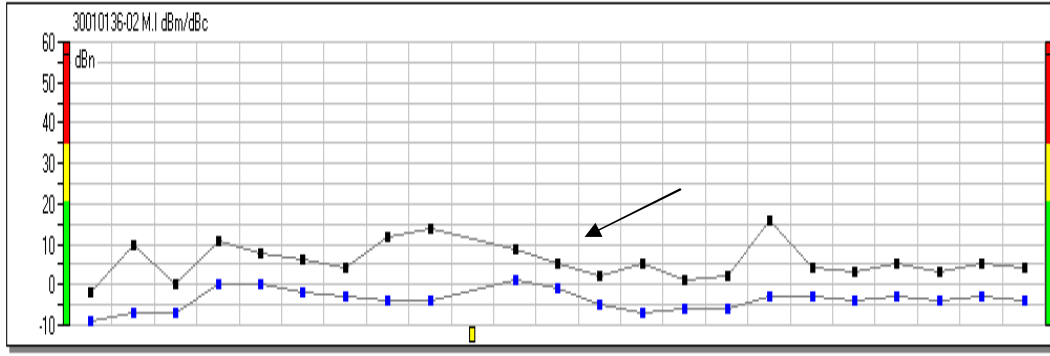
Şekil 5.10 Pompa 1 motor dış yatay ölçüm (Müdahaleden sonraki ölçüm)



Şekil 5.11 Pompa 1 motor iç yatay ölçüm (Eksenel Ayarsızlık)



Şekil 5.12 Pompa 1 motor iç yatay ölçüm (Müdahaleden sonra)



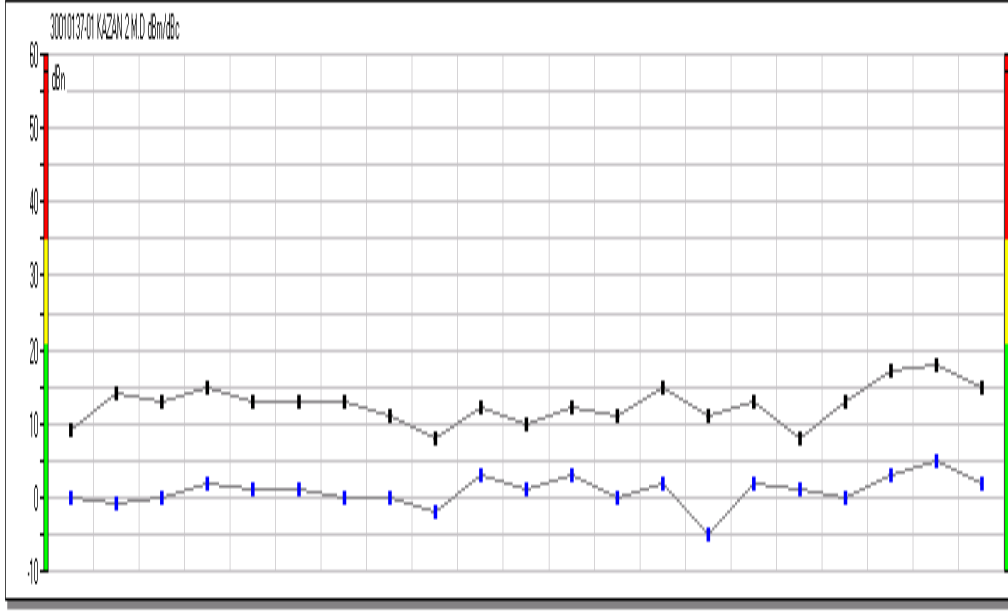
Şekil 5.13 Pompa 1 pompa iç SPM (şok) ölçümü seyri

Kızgın yağ pompası 1 ekipmanında titreşim ölçümleri toplanmaya başladığı tarihte mevcut bir eksenel ayarsızlık sorunu vardır. Şekil 5.8 ve 5.9' da motor dış tarafından ve yatay yöndeki ölçümlerin spektrum grafikleri incelendiğinde dönme devri frekansında yani 50 Hz seviyesinde 1X ve bu frekansın 2 katında yani 100 Hz'de 2X piki oluşmuştur. Bu pikler arasında 1X' te oluşan pik temel pik olup tüm makinelerde balanssızlık çalışma değeri tam olarak sıfırlanamayacağı için mevcut olur. Ancak paralel bir eksenel ayarsızlık mevcut olduğu takdirde 2X' te oluşan pik, 1X' te oluşan pikten baskın hale gelir ve yatay ve dikey ölçümde oluşur. Şekil 5.8 ve 5.9'da titreşimin değeri 5.5 mm/sn, 4.26 mm/sn seviyelerinde eksenel ayarsızlığa bağlı olarak yüksek seyrediyor.

Aynı şekilde Şekil 5.11' de 2X piki, 1X pikine göre baskındır. Titreşimin değeri ise 3.4 mm/sn seviyelerindedir. Burada da eksenel bir ayarsızlık olduğu gözükmemektedir. Hatta 2X piki, 1X pikinden baskın olduğu için makinenin paralel yönde bir kaplin ayarı istediği görülmüştür. Kaplin ayarından sonra titreşim seviyelerinde düşüş yaşanmıştır. Titreşim seviyesi 0.76 mm/sn seviyelerine düşmüştür.

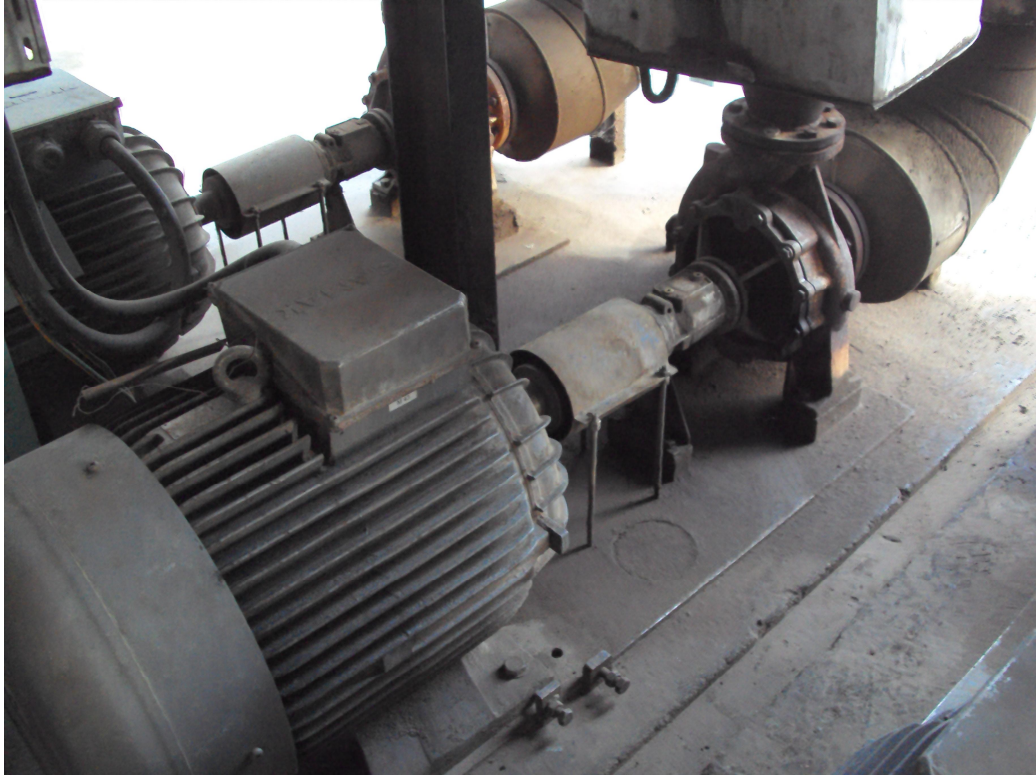
5.5.2 Kızgın Yağ Pompası 2 Titreşim Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar

