

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Serdar YÜCEL

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : MAK. TAS. VE İMALAT
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Vahdet UÇAR

Haziran 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI

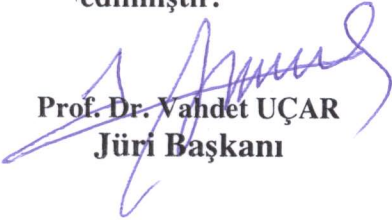
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak.Müh. Serdar YÜCEL


Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAK. TAS. VE İMALAT

Bu tez 19 / 06 /2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr. Vahdet UÇAR
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Recep KOZAN
Üye


Doç. Dr. S. Can KURNAZ
Üye

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca öğrencisi olduğum, gerek bilgileri gerek deneyimleri ile bana sürekli yol gösteren, yapmış olduğum bu çalışmayı büyük desteğiyle yöneten, çalışma süresince hiçbir fedakarlığı esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr.Vahdet UÇAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmanın uygulama bölümünün; ölçüm cihazlarının tanıtılması, ölçümlerin alınması ve sonuçların yorumlanması aşamasında en büyük desteği gördüğüm Mustafa KAN'a teşekkür ederim.

İlkokuldan başlayıp bu günlere kadar getirdiğim eğitim hayatımda hiçbir fedakarlığı, katkıyı ve emeği esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Bu çalışmayı yürütürken bana en fazla destek ve motivasyon sağlayan, büyük bir özveri gösteren değerli eşime ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BAKIM YÖNTEMLERİ.....	2
2.1. Bakım Sisteminin Amacı.....	2
2.2. Bakım Sistemleri.....	2
2.2.1. Arıza sonrası bakım.....	3
2.2.2. Periyodik koruyucu bakım.....	4
2.2.3. Kestirimci bakım.....	5
BÖLÜM 3.	
KESTİRİMCİ BAKIM YÖNTEMLERİ.....	8
3.1. Titreşim.....	8
3.1.1. Titreşim parametreleri.....	9
3.1.1.1. Periyot.....	9
3.1.1.2. Frekans.....	10
3.1.1.3. Açısal frekans.....	10

3.1.1.4. Faz.....	10
3.1.1.5. Genlik.....	10
3.1.1.6. Yer değiştirme.....	11
3.1.1.7. İvme.....	11
3.1.1.8. Rezonans ve kritik hız.....	11
3.1.2. Titreşim ölçüm noktalarının belirlenmesi.....	12
3.1.3. Titreşim ölçüm yönleri.....	13
3.1.3.1. Tanjantiyal ölçüm.....	14
3.1.3.2. Radyal ölçüm.....	14
3.1.3.3. Eksenel ölçüm.....	14
3.1.4. Titreşim analiziyle arızaların belirlenmesi.....	15
3.1.4.1. Dengesizlik.....	15
3.1.4.2. Yanlış hizalama (Eksenel ayarsızlık)	19
3.1.4.3. Mekanik gevşeklik.....	25
3.1.4.4. Rulman arızaları.....	27
3.1.4.5. Dişli arızaları.....	37
3.2. Yağ Analizi	38
3.3. Termografi.....	39
3.3.1. Elektrik yükü.....	40
3.3.2. Elektrik direnci.....	40
3.3.3. Harmonik etkiler.....	41
3.3.4. Sürtünme.....	41
3.3.5. Elektrik motorlarının muayenesi.....	41
3.3.6. İzolasyon aşınması.....	42
3.4. Ultrasonik Kontrol.....	42
3.4.1. Temel ekipmanlar.....	43
3.4.2. Ultrasonik muayenenin avantaj ve dezavantajları.....	44
3.4.3. Uygulanabilirlik.....	44
3.4.4. Ultrasonik muayene ile ölçümler.....	45

BÖLÜM 4.

KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI.....	47
4.1. Titreşim Analizi.....	47

4.1.1. Titreşim analizi için kullanılan ölçüm cihazı ve ölçüm rondelası.....	47
4.1.2. Ölçüm öncesi yapılması gerekenler.....	49
4.1.3. Titreşim ölçümlerinin alınması.....	61
4.1.4. Titreşim sonuçlarının alınması ve yorumlanması.....	63
4.1.5. Titreşim sonucundan alınması gereken önlemler.....	66
4.2. Termografi.....	67
4.2.1. Termografi uygulamasında kullanılan ölçüm cihazının tanıtılması.....	68
4.2.2. Termografi ölçümlerinin alınması ve sonuçların yorumlanması.....	68
BÖLÜM 5. SONUÇLAR	74
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	: Temas açısı
d	: Bilye çapı
D	: Karşılıklı iki bilye merkezi çapı
f	: Frekans
k	: Permeabilite (geçirgenlik) katsayısı
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
n	: Bilye sayısı
R_0	: Başlangıç okuma değeri
R_{50}	: %50 oturmaya karşı gelen okuma değeri
R_{90}	: %90 oturmaya karşı gelen okuma değeri
R_{100}	: %100 oturmaya karşı gelen okuma değeri
S	: Mil dönüş hızı (dev/s)
T	: Periyot
w	: Açısal frekans
X	: Yer değiştime genliği
Φ	: Faz
BG	: Beygir gücü
BPFI	: İç bilezik bilye geçiş frekansı
BPFO	: Dış bilezik bilye geçiş frekansı
BSF	: Bilye dönüş frekansı
FTF	: Temel referans frekansı
Hz	: Hertz
RPM	: Devir/dakika

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bozulma oranı kuvvet eğrisi.....	4
Şekil 2.2.	Bozulma oranı şematik görünüşü.....	5
Şekil 3.1.	Harmonik titreşim ve parametreleri.....	9
Şekil 3.2.	Makina üzerinden alınan titreşim ölçüm yönleri.....	13
Şekil 3.3.	Yatay motopomp üzerinden alınabilecek altı farklı ölçüm yönü...	14
Şekil 3.4.	Dikey motopomp üzerinden alınabilecek altı farklı ölçüm yönü..	15
Şekil 3.5.	Yanlış hizalama çeşitleri.....	19
Şekil 3.6.	Motor-Pompa arasında yanlış hizalama.....	20
Şekil 3.7.	Paralel yanlış hizalama kuvvet diyagramı.....	22
Şekil 3.8.	Açısal yanlış hizalama kuvvet diyagramı.....	22
Şekil 3.9.	Yanlış hizalamayı gösteren tipik titreşim spektrum grafiği.....	23
Şekil 3.10.	Temel problemi spektrum görünümü.....	26
Şekil 3.11.	Dinamik mekanik gevşeklik spektrum görünümü.....	27
Şekil 3.12.	Bilyeli rulman bileşenleri.....	28
Şekil 3.13.	Dış yüzey sabit iç yüzey hareketli bilyeli rulman geometrisi.....	30
Şekil 3.14.	İç yüzey arızasından kaynaklanan rulman temel arıza frekansı etrafında oluşan yanbantlar.....	34
Şekil 3.15.	Arızalı iç bilezik zaman dalga formu grafiği	34
Şekil 3.16.	Rulmanlardaki mekanik gevşeklik probleminin neden olduğu titreşimin spektrumu.....	35
Şekil 3.17.	Hizası bozulmuş rulman.....	36
Şekil 3.18.	Şematik olarak ultrasonik kontrol yöntemi.....	43
Şekil 4.1.	Titreşim ölçüm cihazının genel görünümleri.....	48
Şekil 4.2.	Ölçüm rondelasının şematik görünüşü.....	48
Şekil 4.3.	Rondelanın fotoğrafı ve ivme algılayıcı ile birlikte görünümü	49
Şekil 4.4.	Makinenin tanımlandığı program görüntüsü.....	50

Şekil 4.5.	Makinenin tanımlanacağı kurulum görüntüsü.....	50
Şekil 4.6.	Sistem ekipmanının seçildiği program görüntüsü.....	51
Şekil 4.7.	Kaplin türünün seçildiği program görüntüsü.....	51
Şekil 4.8.	Motor tanımlamasının yapıldığı program görüntüsü.....	52
Şekil 4.9.	Kaplinleme türünün belirtildiği program görüntüsü.....	53
Şekil 4.10.	Redüktörün seçildiği ekran görüntüsü.....	53
Şekil 4.11.	Motorun tahriklediği sistemin seçildiği program görüntüsü.....	54
Şekil 4.12.	Pompa tipinin seçildiği program görüntüsü.....	54
Şekil 4.13.	Santrifüj pompadaki rulmanların tanımlanması.....	55
Şekil 4.14.	MID işleminin tamamlandığını gösteren program görüntüsü.....	55
Şekil 4.15.	Motorun devrinin girildiği program görüntüsü.....	56
Şekil 4.16.	Makineyi oluşturma seçeneğinin bulunduğu program görüntüsü..	57
Şekil 4.17.	Makinenin isminin verildiği program görüntüsü.....	57
Şekil 4.18.	Titreşim ölçüm yönleri ve barkod numaralarının girildiği program görüntüsü.....	58
Şekil 4.19.	Makine oluşturma işleminin bittiğini gösteren program görüntüsü.....	58
Şekil 4.20.	1 numaralı rulman için tanımlamanın yapıldığı program görüntüsü.....	59
Şekil 4.21.	Rulmanların listeden seçilmesinin program görüntüsü.....	59
Şekil 4.22.	2 numaralı rulman için tanımlamanın yapıldığı program görüntüsü.....	60
Şekil 4.23.	3 numaralı rulman için tanımlamanın yapıldığı program görüntüsü.....	60
Şekil 4.24.	4 numaralı rulman için tanımlamanın yapıldığı program görüntüsü.....	61
Şekil 4.25.	Titreşim ölçüm noktalarının görüntüsü.....	62
Şekil 4.26.	İvme ölçerin ölçüm rondelasına bağlanması.....	62
Şekil 4.27.	Motor tarafı 1 numaralı ölçüm spektrum grafiği.....	63
Şekil 4.28.	Motor tarafı 2 numaralı ölçüm spektrum grafiği.....	63
Şekil 4.29.	Pompa tarafı 3 numaralı ölçüm spektrum grafiği.....	64
Şekil 4.30.	Pompa tarafı 4 numaralı ölçüm spektrum grafiği.....	64
Şekil 4.31.	1 numaralı rulmanın arıza frekansları.....	65

Şekil 4.32.	2 numaralı rulmanın arıza frekansları.....	66
Şekil 4.33.	Uygulamada kullanılan termal kamera.....	68
Şekil 4.34.	Termal kamera ile alınan panelin görüntüsü.....	69
Şekil 4.35.	Program yardımıyla alınan rapor görüntüsü.....	69
Şekil 4.36.	İyileştirme sonrası panelin görüntüsü.....	70
Şekil 4.37.	İyileştirme sonrası alınan rapor görüntüsü.....	71
Şekil 4.38.	Termal kamera ile alınan panelin görüntüsü.....	71
Şekil 4.39.	Program yardımıyla alınan rapor görüntüsü.....	72
Şekil 4.40.	İyileştirme sonrası alınan rapor görüntüsü.....	73

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Makinaların çalışma şartlarını belirleyen tablolar.....	8
Tablo 3.2.	Dengesizlik arızaları gösterge tablosu.....	18
Tablo 3.3.	Dengesizlik ve Yanlış hizalama arasındaki fark tablosu.....	24
Tablo 3.4.	Yanlış hizalama arızaları gösterge tablosu.....	25
Tablo 3.5.	Mekanik gevşeklik arızaları gösterge tablosu.....	27
Tablo 3.6.	Rulmanların temel arıza frekansları tablosu.....	32
Tablo 3.7.	Rulman arızaları gösterge tablosu.....	37

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kestirimci Bakım, Erken Uyarıcı Bakım, Titreşim Analizi, Arıza Teşhisi

Kestirimci bakım, sağladığı güvenilirlik, kalite ve hazır bulunma sayesinde, endüstrideki devrim niteliğindeki gelişmelerden biridir. Metot, makinelerin çalışırken yaydığı ses, titreşim ve ısıdan yola çıkarak, yapılan ölçüm ve gözlemler sonucunda, makinenin durumunun anlık fotoğrafını çeker ve öncekilerle karşılaştırılarak alınması gereken önlemlerin ve yapılacak planlamaların çok geç olmadan yapılabilmesi için mühendislere zaman sağlar. Bu sayede tezgah ve ekipmanlar daima hazır durumda olur ve yüksek verimle çalışır. Kestirimci bakımın sağladığı diğer bir olanak da, beklenmeyen arızaları azaltması ve bakım onarım masraflarını daha düşük seviyelere çekmesidir.

Bu çalışmada bakım onarım teknikleri tanıtılmış, kestirimci bakım metotları anlatılmış ve bazı uygulama örnekleri verilmiştir.

PREDICTIVE MAINTENANCE APPLICATIONS IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

SUMMARY

Key Words: Predictive Maintenance, Vibration Analysis, Fault Diagnosis

Predictive maintenance is one of the revolutionary development with its providing reliability, quality and ready to start condition. This method, take an instant picture of the machine by collecting data like vibration, heat and sound while machine is operating and provides time to the engineer for planning the things to be done and for taking the actions before the machine fails by comparing that picture with the previous ones. In this way, the machine or the equipment always be in stand by position and operates with high efficiency, in addition, the number of unexpected failures minimised, stock and maintenance costs decreased.

In this study, maintenance concepts are introduced, predictive maintenance techniques are being explained and some case studies are given.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Makine bakım yöntemleri son 25 yılda büyük bir gelişme göstermiştir. Yıllar geçtikçe herhangi bir makinanın çalışma performansının analizi, ne zaman bozulabileceğinin kestirilebilmesi büyük önem kazanmıştır. Klasik analiz teknikleri duyu organlarını kullanma esasına dayanır. Bunlar görme, duyma, dokunma, koklama şeklinde bir bozulma ya da durmaya neden olabilecek farklı çalışma durumlarını saptama yoluna dayanmaktadır. Geleneksel olarak kontrol ve bakım personeli görmeye, dokunmaya dayanan yağ kontrolü, titreşim, gürültü gibi semptomları izler ve değerlendirir. Bu gibi yaklaşımlar makinanın arızalı olup olmadığını anlama konusunda fayda sağlayabilir, ancak makina tam olarak bozulana dek sorunun ne olduğu hakkında bize hatasız ve güvenilir bilgi veremez. Kestirimci Bakım yöntemi ise makina hakkındaki gerekli tüm detaylı bilgileri grafiksel olarak vermektedir [1]. Ayrıca gelişen teknoloji ile üretilmiş makinaların eski bakım sistemleri ile serviste tutulabilmeleri düşünülemez. Bakım sistemleri de güncel teknoloji ile paralel olarak gelişmelidir.

Bunların yanısıra ülkemizin kalkınması üretimin arttırılmasına bağlıdır. Ancak ürün başına düşen maliyetin olabildiğince düşük tutulması da üretimin arttırılması kadar önemlidir. Bakım sebebiyle makinaların sık sık durdurulması, birim zamanda alınacak ürün miktarını kısıtlayan en önemli faktörlerden biridir. O halde üretim maliyetini ve bunu doğrudan etkileyen üretimin durma zamanını azaltmak için endüstriyel işletmelerde bakım amacıyla harcanan sürenin en aza indirilmesi gerekmektedir.

Çalışmada çağdaş endüstrilerde uygulanan ileri teknolojik bakım yöntemi olan Kestirimci Bakım üzerinde durulmakla birlikte diğer bakım türlerine de kısaca göz atılacaktır.

BÖLÜM 2. BAKIM YÖNTEMLERİ

Tesislerde uygulanan bakım sistemlerini ayrı ayrı ele almadan önce bakım sisteminin amacının ne olduğuna bir göz atmak gerekmektedir.

2.1. Bakım Sisteminin Amacı

Her hangi bir bakım sisteminin en önemli amacı, makinaların arızalanmalarını minimuma indirmek ve mümkünse tamamen önlemektir. Çok sık meydana gelen önemli arızalar makina üzerinde önemli çevresel zararlara sebep olacak ve onarım maliyetini aşırı derecede artıracaktır. Makinalarda meydana gelen arızaları tamamen ortadan kaldırmak pratik olarak şu an için mümkün olmamakla birlikte bu duruma sistematik bir bakım anlayışıyla yaklaşılabilir [2].

Bakım sisteminin ikinci amacı bakım ihtiyaçlarını önceden tahmin edebilmek ve bu ihtiyaçları tam olarak planlayabilmektir. Eğer bu iki durum gerçekleştirilebilirse yedek parça stoğu minimize edilecek ve arızayı gidermek için fazla zaman harcanmayacaktır. Bu ise bu çalışmanın ana ilkelerinden birini oluşturmaktadır [3].

Bakım sisteminin üçüncü amacı ise çalışma süresinde oluşacak arıza olaylarının azalmasının sebep olacağı ürün artışıdır. Ayrıca kritik makinaların duruş zamanlarını azaltmak vasıtasıyla sistemin çalışma kapasitesini maksimum düzeyde korumaktır. İdeal olan, bütün makinaların bakım yöntemi aracılığı ile çalışma koşullarının bilinmesi ve periyodik olarak belgelenmesidir [4].

2.2. Bakım Sistemleri

İşletmelerde genel olarak üç tür bakım yöntemi uygulanmaktadır. Aşağıda bu bakım türleri kısaca izah edilmiştir.

2.2.1. Arıza sonrası bakım

Bakımdan çok onarım yada değiştirme kelimesiyle daha iyi açıklanabilir. Makine çalışamaz duruma gelinceye kadar çalıştırılır. Bundan sonra da makinanın arıza yapan parçası ya onarılır yada değiştirilir. Bakım ekibi için tam bir belirsizlik durumu vardır. Arızanın belirlenmesi, yedek parçanın temini ve tamir yada değiştirme yönteminin tayini, bakım için gereken sürenin artmasına yol açar. Arıza yapması muhtemel parçalardan yedek olarak bulundurmak zorunludur. Planlanmış üretimin aksamasına sebep olduğu için maliyeti ve üretim miktarını önemli ölçüde etkiler.

Makinaları arıza oluşuncaya kadar çalıştırıp, arızalandığında tamir yoluna gitmeyi esas alan bu sistem bakıma ayıracak kadro ve parası olmayan küçük işletmelerde, çok sayıda yedeği bulunan işletmelerde ve esas olarak henüz işletme planlamasını yapacak teknik düzeye ulaşmamış işletmelerde uygulanan sistemdir. Bu bakım sistemi, işletmelere uzun bir süreden beri hakim olmuş bakımıcılığın en ilkel sistemidir. Arıza sonrası bakım yöntemi, işletmelerde önemi az olan ekipmanların bozulduktan sonra tamir edilmesi felsefesine dayanır. Bu bakım sisteminin masrafı; önceden planlanmadığı, makinaya zarar verdiği ve fazla zaman aldığı için oldukça yüksektir. Bu sistemde bakım ekibinin fonksiyonu, arızalar ortaya çıktıkça onları gidermektir. Bu da bakımın ve bakım bölümünün makina arızaları tarafından kontrol edildiği anlamına gelmektedir.

Arıza sonrası bakım sisteminin en büyük zarar kaynağı ikincil arızalardır. Bu sistemle çalışan işletmelerde ufak bir rulman yüzünden bir motor yanabilir. Ayrıca arızanın ne zaman meydana geleceği bilinmediğinden gerçek bir faaliyet planlaması yapmak mümkün olamaz.

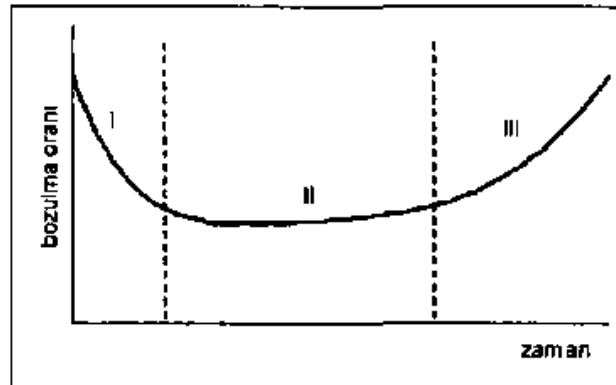
Arıza sonrası bakım sisteminin dezavantajları şu şekilde özetlenebilir;

1. Etkatif bir koruyucu bakım planlamasının yapılamaması,
2. Tamir için gerekli duruşların genellikle uzun olması, dolayısıyla üretim kayıplarının artması,

3. Hasarın ne zaman, hangi ekipmanda meydana geleceği bilinmediğinden gerekli yedek ekipman stoğunun fazla olması,
4. Bu bakım sisteminde bakım maliyetinin yüksek olması,
5. Üretim planının aksaması,
6. Hasara uğrayan parçanın, bağlı olduğu diğer parçalara da etki ederek onları da hasarlı hale getirebilmesi.

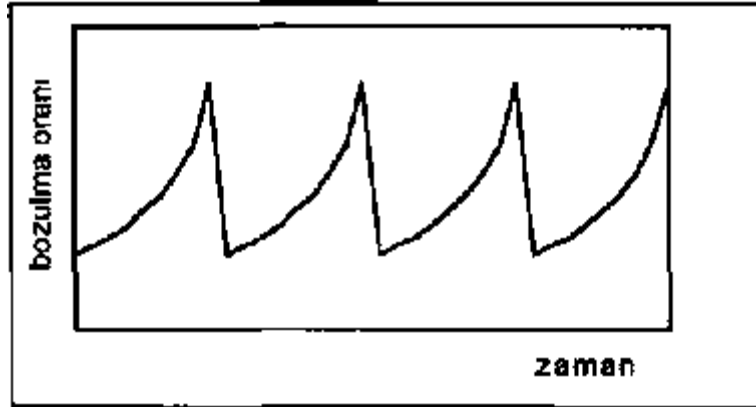
2.2.2. Periyodik koruyucu bakım

Endüstriyel olarak gelişmiş ülkeler, servis sürecinde oluşmaya başlamış, hasara neden olabilecek hataların, basit düzeltici koruyucu bakım önlemleri ile önlenerek, hasar oluşma sürecinin uzatılabileceğini fark etmişler ve buna bağlı olarak periyodik koruyucu bakım adını verdikleri bakım sistemini geliştirmişlerdir. Koruyucu bakım, makinaların imalatçısı tarafından önerilen ve gerekirse çalışma şartlarına göre ayarlanan periyotlarda durdurulup bakımının yapılması işlemidir. Günümüzde ortalama bir zamandan sonra benzer makinaların çoğunun tahmin edilebilecek arızaları sergilediği bilinmektedir. Bu durumda periyodik koruyucu bakımın rolü, istatistiki olarak olması beklenen arızalar çıkmadan önce planlanarak bakımının yapılmasıdır. Bu durum çalışma sırasındaki arıza oranı ile ilgili “küvet eğrisi” olarak adlandırılan grafik ile izah edilmiştir. Bu eğri işletmenin bütün makinalarına uygulanır, eğrinin mantığı iyi şekilde kavranırsa, periyodik koruyucu bakım sistemi işletmeye en iyi şekilde uygulanacaktır [5].



Şekil 2.1. Bozulma Oranı Küvet Eğrisi

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi kuvvet eğrisi üç kısımda bozulmaları göstermektedir. İlk kısımda makine montajı ya da tasarımdan kaynaklanan hatalar oluşmakta, sistem yerine oturdukça zaman içinde bu bozulmalar azalmaktadır (Azalan Bozulma Oranı). Bu süre mekanik sistemler için genellikle çok kısa bir süredir. İkinci kısım eğrinin düz olduğu kısma denk gelir ve şans veya rassal bozulmaları temsil eder (Sabit Bozulma Oranı). Son kısım ise makinanın aşınmaya veya yaşlanmaya başladıktan sonra zaman içinde bozulmaların giderek arttığı kısımdır (Artan Bozulma Oranı). Bir sistem veya makine bu bölgeye geldiğinde koruyucu bakım onarım planlaması yapılarak bozulma oranı fonksiyonunun artışı düşürülmelidir. Bu kavram Şekil 2.2’de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Bozulma Oranı Şematik Görünüşü

Bozulma oranı zaman içinde şekilde görüldüğü gibi artmakta, koruyucu bakım yapıldıktan sonra ise orijinal haline geri dönmektedir [6].