Kızgın yağ pompası 2 üzerinden alınan ölçüm ve yorumlar yapılmıştır. Ölçümler pompa 1 ekipmanının da olduğu gibi yapılmıştır.



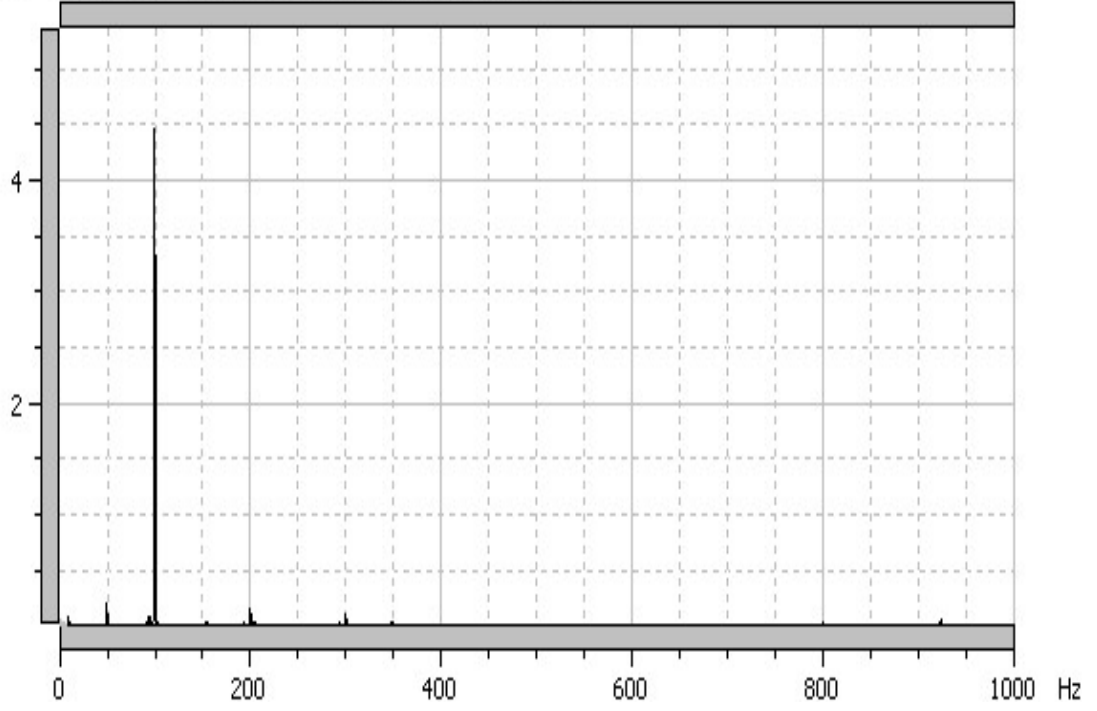
Şekil 5.14 Pompa 2 Motor dış Spm ölçümü

Şekil 5.14 'te de görüldüğü gibi motor dış taraftan alınan şok ölçümlerinin seyri normal bir seyir olarak, yapılan ölçümlerde devam etmiştir. Motor dış taraf rulmanının şok seyri, rulmanda problem olmadığına dair işaretler vermektedir.



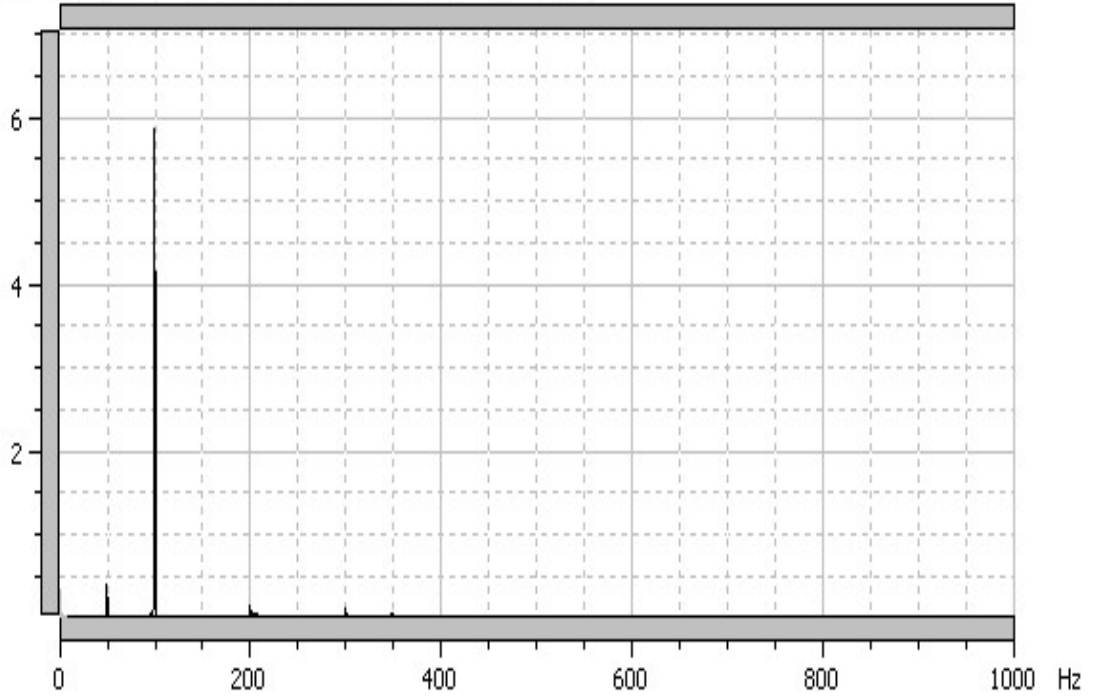
Şekil 5.15 Kızgın yağ pompalarının görünüşü

mm/s 30010137-01 KAZAN 2 M.D: YATAY (2010-11-08 16:02:57)