2.2.3. Kestirimci bakım

Kestirimci bakım makinaların çalışırken performansının izlenmesi esasına dayanır. Bu bakım yöntemi bakım teknolojisindeki son gelişmedir. Bu yöntemde makinalar sürekli bir şekilde izlenirler, bu izleme sadece makinaların ne zaman arızalanabileceğini tahmin etmeyi değil aynı zamanda niçin arızalandığını tahmin etme imkanı da verir. Bu bakım teknolojisi makinalar arızalanmadan önce çoğu makina parçalarının bazı uyarı tipleri vermesi gerçeğine dayanmaktadır. Kestirimci

bakım teknolojisinin yararlandığı uyarı tipleri başta titreşim analizi olmak üzere, yağ analizi, sıcaklık analizi, ve ultrasonik testlerdir.

Kestirimci bakım, makinalar üzerinden alınan fiziksel parametre ölçülerinin zaman içindeki eğilimlerini izleyerek, makine sağlığı hakkında geleceğe yönelik bir kestirimde bulunma yöntemidir.

Kestirimci bakım periyodik olarak cihazların izlenmesi ve performansı ile ilgili ölçümlerin alınmasıdır. Bu yolla, problemler makine iyi durumda iken bile önceden tespit edilebilir. Böylelikle bazı parça değişimlerinin makinanın çalışmadığı zamanlara planlamak olası hale gelir. Bu da toplam maliyeti azaltacaktır.

Günümüzde kestirimci bakım yöntemleri teknolojinin gelişmesi ile birlikte daha mümkün hale gelmiştir. Çünkü makinanın kontrolü ve diagnosis çok değişik yöntemlerle başarılabilir. Kritik noktalar devamlı izlenerek muhtemel hatalar önlenebilir ya da tahmin edilebilir. Kestirimci bakımın birçok faydasının olmasının yanısıra teknoloji geliştikçe ve insanlar bu teknolojiyi kullandıkça gittikçe gelişen bir yöntem olduğu açıktır. Koruyucu bakımın bir diğer dalı olan Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance) bir cihazın arıza yapmak üzeremi olduğunu ya da durumunun genel olarak hangi safhada olduğunu belirtmek amacıyla teknik bilgilerin analizini sağlar. Problemler daha pahalı ve büyük arızalara dönüşmeden bir plan ve program dahilinde düzeltilirler.

Kestirimci bakım; denetleme ve izleme yöntemidir. Bu tür bakımda belli aralıklarla yapılan denetimlerle, beklenmedik arızalara karşı belli bir emniyet sağlanır. Bu yöntemde temizleme, yağlama, kullanma talimatlarına uymaya ilave olarak makine ve sistemin ana fonksiyonlarını oluşturan bölümleri kontrol edilir. Bu kontrol ile, makina parçalarında meydana gelen aşınma tespit edilir. Bu suretle ağır ve masraflı arızalar ortaya çıkmadan ve işletmeyi zarara sokmadan (ürün imali gecikmesi vb.) bakım ve onarım yapma imkanı sağlanır.

Kestirimci bakım maliyeti, yıkama, yağlama, temizleme, artıkları toplama, boyama gibi dönemsel işlemlerden veya genel bir gözden geçirme işlemlerinden doğar.

Kestirimci bakımın amacı, arızalar ortaya çıkmadan önce, bazı önlemler alarak arızaları azaltmaktır.

Makinaların problemleri için sürekli izleme, kontrol altında tutma, tespit ve teşhis işleri makine bakımı için en uygun yoldur. Problemler arıza olmadan tespit edilirse makinanın bozulması önlenmiş olur. Problemleri erkenden tespit edebilirsek;

1. Makinanın bakım için duruşu ilerki uygun zamana planlanabilir.
2. Bakım için gerekli işgücü, alet ve yedek parçalar planlanan duruş zamanında kullanıma hazır olur.
3. Makine için çok önemli arızalar minimum düzeye indirilebilir.
4. En önemlisi, iyi durumda çalışmakta olan makinalar gereksiz yere durdurulmamış olur. Bu sayede, harcanan zaman ve maliyet en az düzeyde kalır.

BÖLÜM 3. KESTİRİMCİ BAKIM YÖNTEMLERİ

Çalışmanın bu bölümünde titreşim, ultrasonik testler, termografi ve yağ analizi gibi kestirimci bakım yöntemleri ele alınacaktır.

3.1. Titreşim

Kestirimci bakım metotlarından belkide en yaygın olarak kullanılan olan titreşim analizi, dönel parçaları bulunan her türlü makineye uygulanabildiği ve çok geniş bir problem çözme yelpazesine sahip olduğu için tercih edilmektedir. Çoğu zaman kestirimci bakım denildiğinde akla gelen tek metot olduğundan kestirimci bakımla özdeşleştirilmiştir.

Tablo 3.1. Makinaların çalışma şartlarını belirleyen tablolar [7].

PARAMETRELER	Sıcaklık	Basınç	Sızdırmazlık	Yağ Analizi	Elektrik Akımının İzlenmesi	Titreşim
ARIZA NEDENİ						
Dengesizlik					√	√
Mil Eğilmesi						
Eksen Kaçıklığı	√				√	√
Rulman Arızaları	√			√		√
Kaymalı						
Yatak Arızaları	√	√	√	√		√
Dişli Arızaları				√		√
Mekanik Gevşeklik						√
Elektrik Motoru						
Arızaları	√				√	√
Hidrolik ve Aurodinamik Arızalar		√				√

Yukarıdaki tablodan da anlaşılacağı üzere uyarıcı bakım sisteminde en etkili parametre titreşimdir.

3.1.1. Titreşim parametreleri

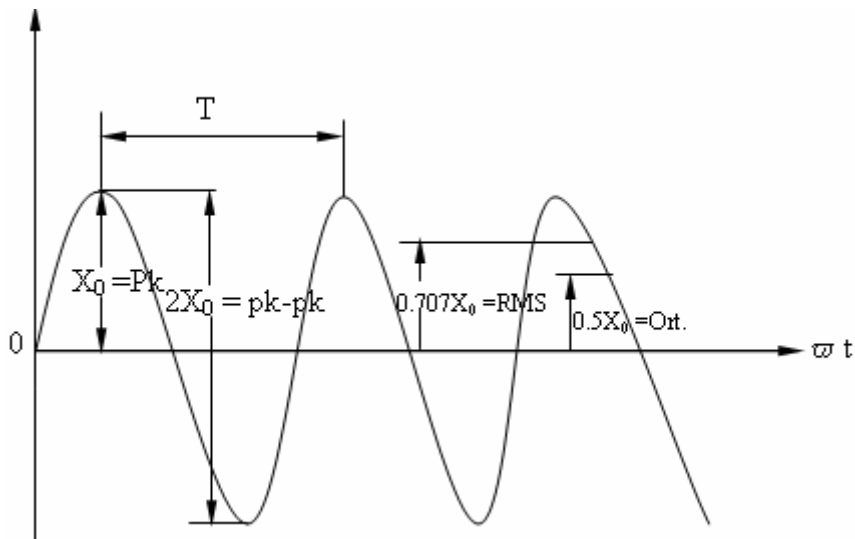
Çalışmanın bu bölümünde, titreşim analizinde kullanılan titreşimle ilgili terimler ve titreşim parametreleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

En basit titreşim çesidi harmonik titreşimdir. Harmonik titreşimde yer değiştirme ile zaman arasındaki ilişki şu ifade ile belirtilebilir;

$$X = X_0 \sin(\omega t) \quad (3.1)$$

Burada X_0 yer değiştirme genliğidir. Harmonik titreşim ve parametrelerin gösterimi Şekil 3.1'de verilmektedir. Titreşim hareketinde titreşimi belirleyen başlıca parametreler periyot (T), frekans (f), açısal frekans (ω), faz (Φ) ve yer değiştirme genliği (X) dir.

3.1.1.1. Periyot



Şekil 3.1. Harmonik titreşim ve parametreleri

Titresim hareketinin bir tam tekrarının ne kadar süre içinde gerçekleştiğinin ölçüsüdür. Yani titresimin tekrarlanma süresi olup, birimi saniyedir.

3.1.1.2. Frekans

Titreşim hareketinin birim zamanda tekrarlanma sayısıdır. Frekans iki değişik şekilde ifade edilebilmektedir. Titreşim hareketinin bir saniye süre içinde tekrarlanma miktarını gösteren birim Hertz (Hz)'dir. Titreşim hareketinin bir dakika süre içinde tekrarlanma miktarını gösteren birim ise RPM (devir / dakika)'dir. $RPM/60 = Hz$ olarak dönüşüm yapılabilir.

Titreşim sinyalinin, o sinyale neden olan birincil hareketin dönme devrinin hangi katlarında meydana geldiğinin ölçüsüdür. Birimi kat olan bu bağıl hareket, titreşimin ölçüldüğü yatak içinde dönen milin dönüş devri katları ile, titreşim sinyalinin tekrarlanma frekanslarının çakışıp çakışmadıklarını ifade eder. Örnek olarak, dengesizlik sinyali milin dönme devrinin tam bir katında oluşur. Periyot ile frekans birbirlerinin tersi olan terimlerdir. Buna göre $f = 1/T$ ve $T = 1/f$ olarak alınır.

3.1.1.3. Açısal frekans

Dönme hareketi yapan bir cismin birim zamanda kat ettiği yolun (taradığı açının) radyan cinsinden değeridir. Birimi rad / s dir, $w = 2\pi f$ ile ifade edilir.

3.1.1.4. Faz

Referans ya da başlangıç miktarına bağlı olarak iki olaydan birinin diğerine göre ne kadar önce veya sonra meydana geldiğinin ölçüsüdür. Birimi açı birimi, derece veya radyandır. $0 - 360^0$ veya $0 - 2\pi$ arasında değerler alır.

3.1.1.5. Genlik

Titresimin siddetini ifade eder. Eğri üzerindeki sıfır noktası ile tepe noktası arasındaki veya maksimum ve minimum tepe noktaları arasındaki mesafedir. Birimi

uzunluk boyutundadır. Genlik tepe değeri, tepeler arası değeri, RMS, ortalama olmak üzere dört şekilde ifade edilebilir.

Tepe değeri (X_0): Sıfır noktasından tepe noktaya olan uzaklık, sinyalin bir yönde eriştiği maksimum değerdir.

Tepeler arası değeri ($2X_0$): Sinyalin maksimum tepeden minimum tepeye kadar aldığı değerdir.

RMS: Bir sinyalin $t_1 - t_2$ zaman aralığında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının kareködür. $RMS = 0,707x$ Tepe değeri ifadesi olarak hesaplanır ve RMS ile Tepe değeri arasında dönüşüm yapılabilir.

Ortalama: Bir sinyalin $t_1 - t_2$ zaman aralığında aldığı değerlerin aritmetik ortalamasıdır. $Ortalama = 0,5x$ Tepe değeri ifadesi ile elde edilir. Titresim genlik birimleri yer değiştirme, hız ve ivme birimlerinden birisi olabilir.

3.1.1.6. Yer değiştirme

Bir kuvvetin etkisi altında kalan kütlelerin, sıfır noktasına veya belli bir referans noktasına göre ötelenmesi sonucunda aldığı yol veya yer değiştirme miktarıdır. Birimi uzunluk boyutundadır.

3.1.1.7. İvme

Hızda birim zamanda meydana gelen değişimdir. Birimi g , m/s^2 , mm/s^2 , $mikron/s^2$, $inç/s^2$ olabilir. $g = 9,81m/s^2$ dir.

3.1.1.8. Rezonans ve kritik hız

Rezonans, bir cismin doğal frekansında uyarılması durumunda ortaya çıkan durumdur. Her cismin doğal frekansı vardır. Şayet cisim doğal frekansında uyarılırsa,

cisim çok düşük bir uyarı düzeyiyle çok yüksek titreşim seviyelerinde titreşir ve cisim tamamen tahrip olabilir. Makine elemanları, farklı çalışma hızlarında farklı frekanslar üretirler. Bu çalışma frekanslarının makine elemanına ait doğal frekanslarla çakışması durumunda makine elemanını tahrip edebilecek seviyelerde rezonans frekansları oluşabilmektedir. Rezonansa sebebiyet veren bu çalışma hızlarına kritik hız denir ve makine elemanı mümkün olduğu kadar bu hızlarda çalıştırılmamalıdır.

3.1.2. Titreşim ölçüm noktalarının belirlenmesi

Kestirimci bakım yöntemine geçişte en önemli aşamalardan birisi; motopompların titreşim analizinde titreşim ölçüm noktalarının ve ölçüm yönlerinin belirlenmesidir. Her hangi bir motopomp üzerinden titreşim ölçümü yapılmadan önce o motopomp üzerinde en iyi ölçümün nereden yapılacağı tespit edilmelidir. Motopomplar üzerinden titreşim ölçümü yapmadan önce ölçüm noktalarının belirlenmesi hem analiz için en iyi data toplama noktalarının belirlenmesinde hem de potansiyel titreşim kaynağının tanımlanmasında bize yardımcı olacaktır. Titreşim ölçümü için belirlenen noktaya algılayıcı montaj yastığı ölçüm yönü belirlenerek yapıştırılmalıdır. Belirlenen bu ölçüm yönleri titreşim analizi için büyük öneme sahiptir [8].

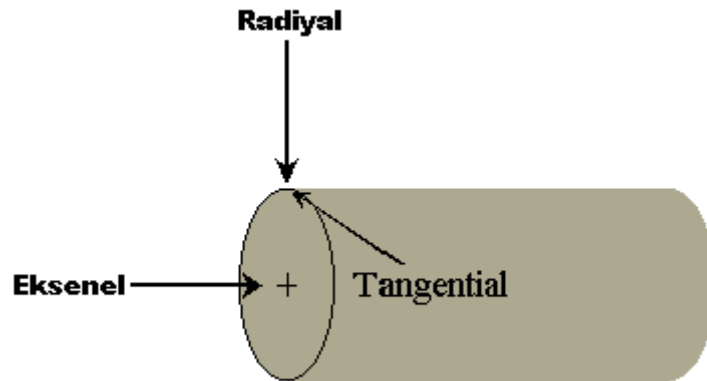
Kestirimci bakım kapsamına alınan motopomplarda öncelikle yapılması gerekli işlerden birisi de ölçüm yapılacak motopomplar üzerinde ölçüm noktalarının belirlenmesidir. Bunun için motopomplarda ölçüm noktası olarak yataklama noktalarına en yakın noktalar seçilmelidir. Titreşim enerjisi için zayıf iletken olan ince metal yatak başlıklarından kaçınılmalıdır. Mümkünse ölçüm noktaları olarak metal metale eklenmemiş olan bölgeler seçilmelidir. Ayrıca boyalı yüzeylerden, yüksüz rulman alanlarından, yarık veya çatlak yataklardan ve yapısal boşluklardan kaçınılmalıdır. Pompalarda ölçüm noktası her bir yatak için ayrı ayrı belirlenmelidir. Elektrik motorları için ise; 50 BG'den düşük motorlar için bir test noktası belirlemek yeterli olabilirken, 50 BG'nin üzerindeki motorlarda her yatak için ayrı bir test noktası belirlenmelidir.

Ayrıca yataklama noktaları özel muhafaza içerisine alınmamışlar ve motor gücü 50 BG'nin üzerinde ise yataklamalar içinde ölçüm noktaları belirlenmelidir. Pompalarda da yataklar üzerinde ölçüm noktaları doğru bir şekilde belirlenmelidir [9].

Kestirimci bakım yönteminin en iyi ve en başarılı bir şekilde uygulanması için gerekli olan en önemli husus ölçüm noktalarının belirlenerek yapılacak olan bütün ölçümlerin aynı noktadan alınmasını sağlamaktır. Eğer ölçümler aynı noktadan alınmazlar ise titreşim grafiklerinin analizleri ve titreşim eğilim eğrileri bizi yanlış yönlendirebilir.

3.1.3. Titreşim ölçüm yönleri

Kestirimci bakım uygulanmasında titreşim ölçümlerinin her zaman aynı nokta ve yönlerde alınması motopomplardan alınan titreşim datalarının karşılaştırma amaçlı olarak saklanması ve motopompların eğilim eğrilerinin izlenmesi açısından oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle elle tutularak titreşim ölçümü yapılan algılayıcılar bakım uygulamalarında tavsiye edilmezler. Motopompların problemlerinin belirlenmesinde, her bir ölçüm noktasında üç yönde titreşim değerlerine sahip olmak son derece önemlidir. Bu yönler aksenel, radyal ve tanjantiyal yönlerdir. Aksenel yön makina miline paralel, radyal yön algılayıcıdan şaft merkezine doğru ve tanjantiyal yön ise radyal yöne diktir.



Şekil 3.2. Makina üzerinden alınan titreşim ölçüm yönleri

3.1.3.1. Tanjantiyal ölçüm

Tanjantiyal titreşim tipik olarak motopompun yatay yöndeki esnekliği nedeniyle oluşur. Aynı zamanda mekanik dengesizlik motopomplarda sıkça rastlanan bir bozukluktur. Bu durum radyal yönde titreşim olarak kendisini gösterir. Ancak motopomplar yatay düzlemde daha esnek olduğu için tanjantiyal yönde yüksek titreşim mekanik dengesizliğin iyi bir göstergesidir [10].

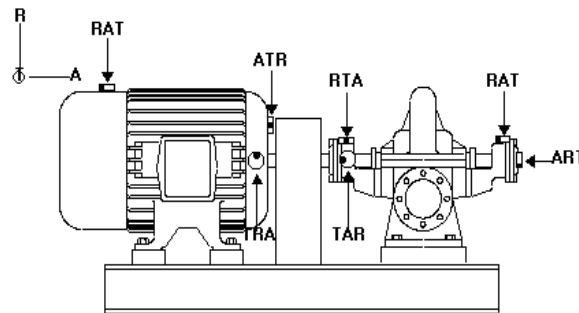
3.1.3.2. Radyal ölçüm

Radyal ölçümler yerçekimi ivmesi ve yere sabitleme nedeniyle tanjantiyal ölçümlere kıyasla daha düşük genlikli olurlar. Radyal yöndeki yüksek titreşim motopomp gövdesinin zemine bağlantısında gevşeklik olduğunun göstergesidir.

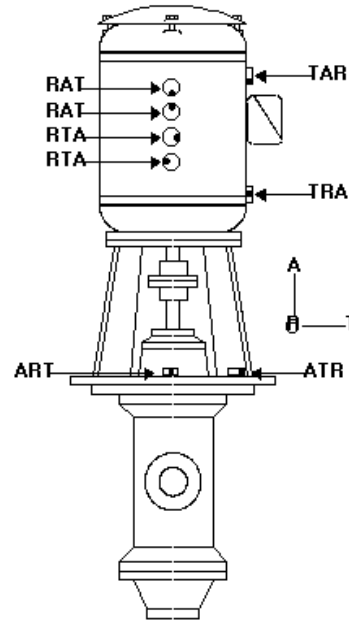
3.1.3.3. Eksenel ölçüm

İdeal koşullarda eksenel ölçümlerin kuvvetlerin çoğu mile radyal etkidiğinden çok düşük genlikli titreşim göstermesi beklenir. Öte yandan eksen kaçıklığı ya da eğilmiş mil, kaplin ayarsızlığı gibi problemler eksenel titreşime neden olmaktadır.

Yukarıdaki tanımlamalar yatay montaj edilmiş motopomp uygulamaları için verilmiştir. Dikey montaj edilmiş motopomplarda yönler motopomp konumuna göre yeniden uyarlanmalıdır. Motopomplar üzerindeki bu ölçüm yönleri dikey ve yatay motopomplar için Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te detaylı bir şekilde verilmiştir. Burada R: radyal, T: tanjantiyal ve A: eksenel yönleri göstermektedir.



Şekil 3.3. Yatay motopomp üzerinden alınabilecek altı farklı ölçüm yönü



Şekil 3.4. Dikey motopomp üzerinden alınabilecek altı farklı ölçüm yönü

3.1.4. Titreşim analiziyle arızaların belirlenmesi

Arızalar belirli frekanslarda titreşim üretirler. Bu frekansların bilinmesi sayesinde makinelerden elde edilen titreşim frekanslarında hangi arızaların katkısı olduğu belirlenebilir. Dolayısıyla makinedeki arıza da bu yolla tespit edilebilir. Dengesizlik, eksen kaçıklığı, gevşeklik gibi problemler için devir sayısının katlarına bağlı olan frekans bilgileri kurallaştırılmıştır. Dişli ve rulman arızaları için ise diş sayısına, mil devrine ve rulman geometrisine bağlı olan frekans bilgileri kurallaştırılmıştır. Dişli ve rulman arızaları için ise diş sayısına, mil devrine ve rulman geometrisine bağlı olan arıza frekansları hesaplanmaktadır.

3.1.4.1. Dengesizlik

Döner makinalardaki dengesizliğin başlıca nedenleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır [11].

1. Pompa fanındaki gözeneklilik,
2. Metaryalin uygun olmayan yoğunluğu,
3. İmalat hataları,

4. Pompa fanlarındaki istenmeyen erozyon ve korozyonlar
5. Civataların değiştirilmesi,
6. Kaplin ayarsızlığı,
7. Elektrik motorunun rotor kol veya kanatlarındaki uygunsuz kütle dağılımı,
8. Eksik dengeleme ağırlıkları,
9. Eğilmiş şaft mili,

Dengesiz bir makinada aşağıdaki durumlar göze çarparlar;

1. Gürültü,
2. Sürtünmesiz rulmanlarda hız harmonikleri veya kaymalı yataklarda yüksek genlikli harmonikler,
3. Geniş bant gürültüsü,
4. Herhangi bir çarpma formu veya genlik geçişleri,

Dengesizlik, doğrusal bir problemdir. Eğer bir rotor dengesizse, 360 derecelik devir boyunca aynı miktarda dengesizliğe sahip olacaktır. Zaman tanım bölgesindeki her bir devir aynı genliğe sahip olacak, aynı zamanda zaman sinyalinin görüntüsü sinusoidal bir yapıya sahip olacaktır [12]. Dengesizlik statik ve dinamik olmak üzere iki şekilde karşımıza çıkabilir. Statik dengesizlik durumunda 1X frekansında yatak üzerine merkezkaç kuvveti uygulanır. Buradaki 1X kuvveti rotor hızının karesi ile doğru orantılıdır. Bunun sonucu olarak yüksek hızlarda çalışan makinalar, düşük hızda çalışan makinalara göre daha fazla mutlak dengeye gereksinim duyarlar. Makinalardaki dengesizlik kuvvetleri her zaman rulmanlarda, tanjantiyal ve radyal 1X bileşenleri arasında 90 derece faz farkı olacak şekilde, titreşime sebep olurlar. Bu dengesizliğin kati testidir ve yanlış hizalamadan kaynaklanan dengesizliği tespit etmede ve titreşim grafiklerini analiz etmede kullanılır.

Titreşim analizinde, dengesizlik her zaman 1XRPM de yüksek titreşim genlikleri oluştururlar. Dengesizlik şiddetli ise, çalışma hızı gibi genliklerde dengesizlikle birlikte frekans spektrumunda kendini gösterir. Bununla birlikte diğer belli başlı arızalarda 1XRPM de titreşim genliklerine sebep olabilirler. Bu bileşik göstergeler bazen dengesizliğin testini zorlaştırabilir, fakat 1XRPM frekansında titreşim genliği

görülmeksizin dengesizliğin varlığından söz edilemez. Eğer frekans spektrumunda 1XRPM varsa dengesizlik muhtemel nedenlerin başında yer alacaktır.