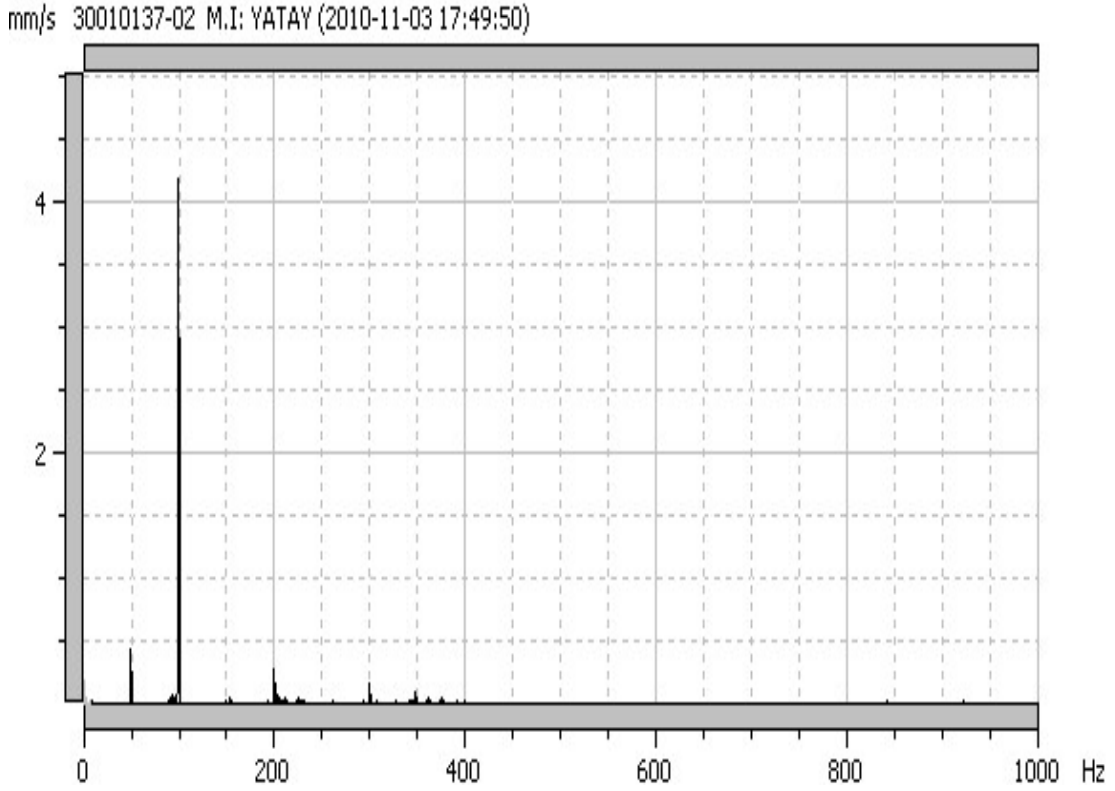
Şekil 5.16 Pompa 2 motor dış yatay ölçüm 08.11.2010

mm/s 30010137-01 KAZAN 2 M.D: YATAY (2010-12-28 09:53:10)



Şekil 5.17 Pompa 2 motor dış yatay ölçüm 28.12.2010 (Artış)

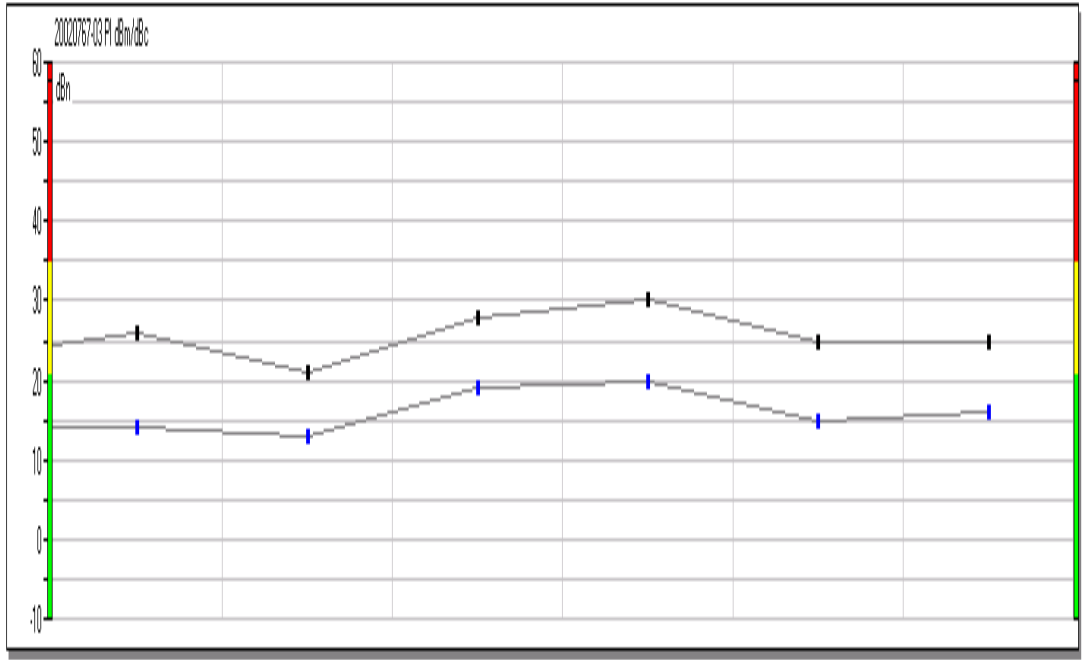
Motor dış yatayda 50Hz frekansı temel dönme frekansdır. 100 Hz' deki pik ise 2X pikini oluşturur. Bu spektrum grafiği bize paralel kaçıklık olduğunu göstermektedir.



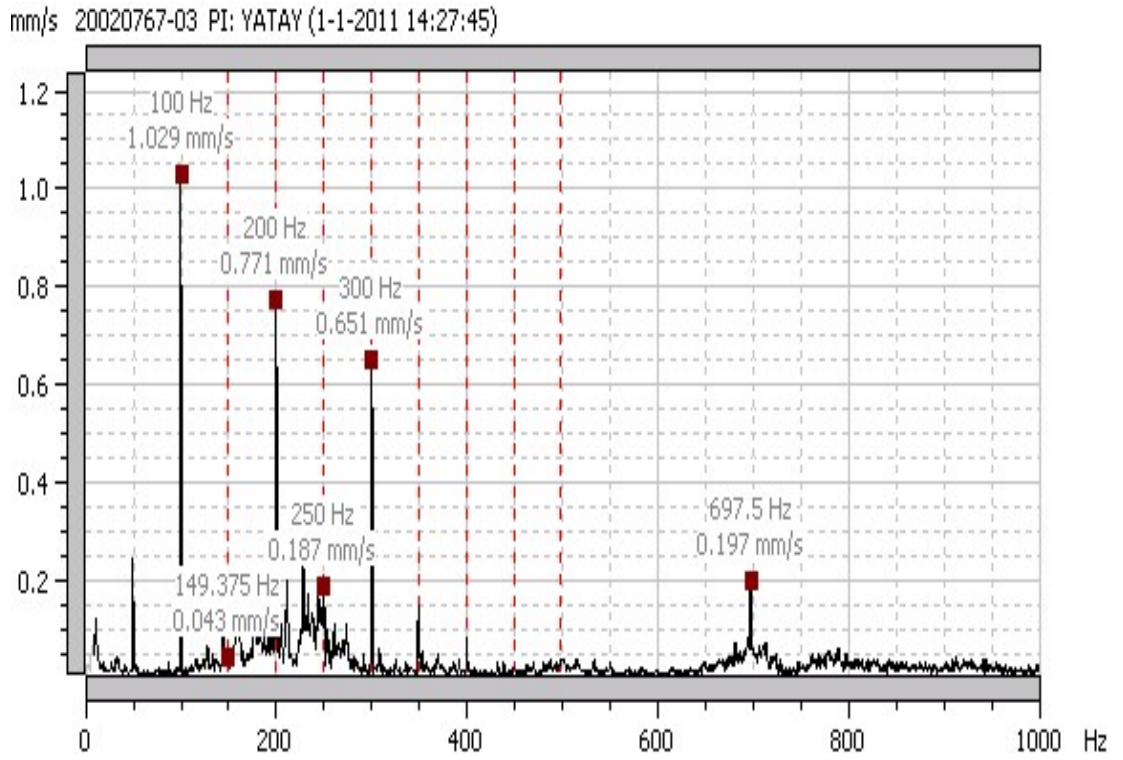
Şekil 5.18 Pompa 2 motor iç yatay spektrum grafiği 03.11.2010