Rotorlardaki dengesizlik tespiti yapılırken titreşim grafikleri rotordaki her iki yatak üzerinden de alınmalıdır. Rotordaki statik dengesizlik her iki yatak üzerinde 1XRPM tepeleri oluşturacak ve bu tepeler her iki yatakta da aynı yönde olacaktır. Yataklardaki 1X tepelerinin izafi seviyeleri rotor üzerinde dengesizliği meydana getiren kütlelerin yerine bağlı olarak değişir [13]. Dengesizlik frekans spektrumu 1XRPM tepe noktasına sahip olacaktır. Statik dengesizliğin giderilmesi için rotor ağırlık merkezinin bir bölgesine yalnız bir denge ağırlığı konularak dengesizlik giderilebilir.

Dengesizlik çifti olan bir rotor statik dengede olabilir. Fakat rotor üzerinde karşılıklı oluşmuş olan denge bozucu etken dönme esnasında yataklarda zıt yönlerde merkezkaç kuvveti oluşturacaktır. Bu tip bir dengesizlik durumunda titreşim spektrumuna 1X tepeleri hakim olacaktır. 2XRPM ve 3XRPM de okunan titreşim genliği değerleri 1XRPM genliğine göre daha düşüktür. Titreşim tepelerinin genliği hızın karesi ile artacaktır. Çift dengesizlik radyal yönde olduğu gibi aksel yönde de düşük titreşimlere sebep olacaktır. Bu tip dengesizliği gidermek için rotor üzerinde en az iki noktaya denge ağırlığı yerleştirilmelidir [14]. Titreşim spektrumları analiz edilir iken radyal ve tanjantiyal yönde dengesizlikleri gösteren titreşim tepe noktaları karşılaştırılmalıdır. Radyal yöndeki titreşim tepe noktaları tanjantiyal yöndeki titreşim tepelerine göre daha büyük genliğe sahip olacaktır. Bu iki yöndeki dengesizlik göstergesi olan tepeler bir birlerine ne kadar yakın ise dengesizliğin şiddeti o kadar fazladır. Aksel yöndeki titreşim tepeleri ise oldukça düşük genliğe sahip olacaktır. Radyal ve tanjantiyal bileşenlerin izafi genliklerini etkileyen diğer faktörler çalışma hızının yakınlığı ve onun katlarından birinin doğal frekansı olmasıdır [15].

Dengesizlik şiddeti titreşim seviyesine olduğu gibi makinanın çeşidine ve boyutuna da bağlıdır. 1X de ölçülen titreşim seviyeleri, dengesizliğin miktarına olduğu gibi, makinanın montajındaki sertliğe de bağlıdır. Aynı dengesizlik miktarı için esnek montajlı makinaların 1X leri, sert bir şekilde rijit monte edilmiş makinalarınkinden

daha yüksek olurlar. Bununla birlikte makinaların ebatları da izin verilen 1X seviyesini etkiler.

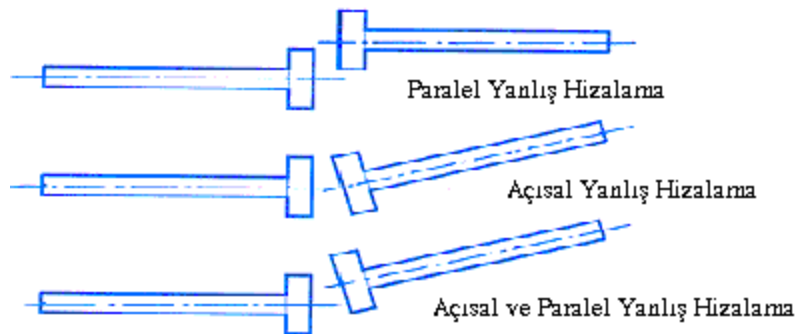
Bu noktada şu belirtilmelidir ki dikey montaj edilmiş olan motopompların titreşim analizinde şu konuya özen gösterilmelidir. Motor serbest tarafı her hangi bir yere monte edilmediğinden 1X titreşimlerinin sebebi motor serbest tarafının her hangi bir yer montaj edilmemiş olmasıdır. Motorun dengesizliğini tespit ederken, pompanın dengesizliğinden motorun dengesizliğini izole etmek için önce kaplini çıkarıp motoru yalnız başına çalıştırarak 1X ölçümleri yapılmalıdır. Bu durumda da motor serbest tarafı 1X seviyeleri yüksek ise problem motorda, aksi takdirde problem pompadır [16].

Tablo 3.2. Dengesizlik arızaları gösterge tablosu

Titreşim Kaynağı	Baskın Titreşim Frekansı	ölçüm yönü
Dengesizlik	<ul style="list-style-type: none"> •Radyal ve tanjantiyal 1XRPM de titreşim tepeleri, 2XRPM ve 3XRPM de düşük genlikli titreşim tepeleri ve düşük aksel titreşim. •Zaman sinyali görünümü sinusoidal bir yapıdadır. •Her iki yatak üzerinde 1XRPM tepeleri aynı yönde oluşmalıdır. •Radyal yöndeki 1XRPM tepeleri > tanjantiyal yöndeki 1XRPM tepeleri, •Her iki yatakta da; <ul style="list-style-type: none"> •Tanjantiyal – tanjantiyal, düşey – düşey arasındaki faz farkı 0^0 civarında ise statik dengesizlik, •Tanjantiyal – tanjantiyal, düşey – düşey arasındaki faz farkı 180^0 civarında ise eş kuvvet çifti dengesizliği, •Yaklaşık dengesizlik değerleri; <ul style="list-style-type: none"> 1XRPM radyal >4 mm/sn 1XRPM tanjantiyal >3 mm/sn Düşük aksel değer, Radyal ve tanjantiyal arasındaki oran 0,25 den büyük ve 4 den küçük ise dengesizlik mevcuttur. 	<p>Radyal</p> <p>Tanjantiyal</p> <p>Eksenel</p>

3.1.4.2. Yanlış hizalama (Eksenel ayarsızlık)

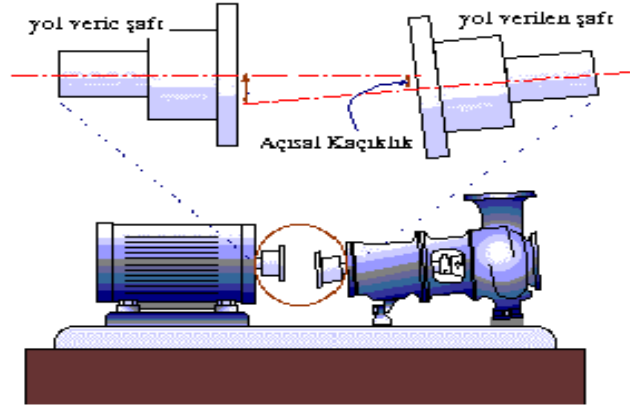
Yanlış hizalama dönen iki veya daha fazla makina şaftının merkez eksenlerinin bir birlerine göre aynı ekseninde olmadığı zaman ortaya çıkan bir durumdur. Bu durum pratikte üç ayrı durumda ifade edilir. Şaft eksenleri paralel fakat birbirleriyle çakışmamışlar ise bu durumda ortaya çıkan hizasızlık paralel hizasızlık olarak adlandırılır. Şaft eksenleri aynı noktada çakışıyor fakat şaft eksenleri paralel değillerse bu tür hizasızlıklar ise açısız hizasızlık olarak adlandırılır. Diğer bir hizasızlık durumu ise bu iki hizasızlığın birleşiminden oluşan hizasızlıklardır. Şaftlarla ilişkili olmayan fakat titreşim spektrum görünümü yanlış hizalama spektrum grafikleri ile aynı olan diğer bir hizasızlık durumu rulmanların montaj sırasında yanlış hizalanmasıdır. Şaft eksen çizgileri iyi bir şekilde hizalanmış olabilir, fakat şaftın bağılı olduğu rulmanlar yanlış hizalanmışlar ise bu durumda makina üzerinde titreşim oluşturur [17].



Şekil 3.5. Yanlış hizalama çeşitleri

Yanlış hizalama ekipmanlar normal işletme şartlarında çalışıyor iken güç iletim noktalarında ölçülen dönme eksenlerinden izafi şaft pozisyonunun sapmasıdır. Burada izafi şaft pozisyonunun sapması; bir şaftın gerçek dönme merkezi ve diğer şaftın hesaplanan dönme merkezi arasındaki ölçüm farkını ifade eder. Şekil 3.6'da tipik bir motor - pompa arasındaki yanlış hizalama durumu görülmektedir. Dönel makinalarda (örneğin elektrik motoru ve pompa) tahrik eden makinanın (motor) çıkış şaftını tahrik edilen makinanın (pompa) giriş şaftına kusursuz bir şekilde hizalamak imkansız olduğundan, yanlış hizalamayı düzeltmek için esnek kaplinler

bulunmaktadır. Kaplinler ne kadar yanlış hizalanırlarsa, kaplinler üzerinde o kadar gerilme oluşacaktır. Oluşan bu gerilmeler motor ve pompa üzerinde yüksek seviyelerde titreşim oluşturacaklardır [18].



Şekil 3.6. Motor-Pompa arasında yanlış hizalama

Hem paralel hem de açısal yanlış hizalamayı kabul edecek esnek kaplinleme için, esneyebilme özelliğine sahip veya yanlış hizalamayı giderebilen en az iki kaplin olmalıdır. Yanlış hizalama sonucu oluşacak radyal ve tanjantiyal yükler shafttan shafta iletilirken dönel makina millerini deforme edecektir. Yukarıdaki şekilde pompa shaftı motor kaplin tarafı rulmanı üzerine radyal bir kuvvet uygulayacaktır. Böylece dönme merkezi etrafında motor shaftını kırmaya zorlayacaktır. Bunun tam tersi olarak motor shaftı ise pompa kaplin tarafı rulmanı üzerinde yukarıya doğru bir kuvvet uygulayacaktır. Bu kuvvet ise dönme merkezi etrafında pompa shaftını kırmaya çalışacaktır [19].

Makinalardaki (motor ve pompa) yanlış hizalamanın sebepleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

1. Parçaların hatalı montaj edilmesi,
2. Parçaların izafi pozisyonlarının montaj sonrası yer değiştirmesi,
3. Boru bağlantılarının sebep olduğu eğme kuvvetlerinden kaynaklanan motor ve pompadaki bozulmalar,
4. Burulma nedeni ile esnek desteklerin bozulması,

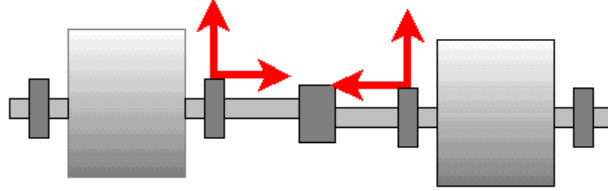
5. Sıcaklık artışı ile makina yapısındaki genleşme,
6. Kaplin yan yüzeylerinin şaft eksenine dik olmaması,
7. Zayıf temel

Yanlış hizalamanın tespit edilmesi: Yanlış hizalama çalışma hızının harmonik serileri olarak frekans tanım bölgesinde (spektrum grafiklerinde) görülürler. Bu harmonikler şafttaki gerilmenin nedeni olarak ortaya çıkarlar. Titreşim genlikleri daima çalışma hızı ve/veya çalışma hızının iki katı titreşim frekansı bileşeninde (1X ve 2X) görülmeyebilir. Titreşim spektrumları, belli şartlar altında ve makina üzerine bağlanan esnek kaplin tiplerine bağlı olarak benzer yanlış hizalama durumları altında farklı olabilirler. Titreşim spektrumlarından faydalanarak yanlış hizalamayı tespit edebilmek için şu noktalara dikkat etmek gerekmektedir;

1. Aşırı titreşim genliği ile yanlış hizalama miktarı arasında doğrusal bir ilişki yoktur (Yanlış hizalama artıyor iken, titreşim azalabilir.).
2. Dönen makina parçalarını yeniden hizaladıktan sonra titreşim seviyesinin artması muhtemeldir.
3. Eğer titreşim tepelerinin çoğu çalışma hızının katlarında oluşuyor ise, faz açısı ilişkisine bakılmaz [20].

Paralel yanlış hizalama: Paralel yanlış hizalama her bir şaftın birleşme noktalarında hem kesme kuvveti hem de eğilme momenti oluşturur. Kaplinin her iki tarafında bulunan rulmanlar üzerinde radyal ve tanjantiyal yönlerde 1X gibi 2X'te de yüksek seviyede titreşim üretirler. Paralel yanlış hizalamadan kaynaklanan titreşimin oluşturacağı titreşim spektrumunda 2X bileşeni 1X genlik bileşeninden daha yüksek olacaktır. Fakat 2X'in 1X ile olan ilişkisi çoğunlukla kaplin tipi ve imalatına bağlı olarak ortaya çıkar. Eksenel 1X ve 2X seviyeleri sadece paralel eksen kaçaklığı için daha düşük olacaktır. Açısal ya da paralel yanlış hizalama ayrı olduğu zaman, ya çok yüksek harmoniklerde (4X-8X) yüksek genlikli tepeler ortaya çıkar, ya da yaklaşık olarak mekanik gevşekliktekine benzeyen yüksek frekans harmoniklerinin toplam serisi ortaya çıkar [21].

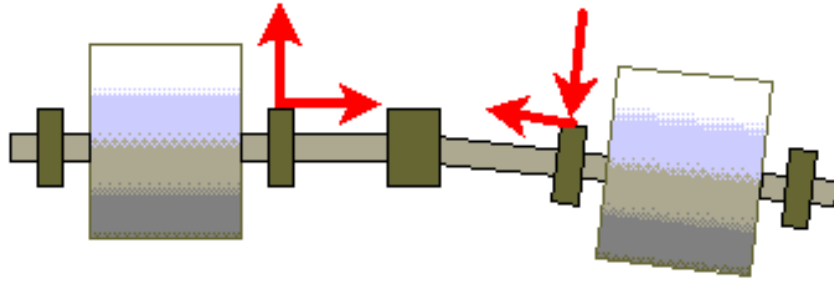
Eğer makinaların hızı değiştirilebiliyor ise, balanssızlıktan kaynaklanan titreşim hızın karesi olarak değişecektir. Makinanın hızı iki katına çıkarılırsa, yanlış hizalamanın sebep olduğu titreşim genliği değişmeyecek, fakat dengesizliğin sebep olduğu titreşim genlik değeri hızın dört katına yükselecektir.



Şekil 3.7. Paralel yanlış hizalama kuvvet diyagramı

Açısal yanlış hizalama: Açısal yanlış hizalama her bir şaft üzerinde eğilme momenti oluşturur. Ayrıca her iki rulmanda 1X'te güçlü bir titreşim ve 2X'te daha düşük genlikte titreşim oluşturur.

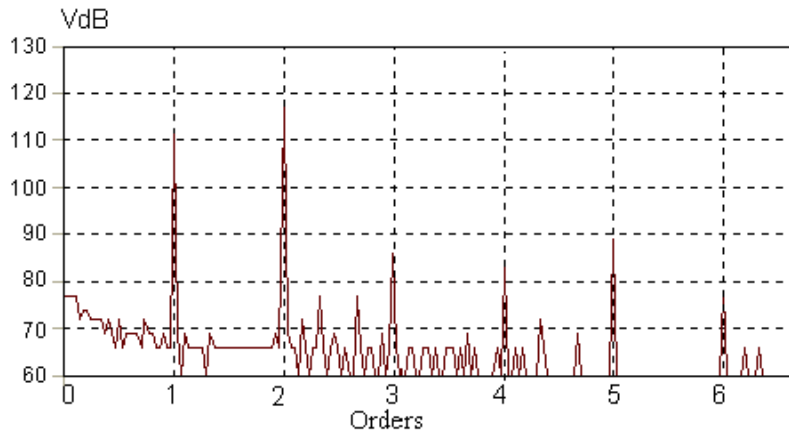
Radyal ve/veya tanjantiyal 1X ve 2X genlik seviyeleri aynı fazda oldukça güçlü tepeler oluşturur. Yanlış hizalanmış kaplinler şaftların diğer uçlarındaki rulmanlarda da oldukça güçlü eksenel 1X tepeleri üretecektir.



Şekil 3.8. Açısal yanlış hizalama kuvvet diyagramı

Genel yanlış hizalama: Çoğu zaman karşımıza çıkan yanlış hizalama yukarıda tanımlanan iki ayrı hizasızlık tipinin kombinasyonudur. Her iki durumun bir arada olduğu hizasızlık durumları ise pratikte karşımıza en çok çıkan bir durumdur. Motor ve pompanın kaplin ayarsızlığı artırıldığında ilk etki motor ve pompa rulmanlarındaki radyal yükler hızlı bir şekilde artmaktadır. Çalışma şartlarında şaft merkez eksen çizgisinin iyi bir şekilde hizalanması için en önemli sebeplerden biri

radyal rulman yüklerini minimuma indirmektedir. Radyal rulman yüklerindeki artış takip edildiğinde 1X titreşim tepelerinin arttığı, 2X den 6X'e kadar ise harmoniklerin oluştuğu tespit edilmiştir. Bazı durumlarda yanlış hizalama radyal yönde harmonikleri olmayan yüksek 1X titreşimlerine de sebep olur. Bazı durumlarda ise yanlış hizalama 1X'de düşük titreşim genliklerine fakat 2X'te yüksek titreşim genliklerine (2X den 6X'e kadar harmonikleri olan) sebep olurlar. Aşağıda yanlış hizasızlığı gösteren tipik bir titreşim spektrum grafiği görülmektedir.



Şekil 3.9. Yanlış hizalamayı gösteren tipik titreşim spektrum grafiği

Titreşim spektrumlarında genlik ve fazın değişik bileşenlerin çok farklı sinyallere sebep olabileceği için, spektrum analizinde şu noktalara dikkat edilmelidir;

1. Hızın ilk üç harmonikleri farklı olabilir. İkinci harmoniğin genliği birinci ve üçüncüden daha yüksek olursa, şaftlardan birisi eğik olabilir.
2. Zaman sinyali zaman ekseninin bir tarafında hızlı bir yükselme ve her bir çevrimde iki kez pozitif giden pikler içerir. Bunun sebebi kaplin, şaftı her bir devirde eğilmeye zorlaması ve serbest bırakmasıdır. Kaplin, şaftı eğmeye zorluyorken üçüncü harmonik oluşur. Kaplin şaftı serbest bırakıyor iken zaman eksenindeki pozitif yükselmeler oluşur.
3. Zaman sinyali, sinyaller aynı fazda olduğu için, normal olarak negatif kenarda kesilir.

4. Herbir yarım dönme için zaman periyodu eşit olmayabilir. Birim hızları kaplin eğilmede olduğu zaman azalır ve kaplin serbest durumda olduğu zaman artar [22].

Titreşim spektrumları analizi yöntemi ile yanlış hizalama tespitinde karşılaşılan en büyük problemlerden birisi ise; yanlış hizalamadan kaynaklanan titreşimleri dengesizlik olarak analiz etmektir. Yalnız genliklere bakmak dengesizlik ve yanlış hizalama arasındaki farkı ayırmayı zorlaştırır. Bazı mekanik gevşeklikler veya aşırı boşluklu dengesizlik durumu yüksek 1X ve birkaç harmoniğini doğurur ve normal olarak “klasik mekanik gevşeklik modeli” olarak adlandırılır. Bununla birlikte, yanlış hizalanmış şaftlar ise klasik mekanik gevşeklik modeli gibi yaklaşık benzer bir model doğurabilir. Titreşimin iki temel nedenini oluşturan dengesizlik ve yanlış hizalamayı titreşim grafiklerine bakarak bir birinden ayırmak için gerekli bilgiler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.3. Dengesizlik ve Yanlış hizalama arasındaki fark tablosu [23].

Dengesizlik	Yanlış Hizalama
<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek 1X genliği • Düşük eksenel genlikler, • Aynı fazda, • Sıcaklıktan bağımsız, • Santrifüj kuvvetten dolayı hıza bağımlı, 1X deki titreşim genliği hızın karesi olarak artar , 	<ul style="list-style-type: none"> • 1X genliğinin yüksek harmonikleri • Yüksek eksenel genlikler, • 180⁰ faz farkına sahip, • Sıcaklığa bağlı, Bu yüzden sıcaklık arttığı zaman titreşim de artar, • Hız değişimine daha az duyarlı, yanlış hizalamadan kaynaklanan kuvvetler hızla orantılı artar,

Ayrıca titreşim spektrumlarının analizi yapılması sırasında radyal–tanjantiyal yöndeki genlikler arasındaki oran yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 3.4. Yanlış hizalama arızaları gösterge tablosu

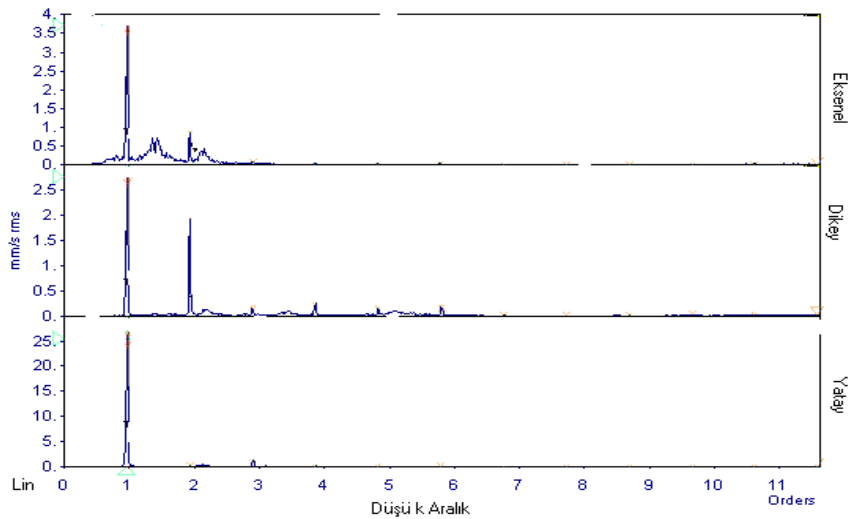
Titreşim Kaynağı	Baskın Titreşim Frekansı	Ölçüm yönü
Paralel Yanlış Hizalama	<ul style="list-style-type: none"> •Tanjantiyal ve radyal yönlerde yüksek 1X ve 2X Tepeleri •$2XRPM > 1XRPM$ •Eksenel $1XRPM$ ve $2XRPM < Radyal 1XRPM$ ve $2XRPM$ 	Radyal Tanjantiyal Eksenel
Açsal Yanlış Hizalama	<ul style="list-style-type: none"> •Yüksek $4XRPM - 8XRPM$ harmonikler •Tanjantiyal ve radyal yönde aynı fazda yüksek $1XRPM$ ve $2XRPM$ pikler •Güçlü eksenel $1XRPM$ Tepeleri 	Radyal Tanjantiyal Eksenel
Genel Yanlış Hizalama	<ul style="list-style-type: none"> •Radyal yönde yüksek $1XRPM$ tepeleri ve harmonikleri •Düşük $1XRPM$ yüksek $2XRPM - 6XRPM$ harmonikleri •Zaman ekseninde hızlı yükselme ve aynı çevrimde pozitif yönde iki pikin oluşması 	Radyal Tanjantiyal Eksenel

3.1.4.3. Mekanik Gevşeklik

Mekanik gevşeklik ya döner elemanların mekanik gevşekliği ya da sabit elemanların mekanik gevşekliği olarak iki şekilde ortaya çıkar. Elektrik motoru ve pompalardaki dönen ve sabit elemanlar arasındaki aşırı boşluk dönme mekanik gevşekliği olarak kendini gösterir. Temel ve makina ayakları gibi sabit parçalar arasındaki boşluklar ise sabit mekanik gevşeklik olarak ortaya çıkar. Her iki tip mekanik gevşeklik de doğrusal değildir ve üç titreşim ekseninde de ciddi $1XRPM$ harmonikleri doğuracaktır. Mekanik gevşeklik çalışma hızı harmoniklerinin katları olarak frekans alanında ortaya çıkar. Oluşan bu harmonikler tipik olarak $0,5X$, $1,5 X$ harmoniklerinde ortaya çıkar [24]. Literatürde mekanik gevşekliğin ortaya çıkışını bazı kaynaklar $0,5X$ harmoniklerinde bazı kaynakların ise $1X$ harmoniklerinde belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada mekanik gevşeklik durumunun her iki şekilde de olduğu görülmüştür.

Sabit mekanik gevşeklik: Motopomp ve motopomp temeli arasındaki mekanik gevşeklik en az sertlik olan yönde $1XRPM$ titreşim bileşeni artıracaktır. Bu ise genellikle tanjantiyal yön olarak ortaya çıkmaktadır. Fakat bu durum ise makinanın fiziksel durumuna bağlıdır. Eğer mekanik gevşeklik fazla ise, daha düşük $1XRPM$

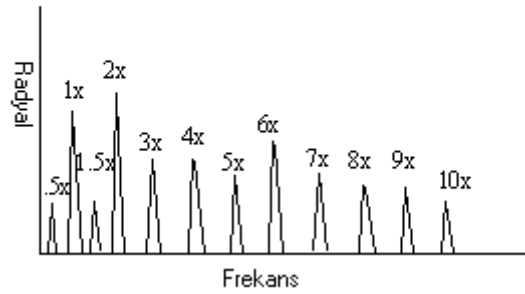
harmonikleri de yaygın bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Titreşim analizlerinde temeldeki mekanik gevşeklik veya esneklik ile balanssızlık olayı karıştırılır. Fakat tanjantiyal yöndeki 1XRPM harmonikleri genellikle temel zayıflığından kaynaklanan mekanik gevşeklik göstergesidir. Eğer tanjantiyal yöndeki 1XRPM radyal yöndeki 1XRPM'den daha büyükse, mekanik gevşekliğin olma ihtimali daha büyük bir ihtimaldir. Fakat tanjantiyal yöndeki 1XRPM radyal yöndeki 1XRPM'e eşit veya ondan daha düşük ise, balanssızlık olayından şüphelenilir. Civatalardaki boşluk, temeldeki korozyon veya çatlaklıklar temel esnekliği veya mekanik gevşekliği sebep olabilir. Yapısal boşluk, makina ayak zayıflığı, şase veya temel, bozuk harç, şaseye yanlış tutturulmuş civata ve bozulmuş şase veya temel Şekil 3.10'daki gibi bir spektrum görüntüsüne sebep olurlar.



Şekil 3.10. Temel problemi spektrum görünümü

Dönen mekanik gevşeklik: Dönen elemanlar motopomplardaki rulman yataklarında bazı durumlarda 10XRPM 'e kadar yükselebilecek 1XRPM harmonikleri oluştururlar. Eğer daha fazla yüksek harmonikler saptanırsa, şiddetli vurunular beklenir. Bu vurunu genellikle zaman dalga formu ile spektrumdan daha iyi bir şekilde izlenebilir. Titreşim spektrumunda yüksek harmonikler var ise vurunulara göre ortaya çıkan sivrilikleri bulmak için ivme dalga formuna bakmak gerekmektedir. Motor ve pompa parçaları arasındaki uygunsuz monte edilen parçalar Şekil 3.11'deki gibi bir spektrum görünümü oluştururlar. Motopomplarda

uygunsuz montaj edilen parçalar arasında gevşek olanları rotordaki dinamik kuvvetlerden dolayı pek çok harmoniğe sebep olurlar. Yine rulman yataklarındaki aşırı boşluk veya shaft üzerindeki fan boşluğu da aynı spektrum görüntüsünü üretirler. Rulman iç yüzeyi shaft üzerinde dönüyorsa, frekans spektrumu makinanın dönme hızında bir pik oluşturur. Rulman hızının dördüncü harmoniği diğerlerinden farklı olduğu durumlarda rulman yatakta gevşek demektir.



Şekil 3.11. Dinamik mekanik gevşeklik spektrum görünümü [25].

Tablo 3.5. Mekanik gevşeklik arızaları gösterge tablosu

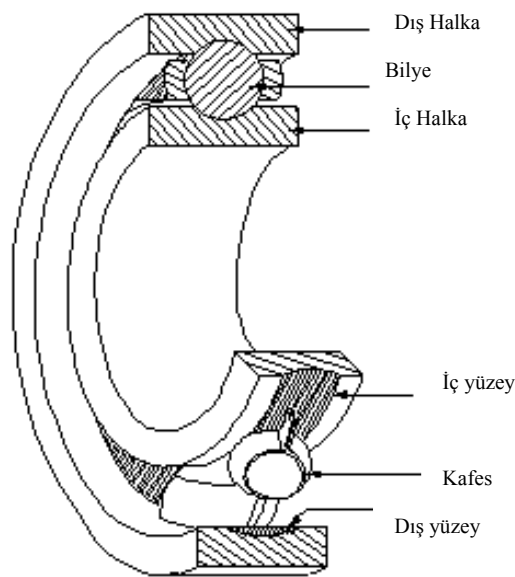
Titreşim Kaynağı	Baskın Titreşim Frekansı	Ölçüm yönü
Sabit mekanik Gevşeklik	<ul style="list-style-type: none"> •Tanjantiyal yönde 1XRPM baskın frekansı •Tanjantiyal 1XRPM > Radyal 1XRPM 	Eksenel
Döner Mekanik Gevşeklik	<ul style="list-style-type: none"> •0.5XRPM harmonikleri var ise döner hareketli parçalarda (Rulmanlar) gevşeklik •1XRPM frekansındaki tepelik 2.5 mm/s den büyük ise ve 1XRPM katlarında harmonikler varsa mekanik çözülme 	Radyal Tanjantiyal
	<ul style="list-style-type: none"> •Dalga formu grafiğinde genlik seyri düzensizliği •Her üç yönde de ciddi 1XRPM harmonikleri genlik değerleri yüksektir. 	

3.1.4.4. Rulman arızaları

Bu bölümde hareket eden parçaların ürettiği frekansların analiz edilmesi ile rulmanlarda arıza tanımlaması prosedürleri detaylı olarak ele alınacaktır. Rulmanlı

yataklar dönel makinaların vazgeçilmez elemanlarıdır. Bu makinalarda (örneğin, elektrik motoru ve santrifüj pompalar) oluşan arızaların çoğu kullanılan rulmanlı yataklardan kaynaklanır. Eğer motopomp da enaz dört yataklamanın olduğu düşünülürse, bu makinalarda yatak bakımının önemi daha da iyi anlaşılacaktır. Bu sebepten dolayı Kestirimci bakım yönteminin elektrik motoru ve pompalar üzerinde iyi bir şekilde uygulanması çok büyük bir kazanç olacaktır. Rulmanlar üzerinde arıza oluşumunun ve gelişiminin periyodik olarak incelenmesi, arızanın ilerleme durumunun belli bir eşik değerine ulaşınca yatakların değiştirilmesi yalnız yatakların ömrünü uzatmakla kalmaz, sürekli bir verim sağlar ve erken parça değişimini azaltacağından giderlerin büyük bir kısmını engellemiş olur.

Rulman arızalarının belirlenmesinde, rulmanın çalışma anında ortaya çıkardığı gürültü ve titreşim büyük önem taşımaktadır. Rulmanlardaki titreşim karakteristikleri ve davranışları birçok yöntemler kullanılarak incelenebilirler. Yataklarda arıza oluşmaya başladığı zaman yatak elemanları arasındaki çarpmalar sonunda titreşim enerjisi belirli frekanslarda diğerlerine göre baskın duruma geçmeye başlar [26]. Rulman hata frekansları, rulman bileşenlerindeki yorulma, aşınma, yanlış montaj, yanlış yağlama ve imalat hataları sonucu üretilir. Şekil 3.12’de bilyeli rulmanların elemanları olan kafes, iç yüzey, dış yüzey ve yuvarlanma elemanları gösterilmektedir [27].



Şekil 3.12. Bilyeli rulman bileşenleri

Rulman yüzey dalgaları, yuvarlanma elemanları ve kafesler üzerindeki kusurlar farklı frekanslar üretirler. Rulmanların oluşturduğu titreşimler irdelenirken spektrumun şekli, genliği, frekansı, toplam ve farklı frekanslar ve zaman tanım bölgesi sinyali arızaların sebebini, yerini, bileşenlerini ve boyutunu tanımlamada faydalıdır. Ayrıca yüzey aşınmaları, korozyon, asitlenme, küresel oyuk ve yetersiz sürtünme gibi arızaların sebebi frekans ve zaman tanım bölgesi bilgisi analiz edilerek tanımlanabilir. Bu teknikler aşırı boşluk olan rulmanları ve şaft etrafında dönen veya rulman yatağında boşluk olan durumlar gibi iyi bir şekilde montajı yapılmamış rulmanları da tanımlayabilir.

Arızalı rulmanlar, ya iç yüzey ve dış yüzey ya da bilyelerin çevresinde düzensizlikler gibi arızalara sahip olacaklardır. Çalışma sırasında bu hatalar temel arıza frekansları olarak adlandırılan periyodik frekanslar üreteceklerdir. Rulmanların farklı döner elemanlarının arasındaki ilişkiyi anlamak için ilkönce izafi hızları tanımlayan denklemler geliştirilmelidir. Bu denklemler rulman elemanları tarafından üretilen hata frekanslarını tanımlarlar. Arızalı bir rulmana sahip dönel makina dört temel arıza frekansı üretirler.

Bu frekanslar;

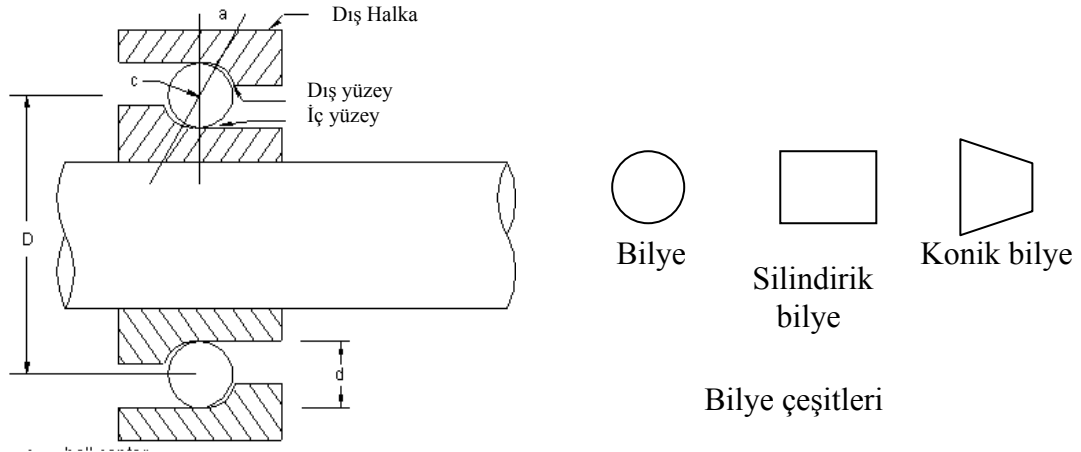
1. Temel referans frekansı (Fundamental Train frequency) (FTF)
2. İç bilezik bilye geçiş frekansı (BPFI), (bütün bilyeler iç bilezik üzerindeki arızalı bölgeden geçiyorken üretilen frekanstır.)
3. Dış bilezik bilye geçiş frekansı (BPFO), (bütün bilyeler dış bilezik üzerindeki arızalı bölgeden geçiyorken üretilen frekanstır.)
4. Bilye dönüş frekansı (BSF), (bilyeler şaft etrafında devri esnasında dönüyorken her bir bilyenin dairesel frekansıdır.)

Temel arıza frekansları hem rulman geometrisine hem de şaft hızına bağlıdır. Eğer makinada ne tip bir rulman kullanıldığı biliniyorsa, bilye çapı, karşılıklı iki bilye arasındaki çap, bilye sayısı ve bilye temas açısını bulmak için üretici verileri kullanılabilir. Bu değerlerin bilinmesi temel arıza frekanslarının doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak verir.

Rulmanlar iki şekilde montaj edilerek kullanılabilirler;

1. İç yüzey sabit ve dış yüzey döner şekilde. Bu otomobillerin ön tekerleklerinde daha sık kullanılır.
2. İç yüzey döner dış yüzey sabit. Bu çok yaygın bir endüstri uygulamasıdır.

Yukarıda belirtilen durumlara göre temel arıza frekanslarının hesaplandığı formüller değişecektir. Elektrik motoru ve pompalarda ki rulmanlar dış yüzey sabit ve iç yüzey döner şekilde montajı yapılırlar. Temel arıza frekansları Şekil 3.13'deki montaj şekli göz önüne alınarak aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanır [28].



Şekil 3.13. Dış yüzey sabit iç yüzey hareketli bilyeli rulman geometrisi

$$BPF_I = \frac{n}{2} \cdot S \cdot \left[1 + \frac{d}{D} \cos a \right] \quad (3.2)$$

$$BPF_O = \frac{n}{2} \cdot S \cdot \left[1 - \frac{d}{D} \cos a \right] \quad (3.3)$$

$$BSF = \frac{d}{2D} \cdot S \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 (\cos a)^2 \right] \quad (3.4)$$

$$FTF = \frac{S}{2} \left[1 - \frac{d}{D} \cdot \cos a \right] \quad (3.5)$$

Burada ;

- BPFI : İç bilezik bilye geçiş frekansı (Hz)
 BPFO : Dış bilezik bilye geçiş frekansı (Hz)
 BSF : Bilye dönüş frekansı (Hz)
 FTF : Temel referans frekansı (Hz)
 d : Bilye çapı (mm)
 D : Karşılıklı iki bilye merkezi çapı (mm)
 a : temas açısı
 n : Bilye sayısı
 S : Mil dönüş hızı (dev/s)

Uygulamada gerek işletme sorumluları gerekse bakım mühendisleri tarafından elektrik motoru ve pompalarda kullanılan rulmanların geometrileri pek bilinmemektedir. Bu durumda kesin temel hata frekanslarını hesaplamak mümkün değildir. Bununla birlikte, eğer rulmanlardaki bilye sayıları ve mil dönme hızları biliniyorsa FTF, BPFI ve BPFO değerleri tahmini olarak aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanabilirler.

$$FTF = \left[\frac{1}{2} - \frac{1.2}{n} \right] * S \quad (3.6)$$

$$BPFI = \left[\frac{n}{2} + 1.2 \right] * S \quad (3.7)$$

$$BPFO = \left[\frac{n}{2} - 1.2 \right] * S \quad (3.8)$$

Burada;

n : bilye sayısı

S : Mil hızı (d/d)

Bu eşitliklerden hesaplanacak temel arıza frekansları genellikle gerçek frekans değerlerinde yaklaşık % 5-10 arasında bir sapma gösterecektir. Gerek elektrik motoru gerekse santrifüj pompalarda kullanılan çoğu rulmanların bilye sayıları genellikle 8 ile 12 arasındadır.

Bilye dönüş frekansı rulman geometrisi bilinmeden tahmin edilemez. Pratikte bilye dönüş frekans hatalarına pek sık rastlanmamaktadır. Uygulamada rastlanılan en yaygın rulman arızaları yük bölgelerinde dış yüzey ve iç yüzey arızalarıdır [29].

Rulmanların temel arıza frekansları marka ve modellerine göre Tablo 3.5'te örnek olarak verilmiştir. Rulman arızalarının bilye yolları üzerinde (iç ve dış yüzey), dönen elemanlarda (kafes veya herhangi bir elemanda) olabileceği daha önce söylenmiştir. Böyle arızalar motor ve pompa üzerinde farklı titreşim sinyalleri oluşturacaklardır. Bilye, silindirik dönel parçalar ve temas açısı sıfır olan diğer rulmanlar için, iç ve dış yüzey arızaları arızalı yüzeylerin yüzey geçiş frekanslarında spektrum çizgileri tarafından tanımlanırlar. Küresel ve temas açısına sahip bilyeli rulmanlar için dış yüzey arızası, temel BPFO frekansı ve harmoniklerini üretirler. Bilye iç yüzey arızaları temel BPFI frekansını ve harmoniklerini üretirler.

Tablo 3.6. Rulmanların temel arıza frekansları tablosu

Rulman Modelleri	Bilye Sayısı	Bilye Dönüş Geçiş Frekansı (BS)	Temel Referans Frekansı	İç Bilezik Bilye Geçiş Frekansı	Dış Bilezik Bilye Geçiş Frekansı
SKF2316	13	2,29	0,40	7,82	5,18
SKF1316	15	2,95	0,42	8,73	6,27
SKF7326	12	2,52	0,40	7,15	4,85
SKF23026	30	5,54	0,46	16,34	13,66
SKF6232	12	3,47	0,43	6,85	5,15
SKF6315	8	2,06	0,39	4,92	3,08
SKF6316	8	2,07	0,39	4,92	3,09
SKF29448E	18	2,85	0,45	9,97	8,03
FAG6218	11	2,90	0,42	6,42	4,58
FAGNU218	16	3,40	0,43	9,15	6,85
FAG6244	11	3,29	0,43	6,32	4,68
FAG6230	11	3,23	0,42	6,33	4,67
FAG6220	10	2,67	0,41	5,91	4,09
FAGNU220	16	3,43	0,43	9,14	6,86
FAGNU219	16	3,42	0,43	9,15	6,85
FAGNU224	16	3,42	0,43	9,15	6,85
NTN7328	12	2,23	0,41	7,12	4,88
NTNNU219	16	3,42	0,43	9,15	6,85
NTNNU222	16	3,31	0,43	9,18	6,82
NTNNU226	18	3,68	0,43	10,20	7,80
NTNNU230	18	3,68	0,43	10,20	7,80
NTNNU238	19	3,83	0,44	10,72	8,28

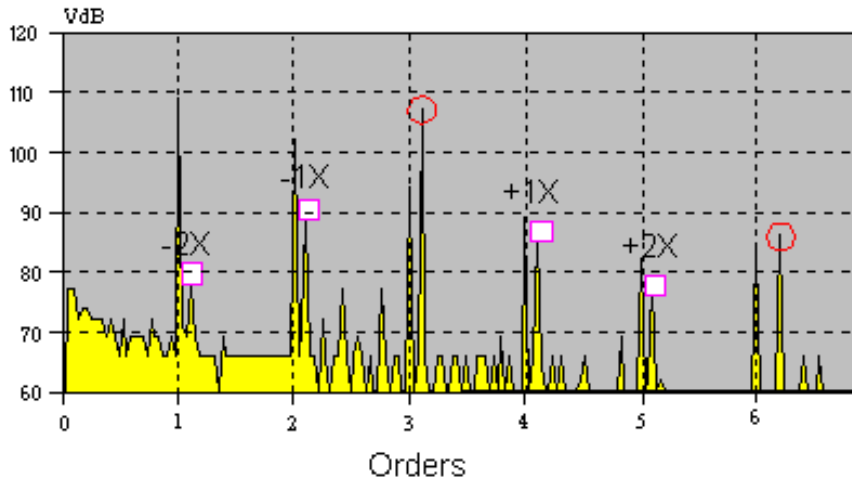
Rulman döner eleman arızalarına sahip olduğu zaman, küresel bilye ve silindirik bilyelerdeki arızalar bir şekilde iç ve dış yüzeye çarpacak şekilde dönüyorsa iki kez bilye geçiş frekansı üretilir. Bu frekanslar genellikle mekanik ara yüzey parçalarına geçeceğinden, bazı durumlarda ölçülemeyebilirler. Küresel bilye ve silindirik bilye, üzerindeki arıza, yüzey yoluna temas ettiği zaman bilye geçiş frekansına yol açarlar. Çoğu durumlarda, küresel bilye ve silindirik bilye üzerindeki arıza her bir devrinde de her iki yüzeye de temas edeceğinden iki tane BSF frekansı üretecektir. Arızalı bölgeler yüzeye çarptığı zaman bilye genellikle yük bölgesinde olduğu için üretilen frekansın RMS değeri çok yüksek olmayacaktır.

Rulman arızalarının tanımlanması: Rulmanlardaki kusurlar, ilk aşamada rulman arıza frekansları denilen titreşim frekansları ve onların harmoniklerini üretirler. 0.1524 mm/s (81VdB) tepe değerine sahip rulman arıza frekansı ve daha fazla değerdeki tepe değerlerine sahip rulman arıza frekansları önemli olarak düşünülebilir. Bazen yeni bir rulmanlarda da bu rulman arıza frekanslarını üretebilir. Bunun sebebi montaj hataları ve kusurlu imalat olabilir. Rulman bölgelerinin birindeki çatlak gibi, rulmandaki kusur çok küçük ise titreşim sinyalinde ya temel frekanslar oluşmaz veya çok küçük genlikler şeklinde ortaya çıkarlar, fakat rulman arıza frekanslarının harmonikleri grafikte görülecektir. Kusur ilerlemeye başlarsa esas rulman arıza frekansı, seviye olarak harmoniklerden genellikle yüksek olacaktır [30].

Eğer rulmandaki arıza iç bilezikte ise; dönüş hızının genliği ile yatak arıza frekansı modüle edilir ve bu 1X'ten uzakta, yatak arıza frekansını etrafında, yan bantların oluşmasına sebep olur. Buradaki genlik modülasyonu, her devirde bir kere yataktaki kusurlu iç bölgenin yatağın yükleme sınırları içinde içeri ve dışında dışarı doğru hareket etmesi gerçeğine dayanır. Yükleme sınırı içersindeyken, arıza bilye geçiş frekansında bir titreşim üretecek, fakat yükleme sınırı dışına taşıdığı zamanlarda bu frekanstaki titreşimin çok küçük bir miktarı üretilecektir. Bu, rulman tonunun genlik modülasyonuna ve yan bantların alt bileşenlerinin ortaya çıkmasına neden olur.

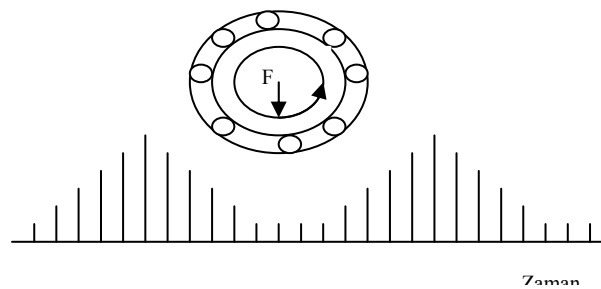
Rulman arıza frekansı etrafında oluşan 1X yan bantları kesinlikle ileri bir yatak aşınmasının göstergesidir ve çoğunlukla iç bölge arızası olarak ortaya çıkar.

Rulmanlardaki boşluğun artması çalışma hızının harmoniklerini de artırır ve ayrıca rulman arıza frekansına ait ikinci bir harmoniğin görülmesine de sebep olabilir. Bazen, eğer bir rotor (pompa fanı veya elektrik motoru rotoru) çok aşırı dengesiz ise, yataktaki iç bölge arızası bir genlik modülasyonu veya yan bantlar oluşturmayabilir. Bunun sebebi dengesizlikten kaynaklanan merkezci kuvvetin, iç bölgeyi, kendi çevresinde aynı yükleme durumunda tutmasıdır.



Şekil 3.14. İç yüzey arızasından kaynaklanan rulman temel arıza frekansı etrafında oluşan yanbantlar

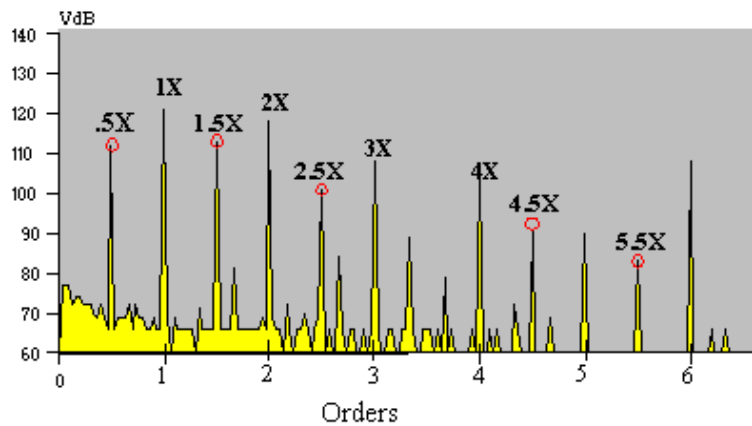
Rulman arızası iç bilezikte olduğundan eşit periyotlarda tekrarlanan darbelerin büyüklükleri sabit olmayacak ancak periyodik olarak değişecektir. Bu durum zaman grafiğinde Şekil 3.15'teki gibi kendini gösterecektir.