Şekil 5.18' de görüldüğü gibi motor iç yatay ölçümde aksel ayarsızlığın işareti olan durum söz konusu. Yani 1X dönme frekansı, 2X frekasından daha düşük seviyede. Paralel olarak bir aksel ayarsızlık mevcut.

Pompa 2' nin pompa iç ve dış ölçüm sonuçlarına göz atacak olursak. Mevcut durumda son yapılan ölçümlerde SPM şok ölçümlerinin seyri anormal olmayan bir şekilde devam etmektedir. Ancak sarı bölgede (Şekil 5.19) yani dBm/dBc değeri 25/15 seviyelerinde seyrettiğinden kontrol altında tutulması gerekmektedir.



Şekil 5.19 Pompa 2 iç yatak şok ölçüm seyri



Şekil 5.20 Pompa iç yatay ölçüm

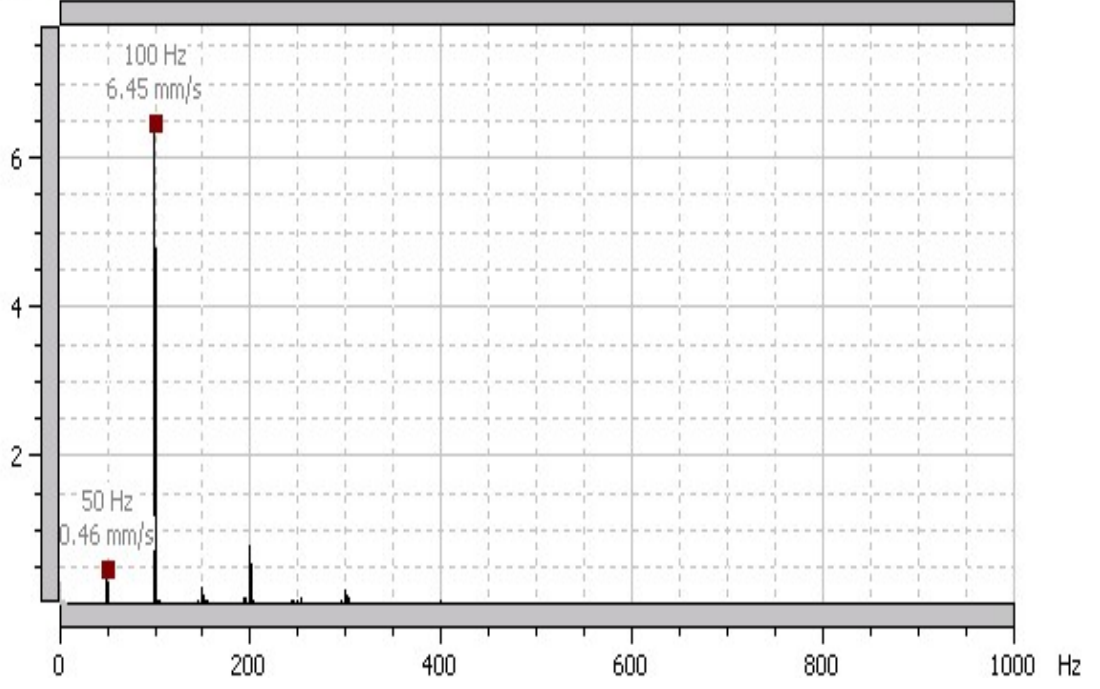
1 Ocak 2011 itibariyle yapılan ölçümde pompa iç yatayda titreşim seviyesi çok yüksek olmamasına rağmen 1X ve katlarında, yani 50 Hz ve katlarında baskın pikler mevcut hale gelmiş ve 697,5 Hz 'deki pik düşündürücüdür (Şekil 5.20). Bu haliyle pompaya müdahaleye gerek görülmediği için değişim yapılmamıştır. Eksenel ayarsızlık problemi ise mevcut şaseden kaynaklanan sıkıntı sebebiyle istenilen ayar yapılamamaktadır. Bu konuda gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra titreşim seviyesi uygun seviyelere çekilecek ve eksenel ayarsızlığın rulman üzerindeki olumsuz etkisi ortadan kaldırılacaktır.

5.5.3 Kızgın Yağ Pompası 3 Titreşim Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar

Kızgın yağ pompası 3 için yapılan ölçümler sonucunda şu veriler elde edilmiştir. Mevcut durumda eksenel yönde bir ayarsızlık mevcut iken bir süre sonra pompadaki rulmanların bozulduğu ve bu yönde spektrum grafiklerinde değişiklikler elde edilmiştir.