Şekil 3.15. Arızalı iç bilezik zaman dalga formu grafiği

İç bilezik üzerindeki hasar rulmana etkiyen kuvvet ekseninde ise ve aynı anda hasar altında bir yuvarlanma elemanı var ise oluşacak darbenin şiddeti maksimumdur. Maksimum darbe değerlerinin tekrarlanma frekansı, rulmanın çalışma devir sayısına eşittir.

Rulmanlarda mekanik gevşeklik: Döner elemanlı (bilyalı) rulmanlardaki aşırı mekanik gevşeklik, genellikle 2X'den 8X'e kadar 1X'in harmoniklerini oluşturur. Bu durumun spektrum görünümü Şekil 3.16'da verilmiştir. Daha sonraki bölümde uygulamalarının verileceği rulman arızası, özellikle mekanik gevşeklik, probleminin anlaşılmasında burada gösterilen grafikler temel referanslar olacaktır. Şekilde 0.5X'de ve katlarında tepe noktaların oluşması mekanik gevşekliğin fazla olduğunun bir göstergesidir [31].

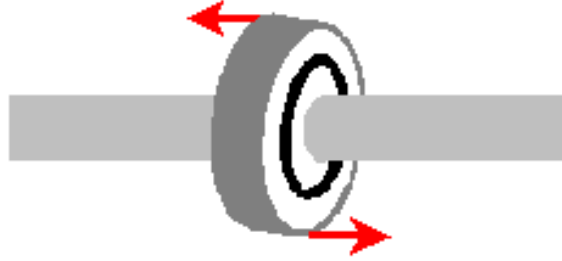


Şekil 3.16. Rulmanlardaki mekanik gevşeklik probleminin neden olduğu titreşimin spektrumu

Pompa ve elektrik motorundaki diğer mekanik parçalardaki boşluklarda 1X'in, bazen 0.5X'in harmoniklerini oluşturacağından böyle bir durumda kesin olarak rulman problemi var denemez. Kesin bir teşhis için rulman arızalarının belirlenmesindeki safhalar irdelenerek karara varılmalıdır.

Rulmanlarda yanlış hizalama: Rulmanlarda görülen bu problem genellikle ilk montaj sırasındaki dengesiz yerleştirmeden kaynaklanır. Bazı durumlarda ise rulman üzerine gelen aşırı eksenel yüklemelerden dolayı rulman yatağındaki aşınma sonucu da oluşabilir. Hizası bozulmuş bir rulman belirli bir 1X bileşeni ve bazı durumlarda 2X

bileşenleriyle birlikte titreşim spektrum grafiklerinde ortaya çıkar. Bu görünüm aksenal yöndeki spektrum grafiğinde görülür. Bununla birlikte bazen radyal yönde de 1X ve 2X tepeleri görülebilir. Hizası bozulmuş rulman yüksek 1X ve 2X tepeleri gibi güçlü rulman tonları da oluşturur .



Şekil 3.17. Hizası bozulmuş rulman

Rulmanlarda ortaya çıkacak arızalardan belli başlılarının nasıl analiz edildiğini izah ettikten sonra genel olarak şu söylenebilir;

Rulmanları en güzel koruma yöntemi zamana göre bir eğilim hazırlamaktır. Bazen rulmanda ortaya çıkan küçük bir hata, çok kısa bir zamanda büyük kusurlara dönüşebilir. Dolayısıyla erken teşhis için çok küçük titreşim sinyallerinin bileşenleri üzerinde bile hassasiyetle durulması gerekir. Analiz sırasında bazı makinalardan alınan ortalama titreşim spektrumlarının bile rulman tonları görülür [32].Arıza teşhisi bu ortalama değerlerdeki artışla birlikte yapılır. Bu yüzden rulman tonlarının işin kötüye gittiğine dair bir gösterge olabileceği düşünülerek dikkatlice incelenmesi gerekir.

Tablo 3.7. Rulman arızaları gösterge tablosu

Titreşim Kaynağı	Baskın Titreşim Frekansı	Ölçüm yönü
Rulman arızası	●2kHz - 60 kHz	Eksenel ve / veya Radyal
● İç bilezik arızası	●Sinüs eğrisi şeklinde 1X ve katlarında tepe noktalar,	
●Dış bilezik arızası	●Rulman elemanlarının temel arıza frekanslarında oluşacak tepe noktalar,	
●Rulmanlarda hizalama problemi	●Yüksek frekans bölgesinde zeminde kabarma,	
●Rulmanlarda mekanik gevşeklik problemi	●Eksenel yönde 2X ve 3X >1X ve 1X>3,05 mm/s ise rulman hızasızlığı vardır. Bazı durumlarda buna ilaveten radyal yönde 1Xve 2X de yüksek pikler görülür.	
●Rulman bilye arızası	●1/2X ve 8X'e kadar harmonikler oluşmuş ise rulmanda mekanik gevşeklik, ●FTF frekansı ayrı bir frekansmış gibi ortaya çıkmış ise rulman yapısında (iç) mekanik gevşeklik, ●Frekans ekseninde harmonik grupları var ve bu gruplar 3X ile 9X arasında öbeklenmiş ise bilye arızası,	

3.1.4.5. Dişli arızaları

Dişlilerdeki hatalar eksen kaçıklığı, dengesizlik, gevşeklik gibi mil hataları ve aşınma, çizilme, çatlak gibi diş ile ilgili hatalar olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılabilir. Dişli hataları, hata türüne özgün belirgin titreşimler oluşturur. Bu yüzden diğer makina elemanlarında olduğu gibi dişli hataları da titreşim analizi ile belirlenebilmektedir. Dişli dişleri sabit bir açısal hız oranı sağlayacak şekilde tasarlanırlar. Yanlış diş profilleri, dişler arasındaki boşluk hataları ve diş sehimleri iletim hatasına sebep olur. İletim hatası da dişlilerin ve millerin titreşimine yol açar.

Çalışan tüm makina elemanları yorulmaya maruz kalırlar. Yorulma tüm çalışan elemanlarda olduğu gibi dişlilerde de hasarlar oluşturmaktadır. Dişlilerde yorulmadan kaynaklanan iki çeşit hasar vardır: oyuklaşma ve kabarma. Oyuklaşma,

diş yüzeyinden çok az miktarda malzemenin ayrıldığı, yüzey yorulma hasarıdır. Yükün diş üzerindeki bir bölgeye yoğun olarak etki etmesi sonucu oluşur. Kabarma, büyük yüzey gerilmeleri ve büyük kayma hızlarının beraber etki etmesi sonucu oluşur. Bir dişte oyuklaşmış bölge kavramaya girerse darbeleri temastan dolayı gerilme dalgaları oluşur. Bu dalgalar düşük genliklidir, etkili bir şekilde kullanılırsa hasarın erken belirlenmesinde bundan yararlanılabilir. Bir dişte oluşan kabarma veya çatlağın başlamasından, dişin tamamen arızalanmasına kadar önemli bir zaman geçer. Hasarın ilk zamanlarında hasar şiddetindeki artış yavaştır, fakat tamamen arızalanmadan hemen önceki aşamada bu artış aniden hızlanır. Bu yüzden hasar ilk aşamalarda belirlenebilirse teşhis anlamlı olmaktadır.

Bir dişlideki hasarlı bir diş, kavramaya her girişinde bir vuruşu oluşturur. Bu vuruşunun tekrarlanma frekansı dişlinin dönme hızına eşittir. Bu vuruşu helisel dişlilerde aksel tabii frekansları, düz dişlilerde ise radyal tabii frekansları uyarır. Kırık diş, kavrama halinde diğer dişe vurduğunda bir darbe sinyali üretilir. Sonra sağlam olan dişli kavramaya girer ve darbeden kaynaklanan titreşim azalır. Tek dişli hasarlı bir dişli her devirde bir darbe sinyali üretebilir. İki veya daha fazla diş kırıkta, her devirde iki veya daha fazla darbe sinyali oluşabilir. Her bir devir boyunca tek olay söz konusu olduğu varsayıldığında titreşimler arasındaki frekans farkı, problemlili dişlinin hızına eşittir. Her bir devir boyunca iki veya daha fazla olay gerçekleşiyorsa frekans farkı olayların sayısı ile problemlili dişlinin hızının çarpımına eşittir. Eğer her iki dişli de problemlili ise dişli kavrama frekansı her iki dişlinin hızında modülasyona uğrar. Böyle durumlarda iki dişlinin hızında yan bantlar oluşur ve analiz karmaşık bir hal alır.

3.2. Yağ Analizi

Kestirimci bakım sisteminde faydalanılan diğer bir parametre ise yağ ve partikül aşınma analizidir. Bu parametreler özellikle dişli kutuları, rulmanlar ve kaymalı yatakların performansının izlenmesinde önemlidir. Yağdaki yabancı maddelerin miktarındaki artış yağın yağlama özelliklerinin azalmasına neden olur. Bu ise dişli kutularındaki dişlilerin, rulmanların ve kaymalı yatakların aşınmasına neden olur.

Ayrıca yağdaki metalik partiküller analiz edilerek hangi parçanın tahrip olduğu ve aşınma miktarı belirlenir. Fakat bu tahribatın nedeni ise tam olarak belirlenemez. Bu ise yağ analizi ve partikül aşınma analizinin zayıf noktasıdır. Yağın fiziksel ve kimyasal özellikleri yağ içerisindeki partiküllerin sayısı ve büyüklüğü ve yağ kirliliği gibi parametreler analiz edilerek muhtemel arıza hakkında yorumlar yapılabilmektedir.

3.3. Termografi

Termografi, kızıl ötesi ısı ölçüm yöntemi olarak tanımlanabilmektedir. Çeşitli sistemlerdeki sıcak bölgelerin izlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Sıcaklıklardaki değişimler, ölçüm cihazları ile tespit edilir. Bu değişimlerin eğilim analizleri yapılır. Sistemin çalışmasını engelleyecek ve hasar verecek bir sıcaklık sınır seviyesi önceden tespit edilmektedir. Sıcaklık verilerin bu sınır seviyeye yaklaşması tespit edildiğinde, bir bakım programı hazırlanarak planlanan bir zaman zarfında sisteme müdahale edilir.

Termal kamera olarak adlandırılan cihazlarla alınan görüntülerde ısı arttıkça sıcak bölgeler beyaza yakın renkler alırken, soğuk bölgeler ise siyah ve siyaha yakın renkler almaktadırlar. Termal kameralar ile yapılan çalışmalarda mutlaka göz önünde bulundurulması gereken konu, termal kameraların sadece yüzeyleri görebildikleridir. Termal kamera ile alınan görüntü sadece dış yüzey sıcaklığıyla alınan görüntüdür, yani maddelerin içini göremez. Bu nedenle dış yüzey sıcaklığı çevre sıcaklığına eşit olan maddeler termal olarak görünmezdirler.

Termografi, potansiyel arızaların bulunmasında yıllardır kullanılan bir metottur, termografinin ortaya çıkmasından bu yana temel uygulaması elektrik sistemleri, elektrik ve elektronik devre bileşenleri ve demir çelik sanayisi olmuştur. Termografi, diğer metotlara göre daha yüksek olan yatırım maliyetleri, işletim ve bakım masraflarının sebebi ile birkaç yıl öncesine kadar sadece uzmanlar tarafından kullanılabilirdi, son yıllarda kullanımı yaygınlaşan el tipi termal kameralar, makinelerde arızalara yol açabilecek problemlili bileşenlerin sıcaklık artışlarını tespit edip iki boyutlu fotoğraflarını çekerek, gerekli değişimlerin yapılabilmesi için doğru

bir bakım planlaması yapılabilmesine olanak tanır.

Termografi yöntemi ile tespit edilecek arızaları şöyle özetleyebiliriz ;

3.3.1. Elektrik yükü

Elektriksel yük dengesizlikleri, bir enerji iletim problemi, bir ayak üzerindeki düşük voltaj veya motor sargılarındaki izolasyon rezistansının kaybolması gibi farklı nedenlerden meydana gelebilir. %100 verimli çalışmayan herhangi bir elektrik bileşeninin çektiği akım, dolayısıyla sıcaklığı artırır. Küçük bir voltaj dengesizliği dahi bağlantıların kötüleşmesine, motorlar ve diğer yükler aşırı akım çekerken beslenen voltajın miktarının azalmasına ve (ilişkili mekanik gerilim ile birlikte) daha düşük moment değerlerinin iletilmesine ve kısa bir süre sonra da arızaya neden olabilir. Ciddi bir yük dengesizliği bir sigortayı attırarak operasyonların tek bir faza kaydırılmasına neden olabilir. Bu arada dengesiz akım nötr üzerinden dönerek tesisin pik elektrik kullanımından ötürü para cezası almasına neden olacaktır. Yük artışı bazı bileşenler üzerinden ölçümle tespit edilebileceği gibi, kontaktör yada motorun tamamının termal olarak görüntülenmesi ile de tespit edilebilir.

3.3.2. Elektrik direnci

Termografinin elektrik sistemlerinin izlenmesine son derece uygulanabilir olmasının nedeni, elektrik bileşenlerinin takılır takılmaz kötüleşmeye başlamasıdır. Elektrik bağlantıları en az enerji kaybı ile en fazla gücü transfer edebilmeleri için çok düşük dirençli olarak tasarlanırlar. Yüksek direncin oluşacağı gevşek, kirlenmiş yada paslanmış bağlantılarda sıcaklık artışı gözlemlenir. Elektrik bağlantılarının gevşekliğinin sebebi bir devre üzerindeki yüklenme, vibrasyon, yorgunluk veya yağ kalıntısından hangisi olursa olsun, çevresel koşullar bunların paslanma sürecini hızlandırabilir. Kısaca belirtmek gerekirse, bütün elektrik bağlantılar zaman içinde arızalanmaya giden bir yol izleyecektir. Bu noktalar bağlantı klemensleri olabileceği gibi, salterlerin ve devre elemanlarının iç bağlantıları da olabilir.

3.3.3. Harmonik etkiler

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

3.3.4. Sürtünme

Sürtünen iki yüzeyin, yetersiz yağlamanın, eksantrik birleştirmenin yada hasarlı bir rulmanın olduğu bir makinede yüksek oranda sürtünme, dolayısı ile ısı yükselmesi olur. Genel olarak vibrasyon analizi, büyük, erişilebilir, görece olarak yüksek hızlı yataklar için seçilen kestirimci bakım teknolojisidir, ancak yataklara sensörlerin uygun olarak yerleştirilebilmesi halinde doğru ve emniyetli bir şekilde yapılabilir. Görece olarak küçük olan (örneğin konveyör silindirlerindeki yataklar), düşük hızlı operasyonlarda kullanılan, fiziksel erişim yapılması mümkün olmayan veya ekipmana yaklaşılmaması güvenli olmayan yataklarda, termografi, vibrasyon analizine iyi bir alternatif olabilir. Pek çok durumda ekipman çalışır durumda iken emniyetli bir mesafeden termografi uygulaması yapmak mümkündür.

3.3.5. Elektrik motorlarının muayenesi

Endüstrinin bel kemiğini oluşturan elektrik motorlarının sadece ülkemiz işletmelerindeki sayıları milyonlarla ifade edilebilir. Pompaların çalıştırılmasından eksen hareketlerinin yapılabilmesine, fener mili tahrikinden, konveyör bandı tamburlarının döndürülmesine kadar bir çok yerde elektrik motorları kullanılmaktadır. Motorlar sıcakta, soğukta, kumda, suda, kimyasallarda, kısaca her ortamda çalışmaktadır. Birbirinden çok farklı olan bu ortamlarda çalışacak motorlar prosese özel olarak üretilir ve üzerindeki ısı değerleri farklıdır. Bu yüzden termografin hangi sıcaklığın normal, hangisinin anormal olduğuna karar verirken temel yardımcısı deneyimleri ve benzer motorları karşılaştırması olacaktır. Termografi ile dişli kutusu arızası, yetersiz hava akışı olması, yakın yatak arızası, shaft kuplajı problemleri ve bir motorun rotor veya statorundaki izolasyon bozulması gibi durumlar tespit edilebilir.

3.3.6. İzolasyon aşınması

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

3.4. Ultrasonik Kontrol

Bir tahribatsız muayene yöntemi olan ultrasonik kontrol ile yüksek frekanslı ses dalgaları kullanılarak malzemelerin yüzey ve iç kısımlarındaki kusurlar tespit edilir. Ses dalgaları malzeme içinden geçerken enerjileri azalır ve arayüzeylerden yansır. Yansıyan ışınlar ile hataların varlığı ve yerleri veya süreksizlikler analiz edilir.

Yansıma derecesi, malzemenin arayüzey formuna ve malzemenin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Örneğin, ses dalgaları metal/gaz arayüzeyinden tamamen yansır. Kısmi yansıma metal/sıvı veya metal/katı arayüzeylerinde gözlenir.

Çatlaklar, düzensizlikler, çekme boşlukları, gözenek ve diğer süreksizlikler gibi arayüzeyleri yansıyan hatalar kolaylıkla detekte edilebilir. İnküzyonlar ve diğer homojensizliklerde kısmi yansıma veya ultrasonik dalgaların saçılması ile belirlenebilir.

Hataları analiz eden ultrasonik muayene cihazları, monitörler ile aşağıdakilerden bir yada daha fazlasını tespit edebilirler:

1. Malzeme sınırlarındaki arayüzeyler veya metaldeki süreksizliklerden sesin yansıması

2. Güç vericinin giriş ve çıkış noktalarından, test numunesi boyunca geçen ses dalgasının geçiş süresi,
3. Test numunesinden geçerken absorbe edilen ve saçılan ses dalgalarının zayıflaması.

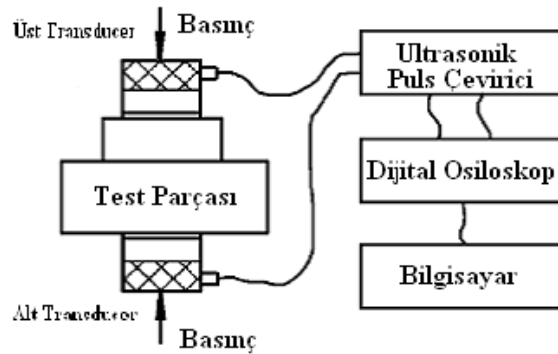
Ultrasonik dalgalar ve mekanik titreşimler; malzemenin elastik limitinin altındadır ve parçalara bir zarar vermeden gerçekleştirilir. Ultrasonik muayene, tahribatsız muayene yöntemlerinden en yaygın kullanılanıdır.

3.4.1. Temel ekipmanlar

Birçok ultrasonik muayene sistemleri aşağıdaki temel ekipmanları içerir ;

1. Elektronik sinyal jeneratörü,
2. Güç kaynağı,
3. Couplant,
4. Elektronik devre,
5. Test numunesinden alınan outputların kaydedildiği yada gösterildiği bir gösterge,
6. Elektronik saat.

Sekil 3.18’de şematik olarak ultrasonik kontrol yönteminde kullanılan ekipmanlar gösterilmektedir.



Şekil 3.18. Şematik olarak ultrasonik kontrol yöntemi [33]

3.4.2. Ultrasonik muayenenin avantaj ve dezavantajları

Avantajları :

1. Ultrasonik muayene yöntemi ile rutin olarak 6 metreye kadar olan, örneğin uzun çelik shaftlar gibi parçaların kalınlıkları ölçülebilir.
2. Yüksek hassaslıkla çok küçük hataların bile deteksiyonu mümkündür.
3. İç kusurların, yerinin, büyüklük, şekil ve karakterizasyonunda diğer tahribatsız muayene yöntemlerine kıyasla yüksek güvenilirlikle tespit yapar.
4. Yalnızca bir yüzeyin hazırlanması yeterlidir.
5. Hataların hızlı bir şekilde gösterildiği elektronik operasyonlar mevcuttur. Bu şekilde metod, proses kontrol ve hızlı taramalar vb. için uygun olmaktadır.
6. Volumetrik ölçümler sayesinde metalin ön kısmından arka bölümüne kadar hacim ölçümleri yapılabilir.
7. Operasyonlar tehlikesizdir, çalışanlara zararı yoktur, ekipmanlar ve malzemelere bir etkisi mevcut değildir.
8. Kolay taşınabilir.
9. Bilgisayar ile çalışılabilir ve alınan veriler yardımı ile hataların karakterizasyonu ve malzemelerin özellikleri belirlenebilir [34].

Dezavantajları :

1. Manuel operasyonlar büyük titizlik ve uzman eleman gerektirir.
2. Muayene prosedürleri için konu hakkında geniş bilgiye ihtiyaç duyulur.
3. Çok ince ve küçük, yüzeyi kaba parçaların muayenesi oldukça güçtür.
4. Yüzeyin hemen altındaki süreksizlikler belirlenemeyebilir.
5. Kalibrasyon için referans standartlara ihtiyaç duyulur. [35].

3.4.3. Uygulanabilirlik

Metallerin ultrasonik muayeneleri prensip olarak süreksizliliklerin tespiti için geliştirilmiştir. Bu metod birçok metal ve alaşımlardaki hataların tespitinde kullanılabilir. Kaynak ve lehim gibi birleşimler ultrasonik metod ile incelenebilir.

Endüstride, kalite kontrollerde ultrasonik muayene metodu kullanılmaktadır; hatta elektrik ve elektronik komponentlerinin üretiminde ve kompozitlerin üretiminde de kullanılmaktadır.

Asağıda ultrasonik muayene ile yapılarındaki hataların incelendiği ekipmanlar verilmiştir ;

1. Fabrika komponentleri: şaftlar, pres kolonları, hareket tertibatları ve merdaneler,
2. Güç ekipmanları, jeneratör rotorları, basınç tankları, basınç pompaları, nükleer yakıt tankları ve diğer reaktör komponentleri,
3. Jet motoru parçaları: türbün ve kompresör parçaları,
4. İşleme malzemeleri: kalıp blokları ve takım çelikleri,
5. Demiryolu parçaları: akslar, tekerlekler ve kaynaklı raylar,
6. Otomobil parçaları: dökme demirler, lehimli veya kaynaklı komponentler.

Ultrasonik muayene ile aynı zamanda metal kesitlerin kalınlıkları ölçülebilir. Örneğin denizaltı gövdeleri, basınç tankerleri, çelik dökümler ve uzay araçlarının kesitleri vb. Kapalı sistemlerde korozyon nedenli kalınlık kayıpları bu yöntemle kolayca ölçülebilir. [36].

3.4.4. Ultrasonik muayene ile ölçümler

Ultrasonik dalgalar, malzemelerin atomik yada moleküler titreşim ve vibrasyonlarını içeren mekanik dalgalardır. Bu dalgalar ses dalgaları gibi hareket ederler, sıvı, katı veya gaz içerisinde, vakumlu ortamlar hariç hareket edebilirler.

20.000 Hz. frekansının üzerinde ultrases dalgalar uygulanarak yapılır. Ultrasonik muayene metodu ile hatanın tespiti, kusur ile onu çevreleyen ana malzemenin ara yüzeyinde akustik empedansın ani değişmesine dayanır. Yüksek frekanslı ses dalgaları homojen malzeme içinde önemli bir kayba maruz kalmadan yayılırlar. Fakat malzeme yüzeyinden havaya pratik olarak geçemezler. İki katı ara yüzeyinden

ise pek az geçebilirler. Dolayısıyla ultrasonik dalgalar dış yüzeylerden, döküm içindeki boşluklardan, porozitelerden, çatlaklardan kuvvetle yansır ve saçılırlar.