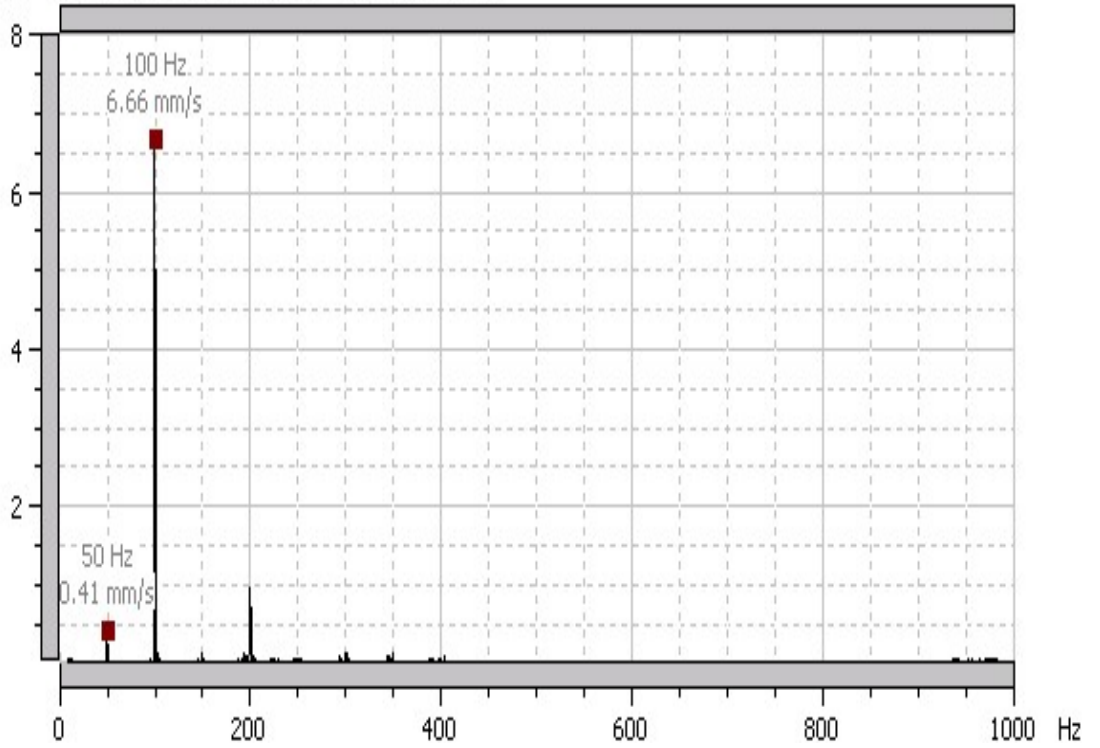


mm/s 30010138-01 KAZAN 3 M.D: YATAY (11-4-2010 09:01:30)

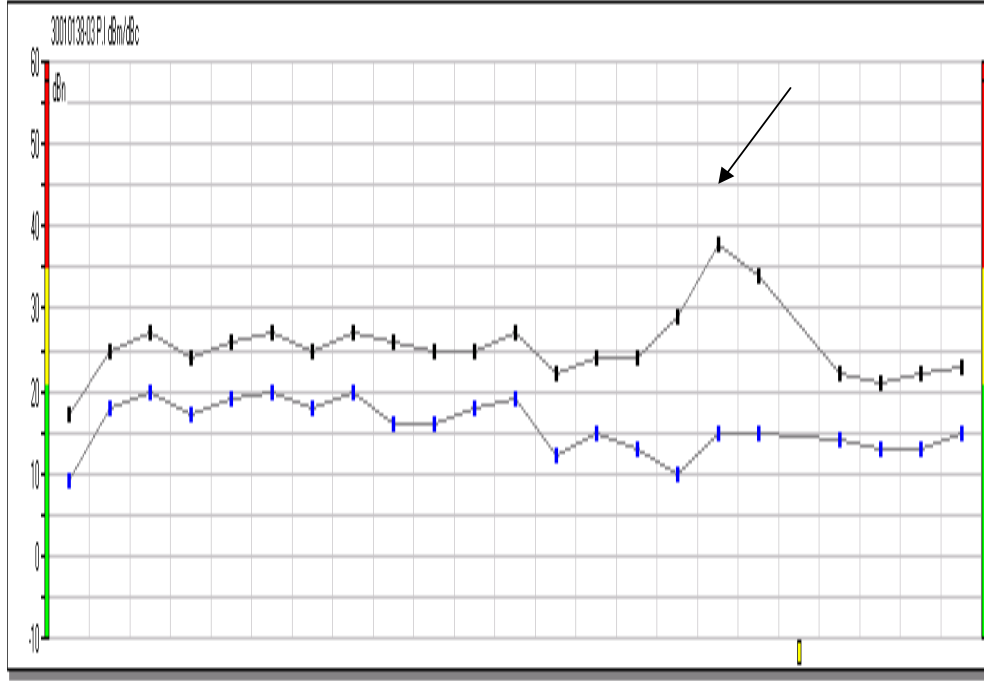


Şekil 5.22 Pompa 3 motor dış yatay ölçüm 04.11.2010

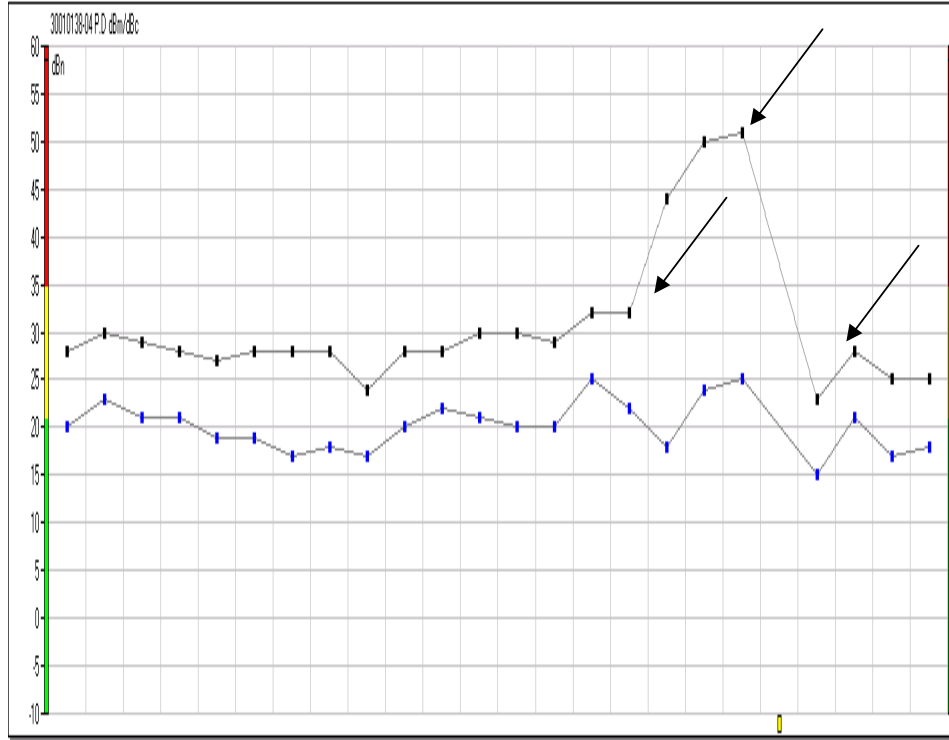
mm/s 30010138-02 M.I: YATAY (11-4-2010 09:02:06)