Ultrasonik dalgalar mekanik titreşimle üretilirler. Piezoelektrik malzemeler (kuvarz ve baryum titanat kristalleri) üzerine düşen elektrik darbeleri (pulse) ile mekanik olarak titreşirler veya tersine üzerlerine düşen mekanik titreşimleri elektrik pulsları haline dönüştürürler. Yani bu malzemeler ultrasonik dalgaları hem üretebilir, hem de toplayabilirler.

Ultrasonik yöntemle döküm içindeki hataların niteliği, büyüklüğü, varlığı ve yerlerinin belirlenmesi için gerek pulse-echo (darbe-yankı, uyarı-yansıma) veya throughtransmission (bir baştan bir başa iletim) teknikleri ile uygulanabilir. Döküm içindeki kesintiler ses demetinin yönünü ve hızını değiştirirler. Dökümlerdeki salt çatlaklar, boşluklar ve kalıntı maddeleri gibi büyük yalıtılmış hatalar değil aynı zamanda cüruf, sünger ve kaba damarlarında bu yolla kontrolü mümkündür.

Ultrasonik denetleme çoğunlukla görelî bir küçüklükte ve tek biçimli kesitlerin ve bu denetleme tekniğinin ekonomik olduğu uzun üretim işlemlerinde kullanılır. Eğer herhangi bir dökümün biçimi ve girintili çıkıntılı ses dalgasının döküm içine iletimini engelliyorsa net bilgiler elde edilemez ve bu durumda alternatif denetim tekniklerinden olan radyografi yöntemi kullanılmalıdır.

Dökümün denetlenemeyecek bölümü yüzeye yakın olan bölümdür ve ölü bölge adını alır. Dökümler için “yüzey bölümü” genellikle 5 - 12,5 mm arası değişir. Yüzey kesintilerinin araştırılması için sıvı penetrasyon manyetik parçacık ve girdap akım teknikleri daha uygundur [37].

BÖLÜM 4. KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMALARI

Çalışmanın bu bölümünde titreşim analizi ve termografi ile ilgili uygulamalara yer verilecektir.

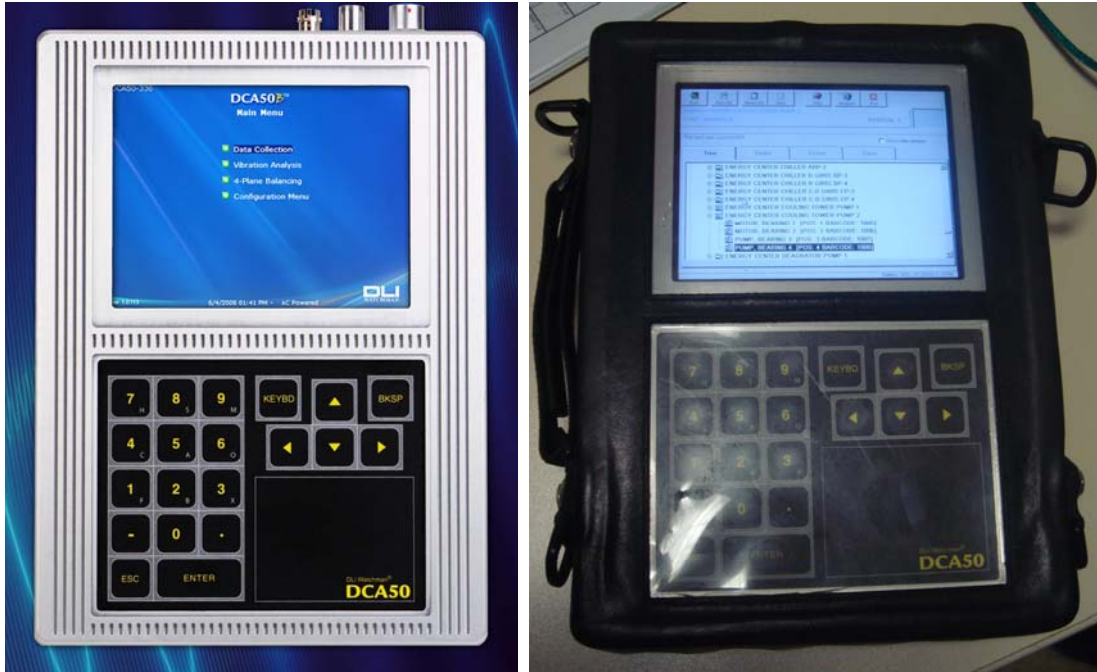
4.1. Titreşim Analizi

Titreşim analizi uygulamasına örnek olarak endüstride yaygın olarak kullanılan, soğutma kulelerine suyun sirkülasyonunu sağlayan pompa ele alınmıştır. Sistemde bulunan 4 adet rulman için 4 ayrı yerden radyal, aksenal ve tanjantiyal yönlerde ölçümler alınarak sonuçlar yorumlanmıştır.

4.1.1. Titreşim analizi için kullanılan ölçüm cihazı ve ölçüm rondelası

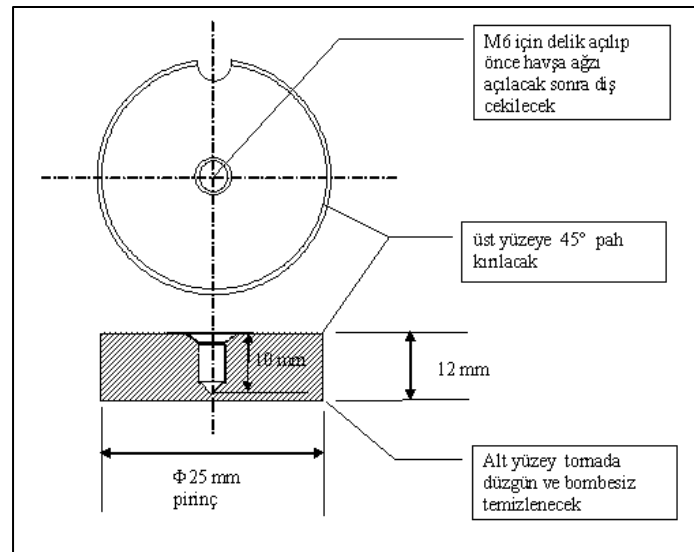
Titreşim analizi yöntemiyle kestirimci bakımın bir işletmeye uygulanabilmesi için titreşimleri ölçecek bir cihazın edinilmesi gerekir. Piyasada çeşitli firmaların üretmiş olduğu titreşim ölçüm cihazları vardır. Bunlar en basit hali ile makinaların genel titreşimlerini ölçebilen cihazlar olmakla birlikte, makinanın titreşimlerini zaman ve frekans ekseninde ölçen ayrıca faz ölçümlerini de yapabilen cihazlardır. Bu cihazlar son teknolojiler kullanılarak üretilmiş cihazlardır. Ölçülen titreşim değerlerini hafızalarına kaydederek daha sonra bu değerlerin bilgisayara aktarılarak bir program vasıtası ile analizinin yapılmasına imkan tanımaktadırlar.

Çalışmada , DLI firması tarafından üretilmiş olan DCA-50 data toplayıcı ve bu dataların analizi için yazılmış olan EXPERT ALERT programı kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Titreşim ölçüm cihazının genel görünüşleri

Ölçüm rondelası ise pompanın ölçüm alınacak yerlerine yerleştirilmiştir. Ölçüm rondelasının bir diğer adı da silindirik montaj bloğu veya montaj yastığıdır. Bölüm 3’de belirtilen ölçüm yönlerine dikkat edilmiştir. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 ölçüm rondelasının detaylı resimlerini göstermektedir.



Şekil 4.2. Ölçüm rondelasının şematik görünüşü



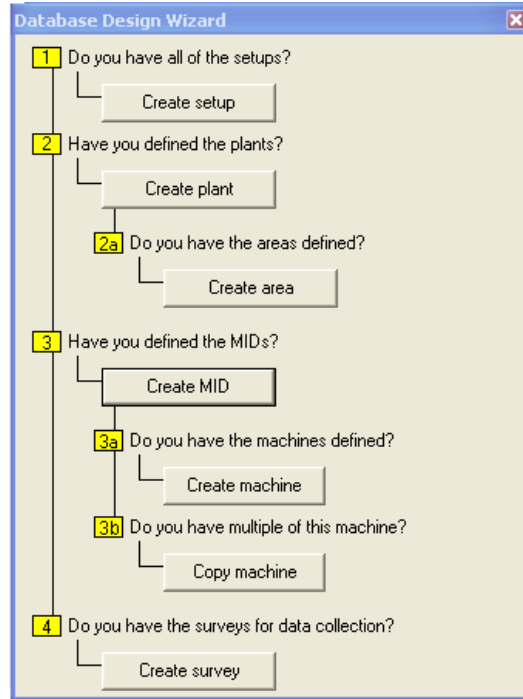
Şekil 4.3. Rondelanın fotoğrafı ve ivme algılayıcı ile birlikte görünümü

Titreşim analiz cihazları bir algılayıcı sayesinde titreşimi algılayıp elektrik sinyaline dönüştürmekte, bu sinyalin FFT (Fast Fourier Transform) dönüşümünü gerçekleştirmekte ve hafızasında saklamaktadır. Böylece alınan ölçümü hem zaman, hem de frekans ortamında değerlendirmek mümkün olmaktadır.

4.1.2. Ölçüm öncesi yapılması gerekenler

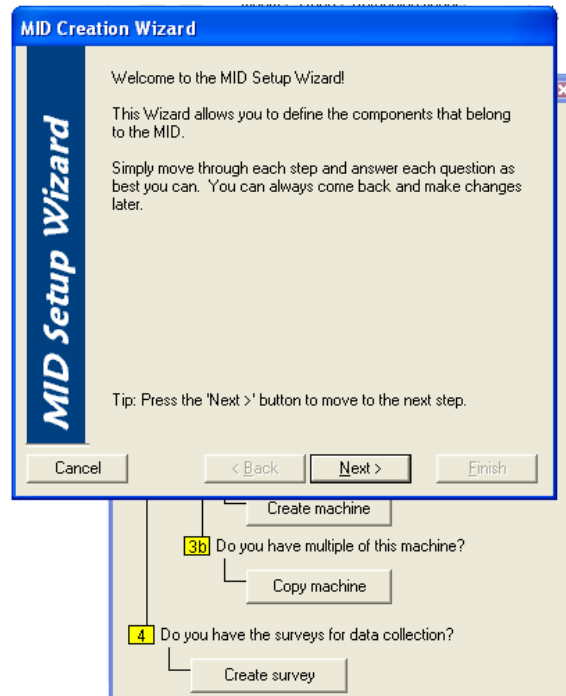
Ölçüm işlemlerine başlamadan önce özellikle titreşim ölçüm cihazı açısından yapılması gereken bir takım işlemler vardır. Daha önceden de anlatıldığı gibi bu cihazlar son teknolojiler kullanılarak üretilmiştir. Endüstride kullanılan her makine için uygundur ancak uygulama yapılacak olan makinenin cihaza tanıtılması ve ölçüm sonuçlarını yorumlayabilmesi için gerekli arıza frekanslarının girilmesi esastır.

EXPERT ALERT programında MID oluşturma olarak tanımlanan makinenin cihaza tanıtılması işleminin basamakları şu şekildedir ;

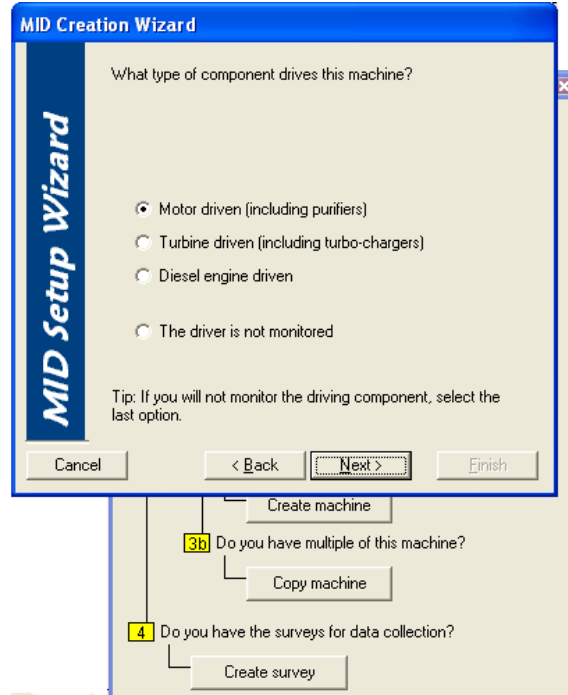


Şekil 4.4. Makinenin tanımlandığı program görüntüsü

Create MID butonu ile makinenin cihaza tanıtma işlemine başlanır.

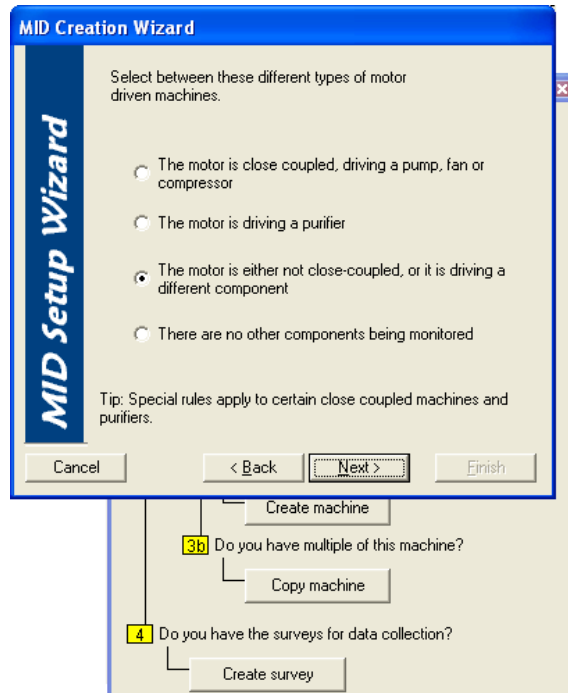


Şekil 4.5. Makinenin tanımlanacağı kurulum görüntüsü



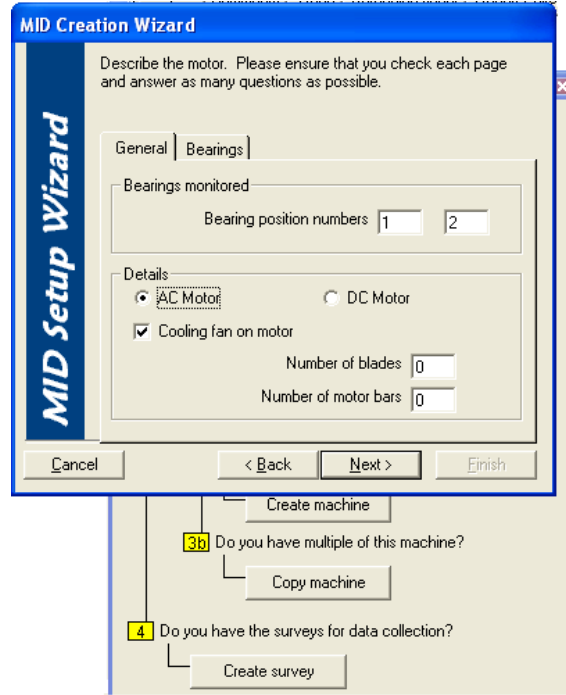
Şekil 4.6. Sistem ekipmanının seçildiği program görüntüsü

Şekil 4.6 da görüldüğü gibi sistem elektrik motoru ile tahriklenen pompa olduğu için “Motor Sürücü” seçeneği seçilmiştir.



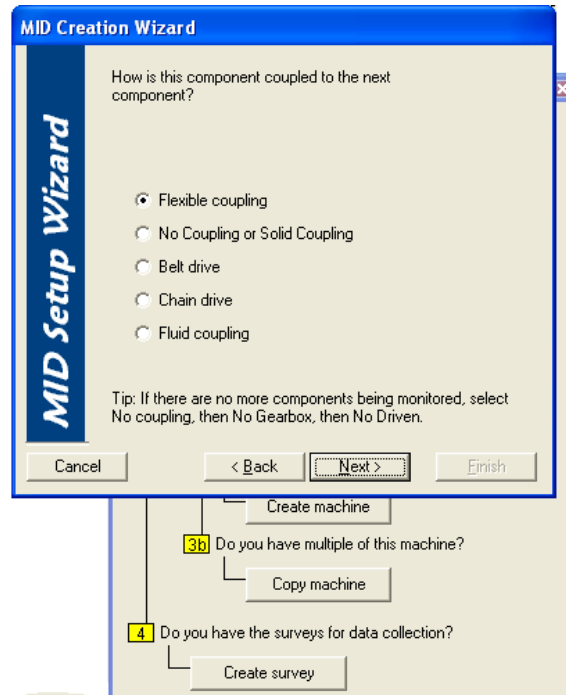
Şekil 4.7. Kaplin türünün seçildiği program görüntüsü

Uygulamaya konu olan pompa sisteminde açık kaplin sistemi vardır. Pompa ile motor arasındaki bağlantı açık kaplin ile sağlanmıştır. Şekil 4.7 deki kaplin türünün seçilmesi buna göre yapılmıştır.

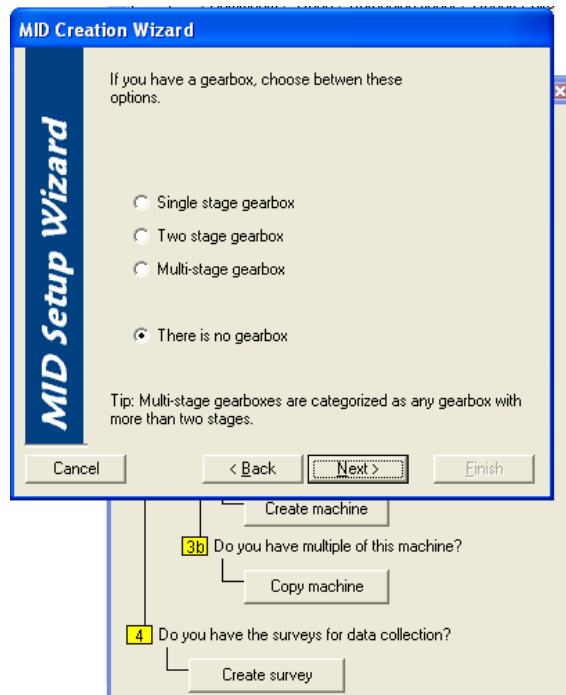


Şekil 4.8. Motor tanımlamasının yapıldığı program görüntüsü

Şekil 4.8’de de görüldüğü gibi AC motor seçilmiştir. Motorda soğutma fanı olduğundan o seçenek de işaretlenmiştir. Ayrıca sistemde bulunan 4 rulmanın ilk ikisinin numaralandırılması da bu bölümde yapılmıştır.

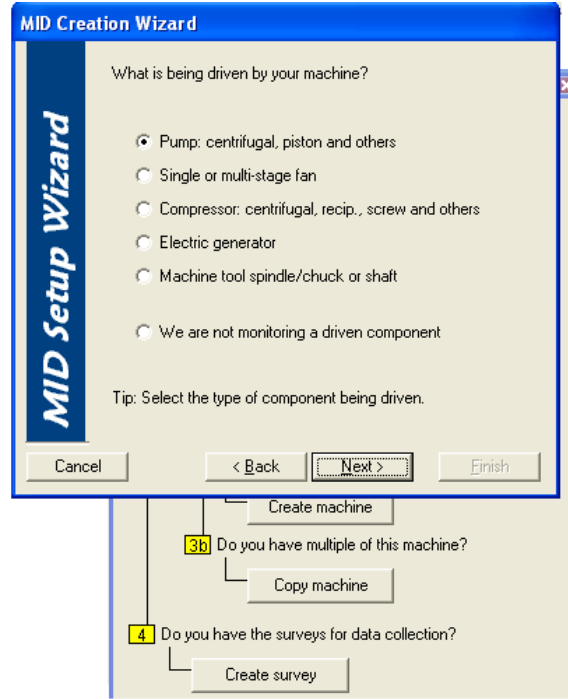


Şekil 4.9. Kaplinleme türünün belirtildiği program görüntüsü



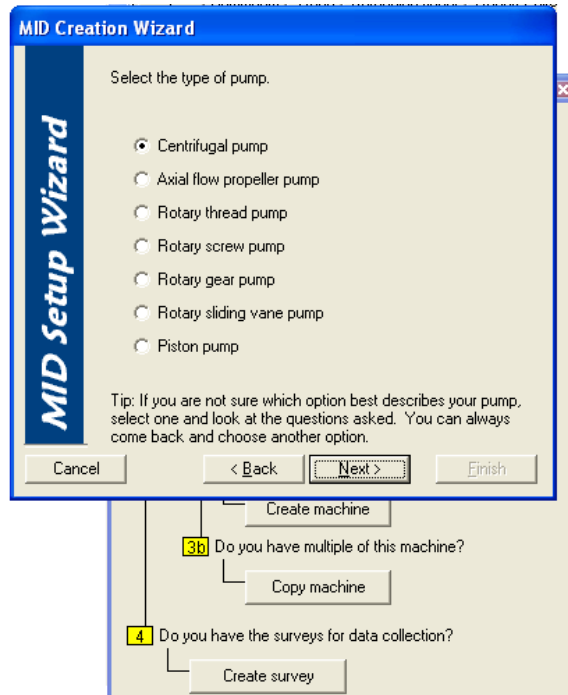
Şekil 4.10. Redüktörün seçildiği ekran görüntüsü

Sistemde redüktör kullanılmadığından redüktör seçilememiştir.



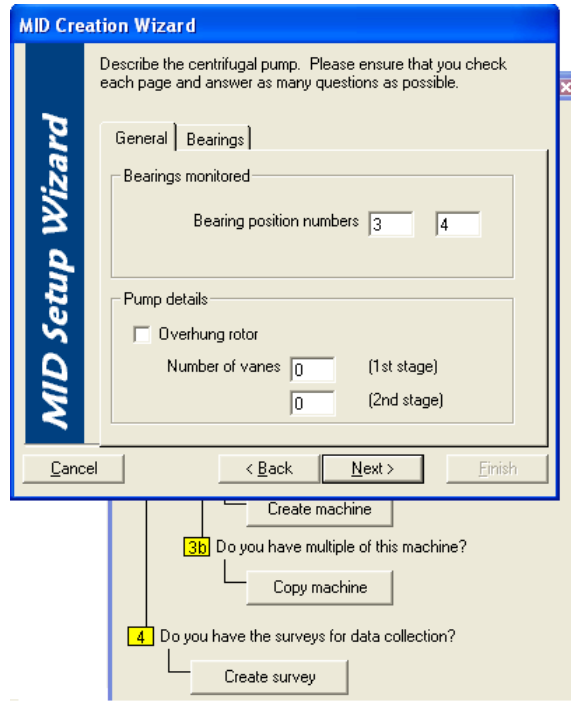
Şekil 4.11. Motorun tahriklediği sistemin seçildiği program görüntüsü

Sistemde motor tarafından pompa tahriklenmektedir. Şekil 4.11’de görüldüğü üzere pompa yerine fan, kompresör gibi elemanlarda olabilirdi.



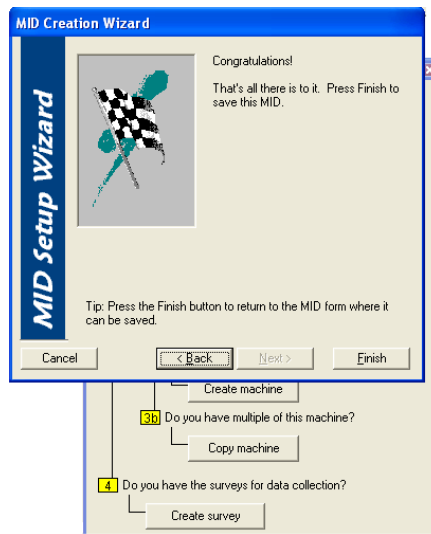
Şekil 4.12. Pompa tipinin seçildiği program görüntüsü

Motor tarafından tahriklenen pompa santrifüj pompadır.

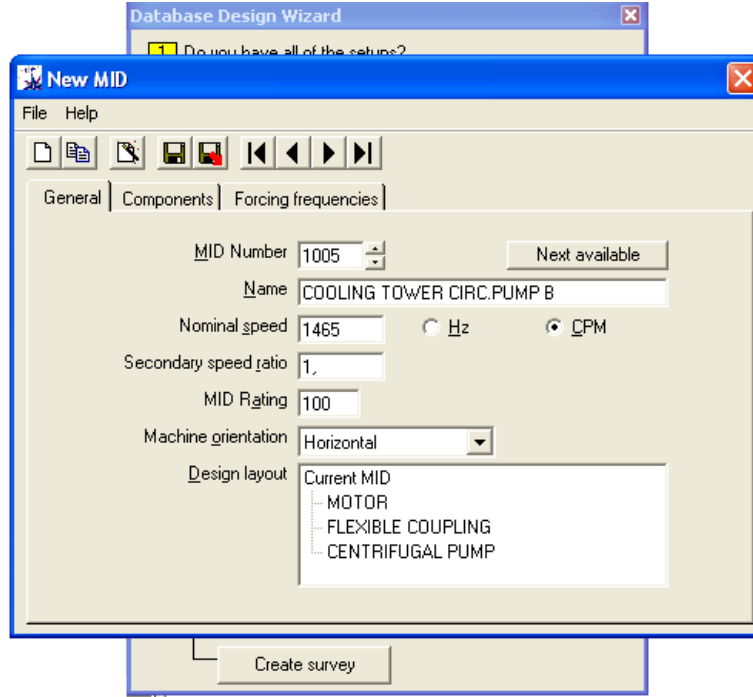


Şekil 4.13. Santrifüj pompadaki rulmanların tanımlanması

Daha önce motor tarafındaki 2 rulmanı tanımlanmıştı. Şekil 4.13 ile de pompa tarafındaki 2 rulmanın tanımlanması yapılmıştır.

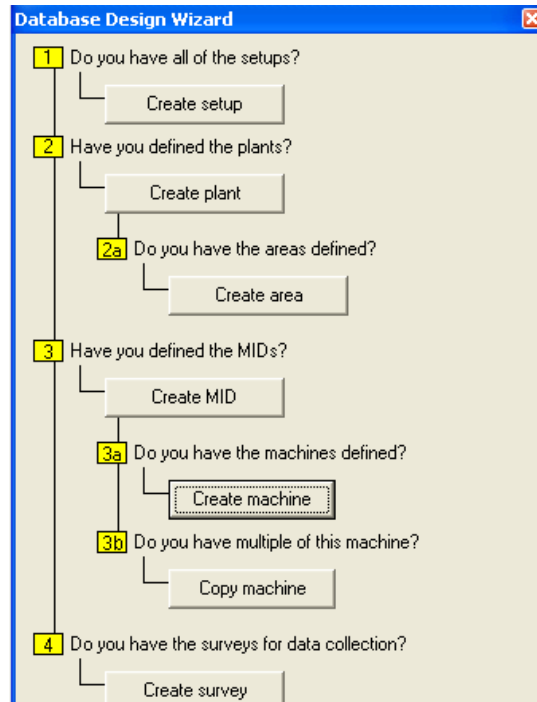


Şekil 4.14. MID işleminin tamamlandığını gösteren program görüntüsü



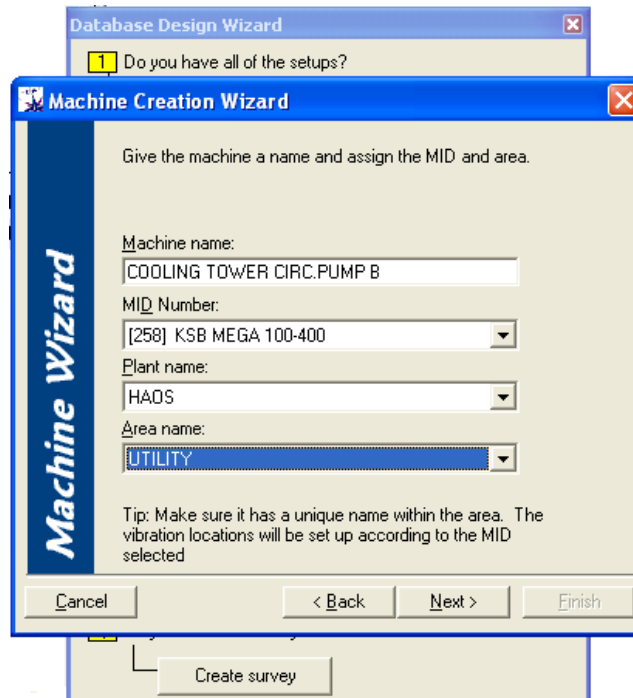
Şekil 4.15. Motorun devrinin girildiği program görüntüsü

Şekil 4.15'te görüldüğü gibi sistem devri 1465 d/dk olarak girilmiştir. Ayrıca MID için numara verilmiştir. Bu numara cihazın barkodu anlamına gelir. Uygulamaya konu olan ölçüm pompasının barkod numarası 1005'tir. Tesisteki tüm ölçüm noktaları bu şekilde barkod adı verilen numaralarla cihaza girilmiştir. Ölçüm yapılacak makineyi cihazdan seçerken oldukça kolaylık sağlar. Ölçüm noktasının adı da bu aşamada tanımlanmıştır.

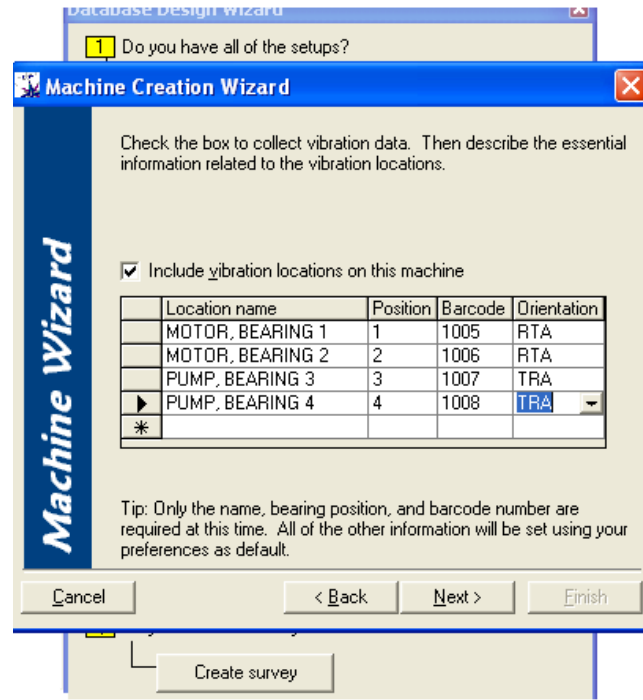


Şekil 4.16. Makineyi oluşturma seçeneğinin bulunduğu program görüntüsü

MID oluşturma işlemi tamamlandıktan sonra sıra makineyi oluşturmaya gelmiştir. Create Machine butonu ile makineyi oluşturma işlemi başlar.



Şekil 4.17. Makinenin isminin verildiği program görüntüsü



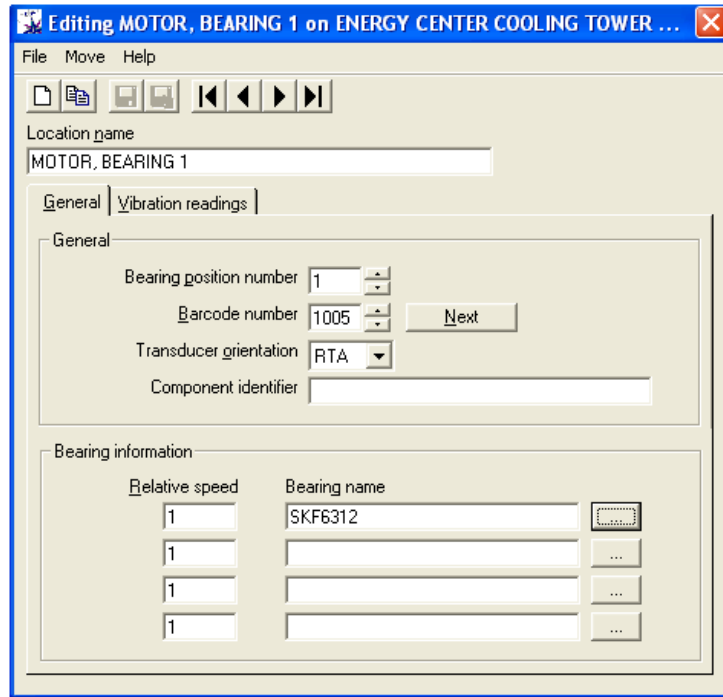
Şekil 4.18. Titreşim ölçüm yönleri ve barkod numaralarının girildiği program görüntüsü

Şekil 4.18’de görüldüğü gibi her bir rulman için pozisyon numaraları , barkod numaraları ve ölçüm yönleri girilmiştir.

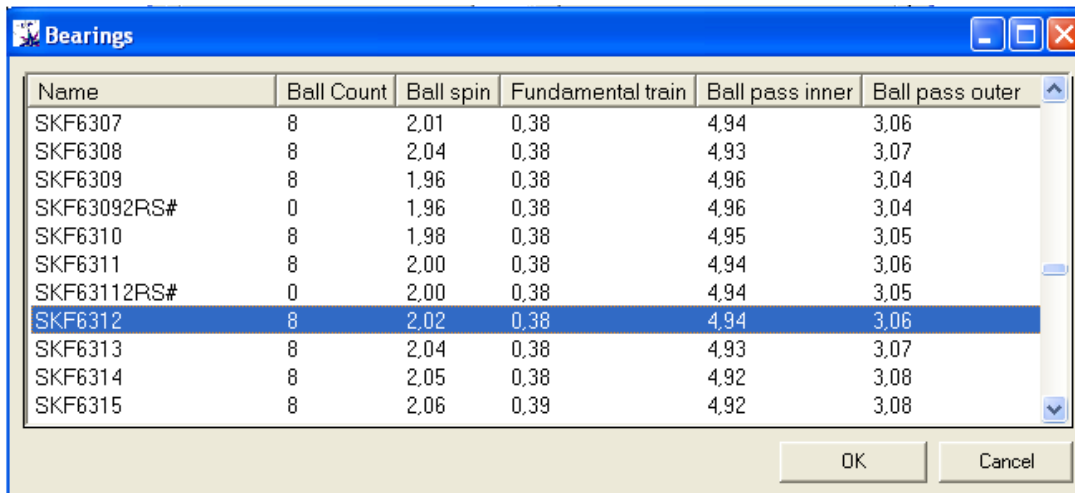


Şekil 4.19. Makine oluşturma işleminin bittiğini gösteren program görüntüsü

Makine oluşturulma işlemi tamamlandıktan sonra rulmanların seçilmesine gelmiştir. Programın database inde rulmanlar ve arıza frekansları mevcuttur. Yapılması gereken 4 noktadaki rulmanı sırasıyla tanımlamaktır.



Şekil 4.20. 1 numaralı rulman için tanımlamanın yapıldığı program görüntüsü



Şekil 4.21. Rulmanların listeden seçilmesinin program görüntüsü

Editing MOTOR, BEARING 2 on ENERGY CENTER COOLING TOWER ...

File Move Help

Location name
MOTOR, BEARING 2

General | Vibration readings

General

Bearing position number 2

Barcode number 1006 Next

Transducer orientation RTA

Component identifier

Bearing information

Relative speed	Bearing name
1	SKF6212
1	
1	
1	

Şekil 4.22. 2 numaralı rulman için tanımlamanın yapıldığı program görüntüsü

Editing PUMP, BEARING 3 on ENERGY CENTER COOLING TOWER P...

File Move Help

Location name
PUMP, BEARING 3

General | Vibration readings

General

Bearing position number 3

Barcode number 1007 Next

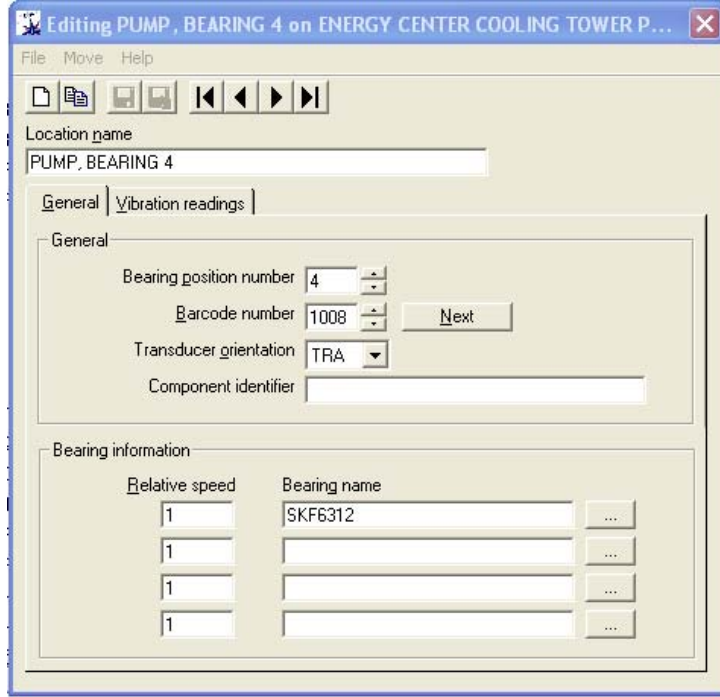
Transducer orientation TRA

Component identifier

Bearing information

Relative speed	Bearing name
1	SKF6312
1	
1	
1	

Şekil 4.23. 3 numaralı rulman için tanımlamanın yapıldığı program görüntüsü

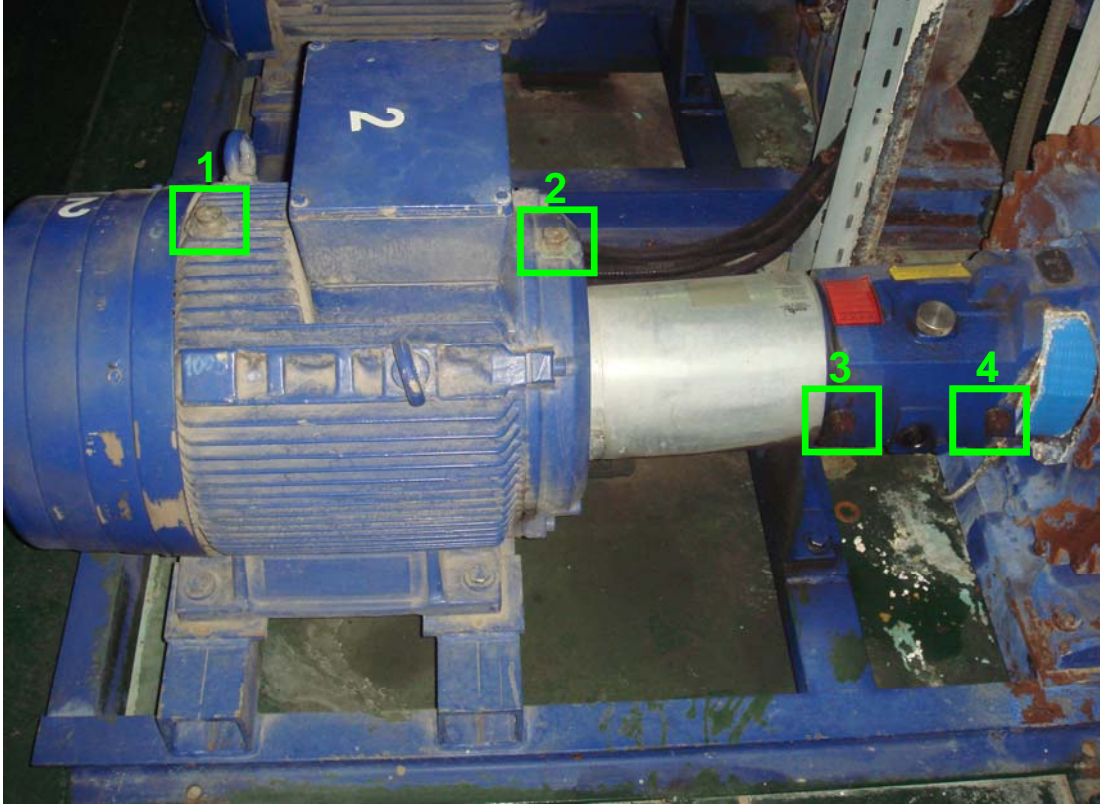


Şekil 4.24. 4 numaralı rulman için tanımlamanın yapıldığı program görüntüsü

Böylece rulmanların tanıtılma işlemi de sona ermiştir. EXPERT ALERT programının istediği tüm bilgiler girilmiştir. Sıra son aşama olan girilen datanın ölçüm cihazına aktarılmasındadır. DCA-50 titreşim analiz cihazımızı USB kablosu ile bilgisayara bağlayarak programda oluşturulan datayı cihaza yükleyip cihaz ölçüme hazır hale getirilir.

4.1.3. Titreşim ölçümlerinin alınması

Titreşim uygulamasına konu olan pompa, daha önce de belirtildiği üzere su pompasıdır. Soğutma kulelerine gitmesi gereken suyun sirkülasyonunu sistemde sağlar. 30 kw değerinde elektrik motoru ile çalışmaktadır. Makinayı cihaza tanıtma işleminde de değinildiği gibi motor tarafında 2 adet, pompa tarafında 2 adet olmak üzere 4 adet rulman vardır. Bu 4 noktadan ölçümler alınacaktır.



Şekil 4.25. Titreşim ölçüm noktalarının görüntüsü

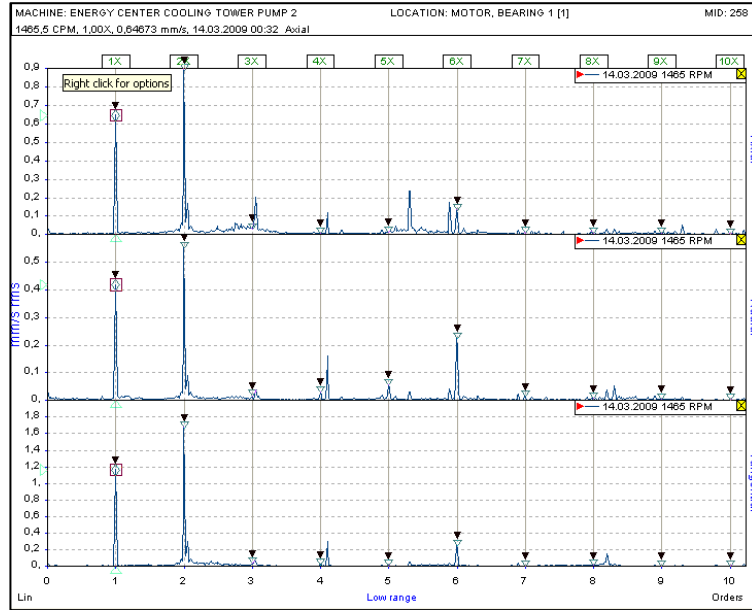
Şekil 4.25'te ölçüm noktaları ve bu noktalara yapıştırılmış olan ölçüm rondelaları görülmektedir. Ölçüm rondelalarının yapıştırılma işlemi çelik mumu ile yapılmıştır. Sırasıyla her noktadan DCA-50 titreşim ölçüm cihazı ile ölçümler alınmıştır. Şekil 4.26'da 1 no lu ölçüm noktasının rondelasına ivme algılayıcının bağlanması görülmektedir.



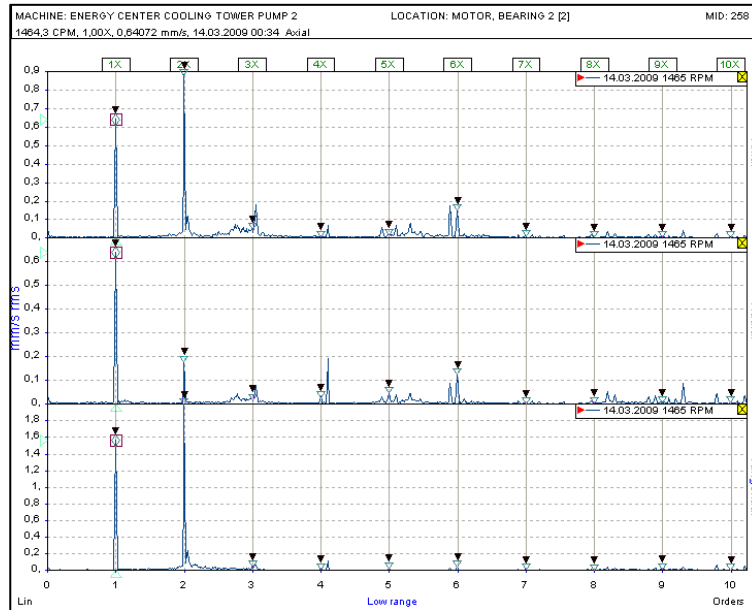
Şekil 4.26. İvme ölçerin ölçüm rondelasına bağlanması

4.1.4. Titreşim sonuçlarının alınması ve yorumlanması

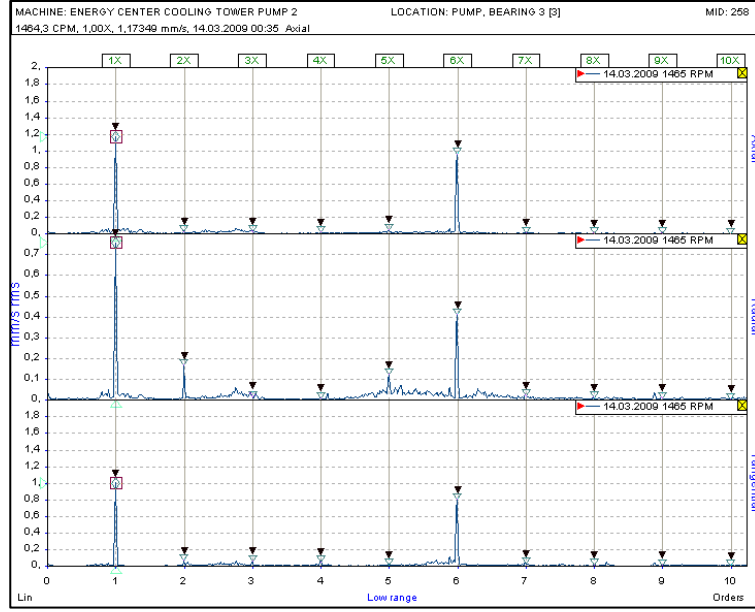
Gerekli ölçüm noktalarından ölçümlerin alınmasından sonra sıra yine USB kablosu ile titreşim ölçüm cihazını bilgisayara bağlayarak, EXPERT ALERT programı aracılığı ile ölçüm sonuçlarını bilgisayara aktarmaktadır.