Şekil 5.23 Pompa 3 motor iç ölçüm 04.11.2010

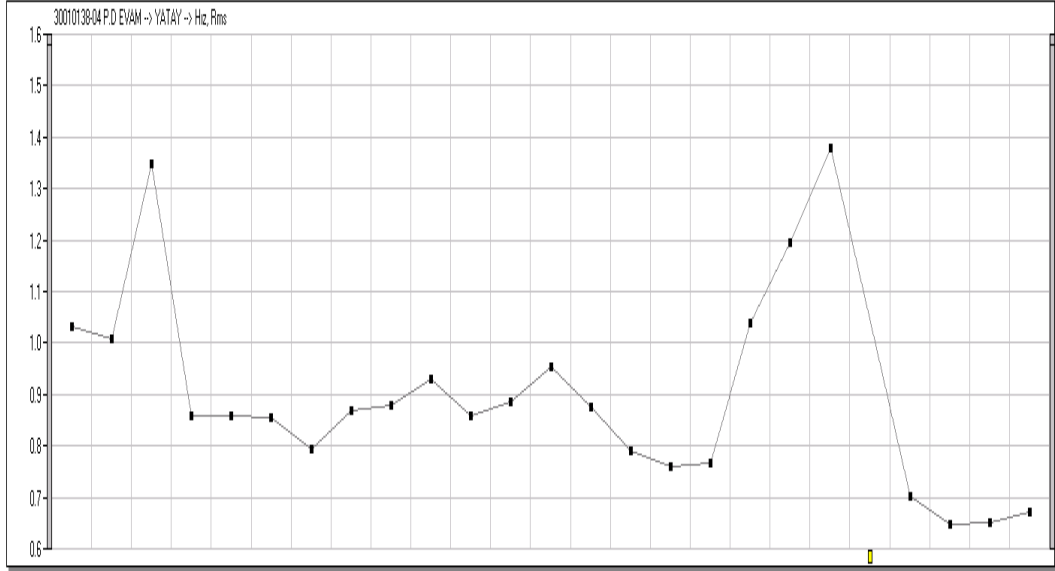


Şekil 5.24 Pompa 3 pompa iç yatak rulman şok ölçümü seyri

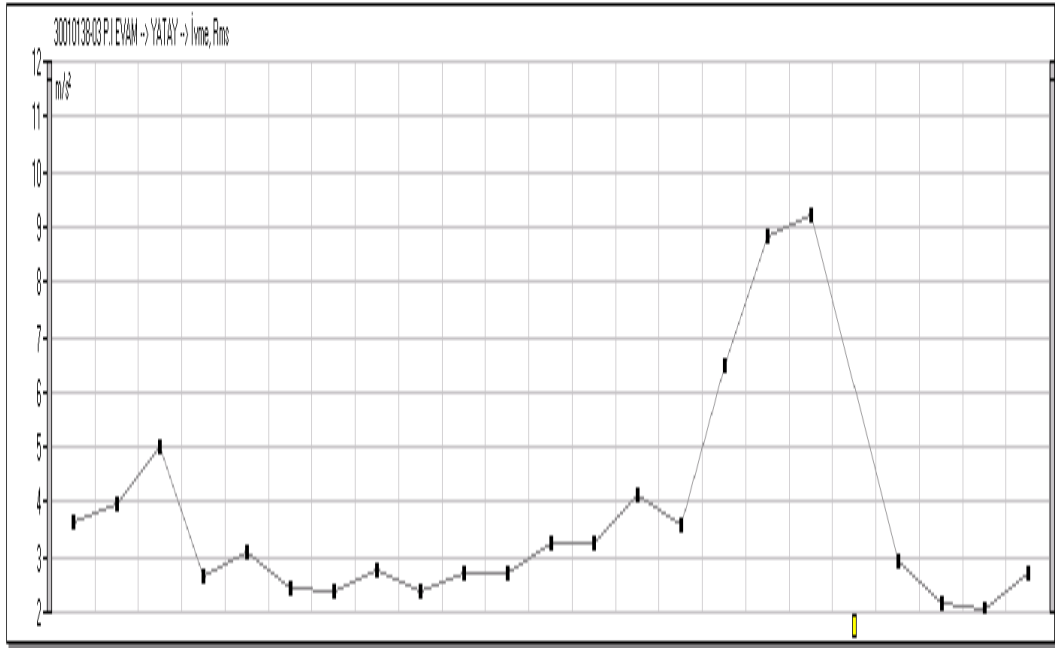


Şekil 5.25 Pompa 3 pompa dış yatak rulman şok ölçümü seyri

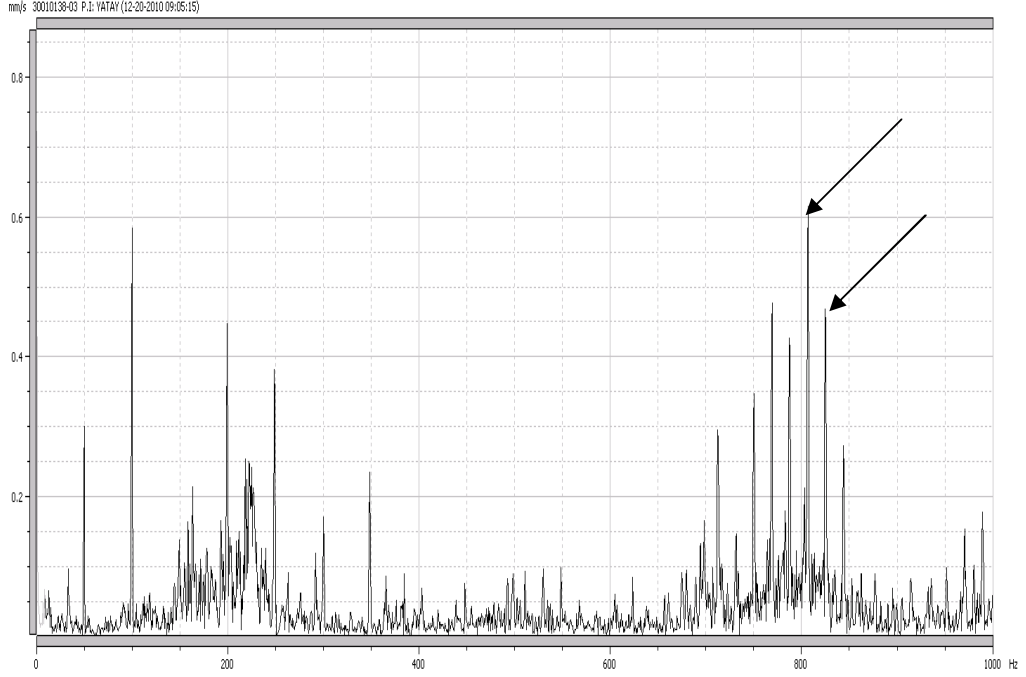
Ölçüm yapılan periyot içinde Şekil 5.24 ve 5.25’ te ok ile gösterildiği üzere, pompanın şok seyrinde artışlar yaşanmıştır. Bu artışlar kritik seviyelere gelerek pompanın değişiminin yapılması gerektiğini bize söylemiştir. Ayrıca değişim sonrasındaki seyrinde Şekil 5.24 ve 5.25’ te net bir şekilde görülmektedir. Şekil 5.26 ve 5.27’ de ise pompa değişiminden önce ve sonraki hız ile ivme değişimleri görülür.



Şekil 5.26 Pompa 3 pompa dış yatak titreşim seyri

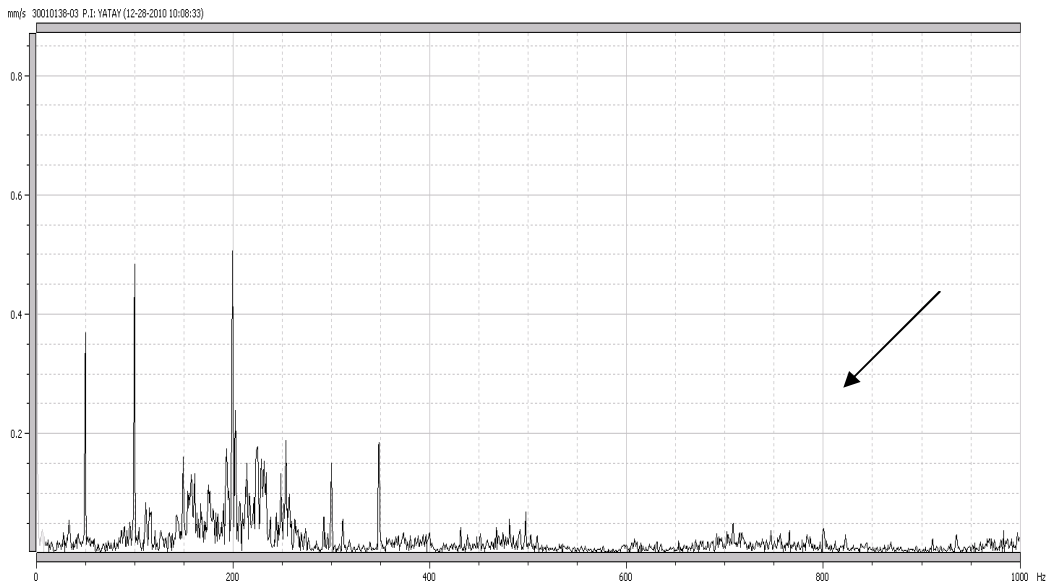


Şekil 5.27 Pompa 3 pompa iç yatay ivme değeri değişimi



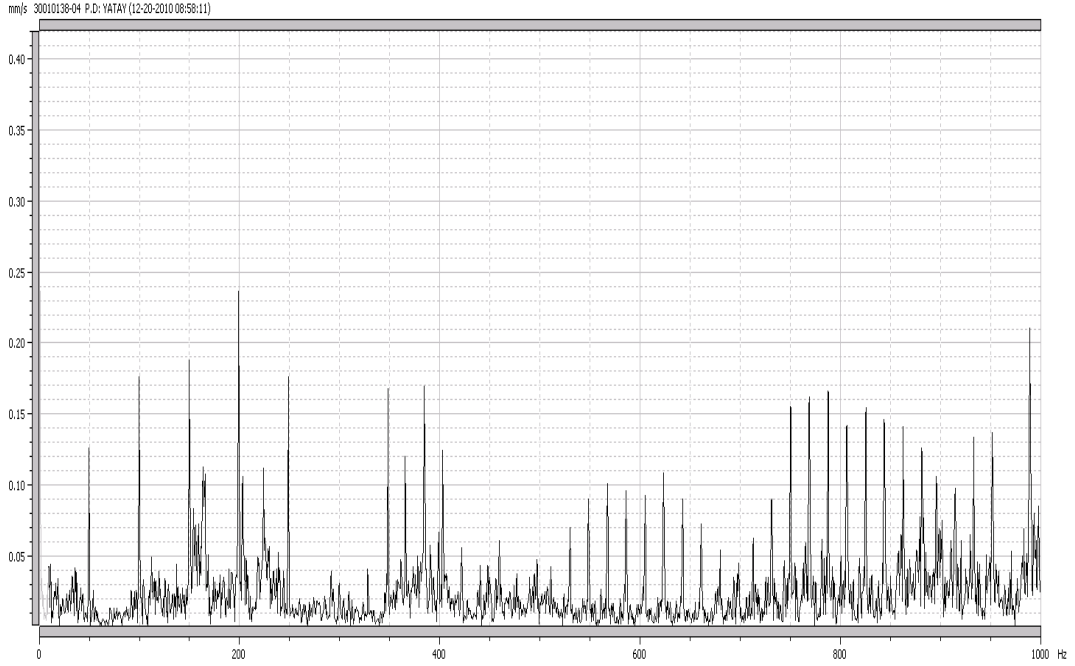
Şekil 5.28 Pompa 3 iç yatak rulman titreşim spektrumu (arızalı durum)

Şekil 5.27’ de ivme değerinde aşırı bir artış gözlenmiştir. İvme değeri artışları rulman ile ilgili bir sorun olabileceğini bize gösterir. Ne var ki Şekil 5.25’ teki şok grafiği seyri bunu doğruluyor. Şekil 5.28’ de, 800 Hz bölgesinde geniş bant toplanmış pik grubu, değişimin olması gerektiğini gösteriyor. Bu noktada tepe değeri de 55 m/s^2 seviyelerine yükselmiş durumdadır.

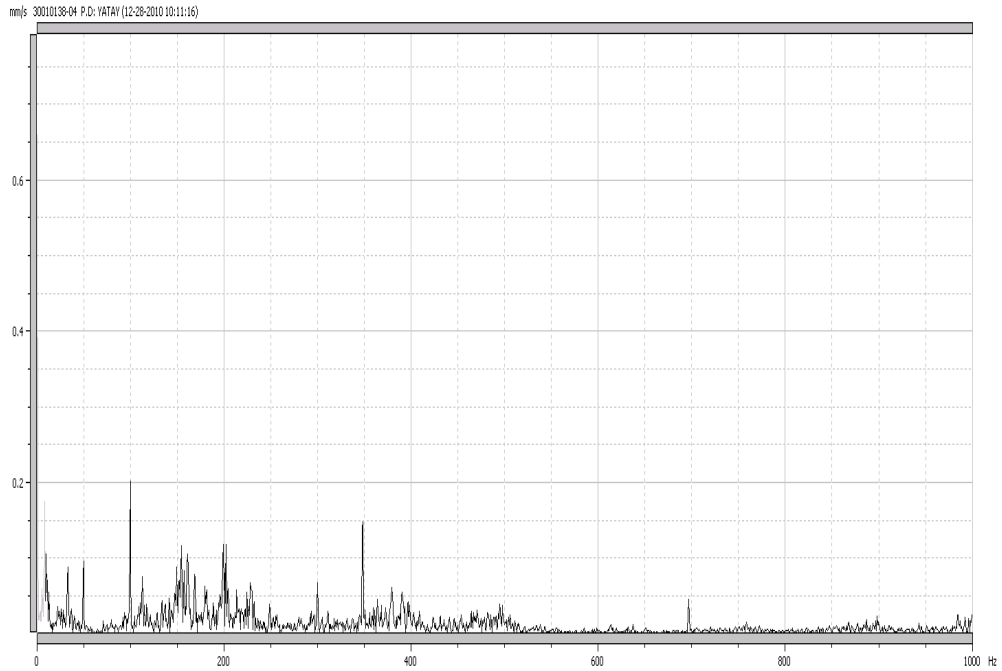


Şekil 5.29 Pompa 3 iç yatak rulman titreşim spektrumu (Pompa değişiminden sonra)

Arıza pikleri pompa değişiminden sonra ortadan kaybolmuştur (Şekil 5.29). İvme değeri 9 m/s^2 seviyelerinden 2 m/s^2 seviyelerine düşmüştür. Pompa ekipmanı duruşa sebep olmadan değiştirilmiştir. Şekil 5.30 ve 5.31' de pompa değişiminden önce ve sonra dış yatak rulman titreşim ölçümüne ait spektrum grafiğindeki değişim görülür.



Şekil 5.30 Pompa 3 dış yatak rulman titreşim ölçümü spektrumu (arızalı ölçüm)



Şekil 5.31 Pompa 3 dış yatak rulman titreşim spektrumu (Pompa değişiminden sonra)

Geniş bant hasar pikleri pompa değişiminden sonraki alınan ölçümlerde ortadan kalkmıştır. Sağlıklı olarak çalışan bir pompa sisteme, arızı bir duruş olmadan planlanarak monte edilmiştir.

Özellikle 3 numaralı pompada ilk ölçümden itibaren aksenal ayarsızlığa bağlı olarak normalin üzerinde bir titreşim mevcuttur. Bu titreşim devam ettiği taktirde yapılan ölçümler göstermiştir ki, aksenal ayarsızlık rulman hasarına sebep olabilmektedir. Kaplin ayarına bağlı titreşim giderilmediği taktirde, rulman hasarı oluşması muhtemel olmaktadır. Bir numaralı pompada bir aksenal ayarsızlık mevcutken yapılan müdahale sonucunda titreşim seviyesi normale dönmüş ve rulman şok değerleri artış göstermeden seyretmiştir. Tabi ki farklı faktörlerde pompa, motor ve rulmanlar üzerinde farklı etkiler yaratabilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Uygulama çalışması sonuçları

Kestirimci bakım yöntemleri günümüzde bir işletme için hayati önem taşımaktadır. Bu yöntemler içinde, titreşim ölçümü ve analizi yöntemi, çalışan ekipmanların durumları hakkında yorum yaparak, makinenin ne zaman arızalanacağını veya uygun değişimin ne zamana planlanması gerektiğini tahmin etmemizi sağlar. Oluşabilecek olan arızaların önceden belirlenip planlanması, arızı bir duruşun önüne geçecek ve üretimin beklenmedik kesintilere uğramasını engelleyecektir.

Bu çalışmada ABC analizine göre seçtiğimiz, işletme için kritik olan kızgın yağ pompa ekipmanlarının periyodik olarak titreşim ölçümlerini alıp bunların titreşim analizleri incelenmiştir. Ölçüm alınan periyotta meydana gelen durumlar göz önüne alınarak, bazı arızaların birbirini tetikleyebildiği yönünde verilere ulaşılmıştır. Bu arızaların oluşmadan kontrol altında tutulup, yerinde müdahale etmenin önemli olduğu görülmüştür.

Ayrıca titreşim analizinin, işletme için kritik olan bir bölgenin kontrol altında tutulup, arızalar meydana gelmeden önce müdahalenin planlanıp uygulanmasını mümkün kıldığı bir kez daha bu çalışmayla görülmüştür.

Günümüzde artık ekipman arızalanmadan titreşim analizi ile en uygun an planlanıp müdahale edilebilmektedir. Bunun için titreşim analizini doğru yapıp makineyi okumak gereklidir.

6.2 Öneriler

Bu çalışmanın devamında, pompalarda deneysel olarak oluşturulacak bir düzenek ile arızaların birbirini tetikleme durumlarının, kasıtlı arızalar oluşturularak izlenmesi ve böylece bir istatistiki veri elde edilebilmesi çalışması yapılabilir. Böylece makinenin işletmede çalışması sırasında pompaya etkiyen diğer faktörlerin etkisi minimuma indirilip, mevcut arızanın rulman üzerindeki etkisi daha kesin çizgilerle incelenebilir.

Bu da arızaların birbiri üzerindeki etkisini ölçmemize ve titreşim analizi safhasında oluşan veya oluşmaya başlayan arızaları önceden müdahale ederek ortadan kaldırmamıza ve ekipmanın ömrünü daha da uzatmamıza olanak verebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kalyoncu, M. , “Titreşim analizi ile makina elemanları arızalarının belirlenmesi”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, Ankara, Cilt no 47, Sayı 552, (2006), Sayfa 28.
- [2] <http://www.lindsayengineering.com/services/vibration-analysis-and-testing-services/> (31.01.2011)
- [3] Orhan, S. , Aktürk, N. ve Çelik, V. , “Bir santrifüj pompa rulmanlarının çalışabilirliğinin titreşim analizi ile belirlenmesi”, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, Ankara, Cilt 16, Sayı 3, (2003), Sayfa 543 – 552.
- [4] Mobley, R.K. , “An introduction to predictive maintenance”, *Van Nostrand Reinhold*, New York, (1990), Page 1 – 16.
- [5] Chu, C. , Proth, J.M. ve Wolff, P. , “Predictive maintenance: The one-unit replacement model”, *Int.J.Production Economics*, 54,(1998), Page 285-295.
- [6] Arslan, S. , “Titreşim analizi ile fanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak, (2010).
- [7] Denli, H.B. , “Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin, (2007).
- [8] Orhan, S. , “Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakımı”, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, Kırıkkale, (2002).
- [9] Köse, R.K. , “Makine arızalarının belirlenmesinde titreşim analizi”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Ankara, Cilt: 45, Sayı: 538, (2004), Sayfa 24.
- [10] <http://www.thermal-kamera.com/category/thermal-kamera> (31.01.2011)
- [11] <http://thermal-imaging-blog.com/> (31.01.2011)
- [12] Murphy, T.,”J. Understanding Ultrasonic Signal Analysis” <http://www.sdtnorthamerica.reliabilityweb.com/tutorials.htm> (31.01.2011)
- [13] Baykara, V.İ. , “Titreşim analizi ile şanzımanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak, (2009).
- [14] Engür, A.İ. , “Kestirimci bakımda titreşim analizi”, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Ankara, Cilt: 48, Sayı: 570, (2007), Sayfa 27.
- [15] DMT Makine Vibrasyon Sunumu, Bursa, (2009)

- [16] Orhan, S. , “Döner makinelerde oluşan arızalar ve titreşim ilişkisi”, *Teknoloji Dergisi*, Karabük, Yıl 6, Sayı 3-4, (2003), Sayfa 41-46.
- [17] Çağlayan, İ.H. , “Değişik tip pompalarda titreşim ölçüm ve analizi ile arıza tanımı”, <http://www.vibratek.com.tr> (31.01.2011)
- [18] Marti, O. , “Santrifüj pompaların genel tasarımlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konstrüksiyon Anabilim Dalı, İstanbul, (2006).
- [19] Geçit, C. , “Seri ve paralel bağlı santrifüj pompaların farklı devir ve sıcaklıklardaki performanslarının incelemesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, (2006).