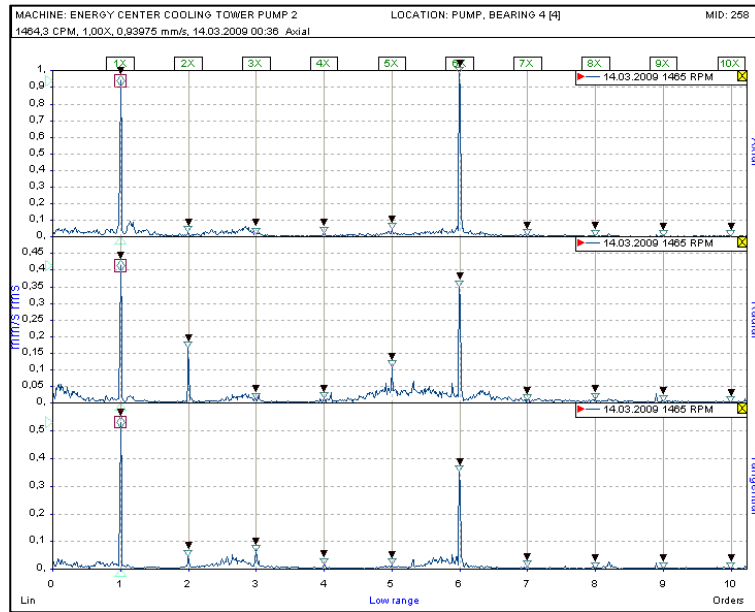
Şekil 4.27. Motor tarafı 1 numaralı ölçüm spektrum grafiği



Şekil 4.28. Motor tarafı 2 numaralı ölçüm spektrum grafiği



Şekil 4.29. Pompa tarafı 3 numaralı ölçüm spektrum grafiği

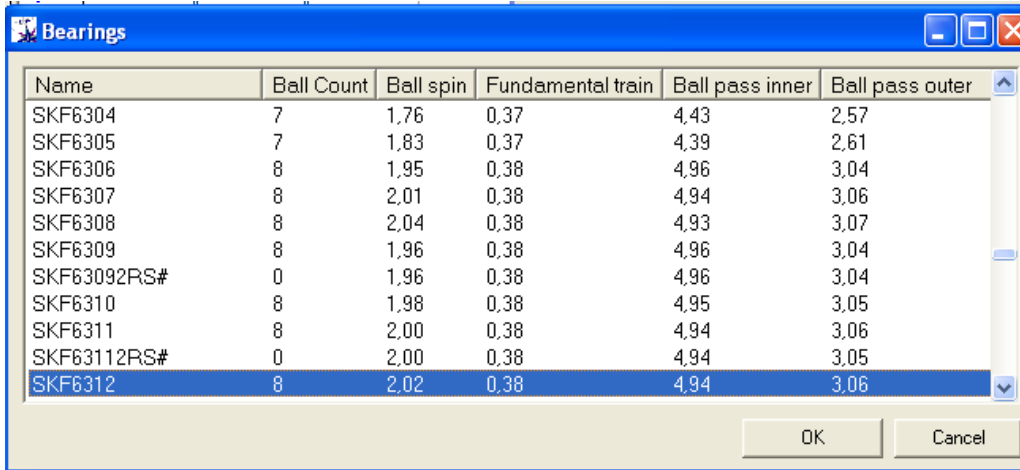


Şekil 4.30. Pompa tarafı 4 numaralı ölçüm spektrum grafiği

Bilindiği üzere DCA-50 titreşim analiz cihazı 3 yönde (radyal, eksenel, tanjantiyel) ölçüm yapabilmeye imkan tanımaktadır. Yukarıdaki spektrum grafiklerinde de 3 yönde alınan ölçümlerin sonuçları görülebilir.

Cihazın 1xRPM de yakaladığı ilk tepe sistemin devir sayısına denk gelmektedir. Sistemin 1465 d/dk ile çalıştığı programa da tanımlanmıştı. Ayrı noktalardan ölçümler alınarak grafikler aktarılmıştır ancak sonuçları yorumlarken bu 4 grafiği bir arada düşünmek gerekmektedir.

Şekil 4.27'ye baktığımızda 1xRPM deki en yüksek değerin tanjantiyel ölçüm noktasında karşımıza çıktığı görülmektedir. 2xRPM ye baktığımızda her yönde yüksek tepe oluşturduğu görülmektedir. Bölüm 2'de anlatıldığı üzere mekanik gevşeklik çalışma hızı harmoniklerinin katları olarak frekans alanında ortaya çıkar. Frekansın harmoniklerinde de tepeler devam ettiğinden sistemde mekanik gevşekliğin olduğu tespit edilmiştir. Rulman arızaları 3xRPM ve 6xRPM aralığında kendini göstermektedir. Yine aynı şekile baktığımızda 3xRPM nin hemen ilerisinde bir tepe görülmüştür. Dış bilezik bilye geçiş frekansına (BPFO) denk gelen bu değer rulmanın dış bileziğinin yatak üzerinde döndüğünü gösterir. Dış bilezik bilye geçiş frekansı, bütün bilyeler dış bilezik üzerindeki arızalı bölgeden geçiyorken üretilen frekanstır. Şekil 4.31'de 1 numaralı rulmanın arıza frekanslarını ve dış bilezik bilye geçiş frekansına denk gelen değerler görülmektedir.

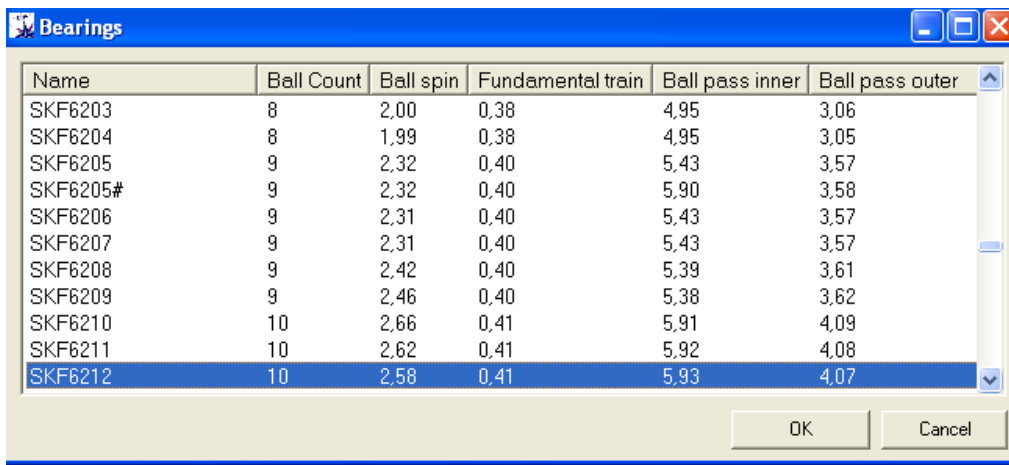


Name	Ball Count	Ball spin	Fundamental train	Ball pass inner	Ball pass outer
SKF6304	7	1,76	0,37	4,43	2,57
SKF6305	7	1,83	0,37	4,39	2,61
SKF6306	8	1,95	0,38	4,96	3,04
SKF6307	8	2,01	0,38	4,94	3,06
SKF6308	8	2,04	0,38	4,93	3,07
SKF6309	8	1,96	0,38	4,96	3,04
SKF63092RS#	0	1,96	0,38	4,96	3,04
SKF6310	8	1,98	0,38	4,95	3,05
SKF6311	8	2,00	0,38	4,94	3,06
SKF63112RS#	0	2,00	0,38	4,94	3,05
SKF6312	8	2,02	0,38	4,94	3,06

Şekil 4.31. 1 numaralı rulmanın arıza frekansları

Şekil 4.28'e baktığımızda yine 3xRPM nin hemen önünde bir tepe gözükmemektedir. Ancak 2 numaralı rulman için arıza frekans değerine denk gelmemektedir. Öyleyse 1 numaralı rulman nedeniyle oluşmuş olan ortak tepedir. Şekil 4.32'de 2 numaralı

rulmanın arıza frekansları görülmektedir. 6xRPM nin hemen gerisinde bir tepe oluşmuştur. İç bilezik bilye geçiş frekansına (BPFI) denk gelen bu değer rulmanın iç bileziğinin arızalanmaya başladığını gösterir. Ancak oluşan tepeye dikkatli baktığımızda yan bantların olmadığını rahatlıkla görebiliriz. Bu yüzden arızanın çeşidi konusunda net bir şey söyleyemeyiz. Rulman iç bileziği milin üzerinde dönüyor olabilir, ya da bilyalar iç bileziğin yüzeyinde aşınmaya sebep olmuş olabilir. Bu gibi durumlarla karşılaşıldığında makinanın bu noktasındaki ölçümler sıklaştırılarak detaylı inceleme yapılır ve sonuca gidilir.



Name	Ball Count	Ball spin	Fundamental train	Ball pass inner	Ball pass outer
SKF6203	8	2,00	0,38	4,95	3,06
SKF6204	8	1,99	0,38	4,95	3,05
SKF6205	9	2,32	0,40	5,43	3,57
SKF6205#	9	2,32	0,40	5,90	3,58
SKF6206	9	2,31	0,40	5,43	3,57
SKF6207	9	2,31	0,40	5,43	3,57
SKF6208	9	2,42	0,40	5,39	3,61
SKF6209	9	2,46	0,40	5,38	3,62
SKF6210	10	2,66	0,41	5,91	4,09
SKF6211	10	2,62	0,41	5,92	4,08
SKF6212	10	2,58	0,41	5,93	4,07

Şekil 4.32. 2 numaralı rulmanın arıza frekansları

4.1.5. Titreşim sonucunda alınması gereken önlemler

Kestirimci bakım yönteminin temelinde yatan prensip makinanın arızalanmadan önce bazı uyarı tipleri vermesi gerçeğine dayanmaktadır. Ölçümler sonucunda elde edilen bu uyarı tiplerine arızanın ciddiyetine göre karşı önlem alınmalıdır.

Motor tarafında tespit edilen mekanik problemi ile ilgili olarak motor ayak bağlantılarının kontrolünün yapılması gerekmektedir. Sıkma torkuna sıkılarak gevşeklik problemi giderilir. Bunlar yapılmazsa mekanik gevşeklik problemi yanında başka problemlerde getirebilir. Kaplin ayarlarının bozulması, balanssızlığın oluşması, kaplinin deforme olması, gürültülü çalışma gibi problemler giderilmediği takdirde mekanik gevşeklik problemini takip edeceklerdir.

Motor tarafında 2 numaralı rulmanda tespit edilen problem ile ilgili olarak motorun arka kapağı sökülerek rulman dış bileziğinin yatağına sabitlenmesi için harici yapıştırıcı madde kullanılması gerekebilir. Loctite denen malzeme kullanarak rulmanın ömrü uzatılmış olur. Rulman dış bileziğinin yatak üzerinde hareket ettiğini tespit ettiğimiz titreşim değeri daha yüksek olsaydı eğer direk olarak makine ilk durduğunda rulman değişimine gidilecekti. Kestirimci bakım sayesinde rulmana müdahale edilerek rulmanın ömrünün uzamasının yanısıra kapağın değişmesine de engel olunmuştur. Çünkü arka kapak motor dış bileziğinin yatağıdır. Bunun sayesinde de büyük bir maliyetten kurtarılmıştır.

Pompa tarafında tespit edilen rulman iç bilezik ile ilgili arıza da ise bir tepe görülmüştür ancak yan bantlar oluşmadığından arızanın türü ile ilgili net bir şey söylenememiştir. Bir daha ki sıklaştırılan ölçümlerde yan bantlara rastlanılırsa eğer rulman değiştirilmelidir. Değiştirilmezse kapağa ve motor rotoruna zarar verecektir. Özellikle motor rotoruna verilen zarar çok büyüktür çünkü maliyetü yüksek parçadır. Yan bantlar oluşmasının aksine tepe değeri yükselirse yine yapıştırıcı uygulaması ile rulman iç bileziğinin mil üzerindeki hareketi engellenecek ve de rulmanın çalışma ömrü uzatılmış olacaktır.

4.2. Termografi

Termografi uygulamaları daha çok elektrik sistemlerinde uygulanmaktadır. Bu sebeple elektrik uygulamalarına yer verilecektir.

Alçak gerilim, orta gerilim, yüksek gerilimde kullanılan ayırıcı, şalter kesici, birleşme noktaları, klemens grubu, anahtar, kontaktör, şalter bağlantı noktaları panolar kablolar gibi elemanlar kendi üzerlerinde taşıyabilecekleri akım sınırlarını aşma durumlarına ısınmalara sebep olurlar. Diğer bir ısınma sebebi ise bahsedilen noktalardaki sıcaklık artışının iyi yapılmamış yada sonradan oluşan gevşek bağlantılardır. Başlangıçta çok iyi bir şekilde montaj edilmiş olsalarda elektrik akımı ile ısınan bu elemanların bağlantı noktalarının çok az dahi olsa genleşmeleri, zamanla kontak noktalarında gevşekliğe sebep olurlar. Bu gevşek bağlantı noktaları

ise yüksek direnç göstererek dağıtım problemlerine sebep olur, yangın riskini artırır, verimi düşürür ve istenmeyen açma yada devre dışı kalmalara sebep olurlar.

4.2.1. Termografi uygulamasında kullanılan ölçüm cihazının tanıtılması

Çalışmada FLIR (İngiliz) marka termal kameranın P25 modeli kullanılmıştır. (Bkz. Şekil 4.33) Yüksek görüntü kalitesine sahip bu cihazda yüzeye temas etmeden sıcaklık ölçmek mümkündür. Tıpkı normal kamera gibi yüzey de net görüntüyü yakalayana kadar ayar yapıldıktan sonra çekimler yapılabilir. Kablosuz kullanım özelliği olduğundan işletmenin her noktasında kolaylıkla kullanılabilir. $-100^{\circ}C$ ile $350^{\circ}C$ arasında ölçümler alabilmektedir. USB bağlantısı aracılığıyla bilgisayar ortamına raporları aktarmak mümkündür.



Şekil 4.33. Uygulamada kullanılan termal kamera

4.2.2. Termografi ölçümlerinin alınması ve sonuçların yorumlanması

İlk alınan ölçüm pompanın kontaktör paneline aittir. Termal kamera ile alınan ölçümün görüntüleri fotoğraf olarak bilgisayar ortamına aktarılabilirdiği gibi Therma Cam Reporter 2000 programı aracılığıyla direk olarak rapor formatına da çevrilebilir. Şekil 4.34'te termal kamera ile alınan görüntü görülmektedir. Şeklin sağ tarafında yer alan renkli çubuk sıcaklık değişimine göre yer değiştirmektedir. Ancak daha önce de belirtildiği gibi cihaz $350^{\circ}C$ ye kadar ölçüm yapabilmektedir. Bu dereceye kadar renklendirmek mümkün olmayacağından belli bir sıcaklıktan sonra en açık renk olan beyazda sabit kalmaktadır.



Şekil 4.34. Termal kamera ile alınan panelin görüntüsü

SECTION :	UTILITY
EQUIPMENT :	ENERGY CENTER POMPA PANELİ MCC PANEL (TH-U131)
IMAGE NAME :	ir_6-utility_014.jpg
Object parameter	Value
Emissivity	0,95
Ambient temperature	30,0°C
Atmospheric temperature	41,0°C
Label	Value
IR : max	254°C
SP01	211°C
SP02	172°C
SP03	102°C
PROBLEM :	KONTAKTOR ORTA BAGLANTI VE EKIPMAN AŞIRI ISINMA
SUGGESTION :	KABLO DEĞİŞİMİ KONTAKTOR DEĞİŞİMİ

99,1°C

80

60

40

24,1°C

SP01

SP02

SP03

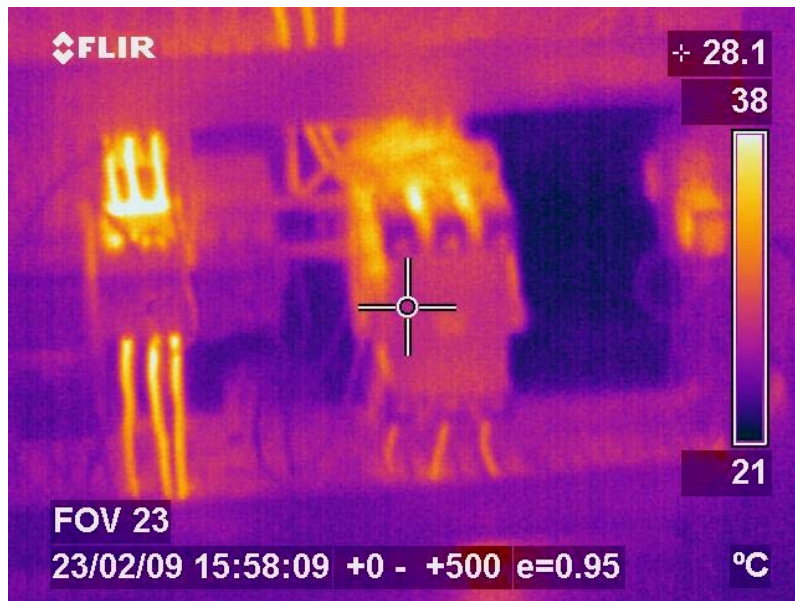
Şekil 4.35. Program yardımıyla alınan rapor görüntüsü

Ölçüm yaparken en yüksek sıcaklığı kamera görüntüsünün sağındaki çubuktan takip edilebilmektedir ancak fotoğraflama ve raporlama aşamasında beyaz renge ulaşıldıktan sonrası görülememektedir. O durumda sayısal değerlere bakılması gerekmektedir. Şekil 4.34 'deki fotoğraf görüntüsünde sağdaki çubuk 99°C 'ye kadar göstermesine

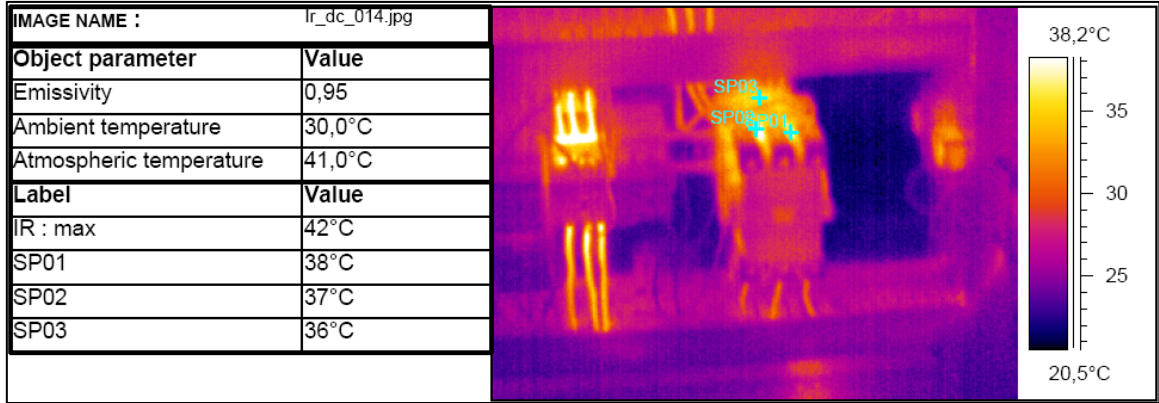
rağmen Şekil 4.35'deki rapor görüntüsünde tabloda sıcaklıkların maksimum noktada $254^{\circ}C$ olduğu görülmektedir.

Rapordan da anlaşılacağı üzere kontaktörün orta ucu çok yüksek sıcaklığa çıkmıştır. Bunun muhtemel sebebi cıvata gevşekliliğidir. Kablo ve kontaktör değiştirilerek problem giderilmiştir. Bu ölçüm alınmamış olsa ve gerekli müdahale yapılmamış olsaydı kablo komple yanacaktı, pano yanacaktı ve yüksek maliyetli daha büyük sorunlarla karşılaşılacaktı. Panonun tekrar devreye alınması için geçen zaman da pompanın çalışmasını engelleyeceğinden plansız duruşlara sebebiyet vermiş olacaktı.

Panoya müdahale ettikten sonra yapılan işlemin doğruluğunu teyit etmek için panodan tekrar ölçüm almak gerekmektedir.



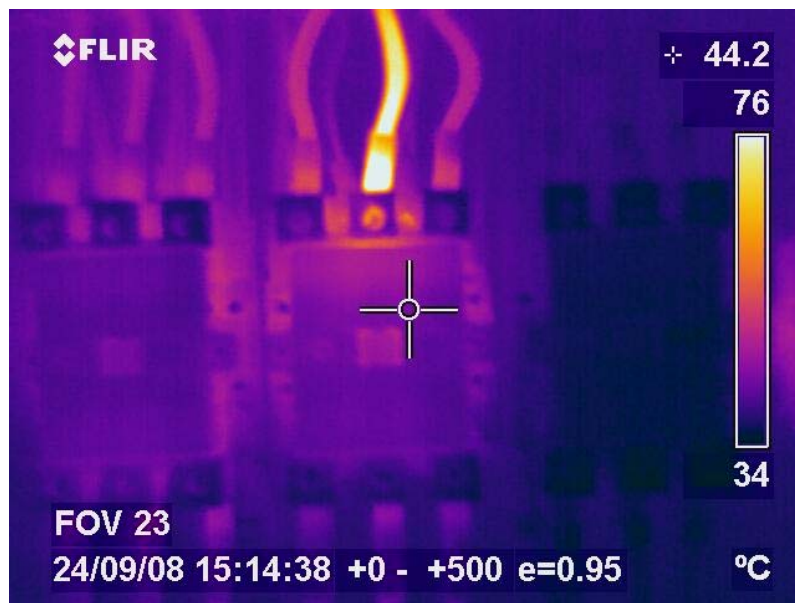
Şekil 4.36. İyileştirme sonrası panelin görüntüsü



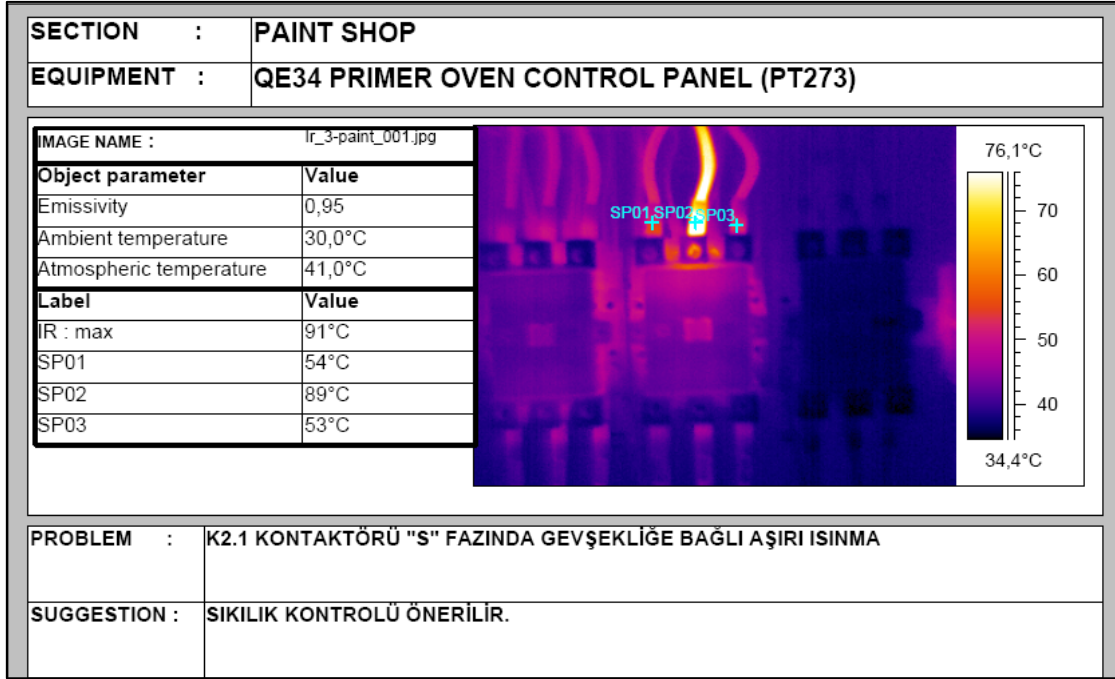
Şekil 4.37. İyileştirme sonrası alınan rapor görüntüsü

Kontrol amaçlı ölçümden anlaşılacağı üzere (Bkz. Şekil 4.37) sıcaklıklar nominal değerlere düşmüştür. Problemlili durumda ölçülen maksimum sıcaklık $254^{\circ}C$ iken iyileştirme sonrası bu sıcaklık $42^{\circ}C$ 'ye düşmüştür.

İkinci olarak alınan ölçüm ise boya kurutma fırınındaki havanın sirkülasyonunu sağlayan pompanın elektrik panosuna aittir. Termal kamera yardımıyla alınan görüntü ve Therma Cam Reporter 2000 programı ile oluşturulan rapor aşağıda görülmektedir.



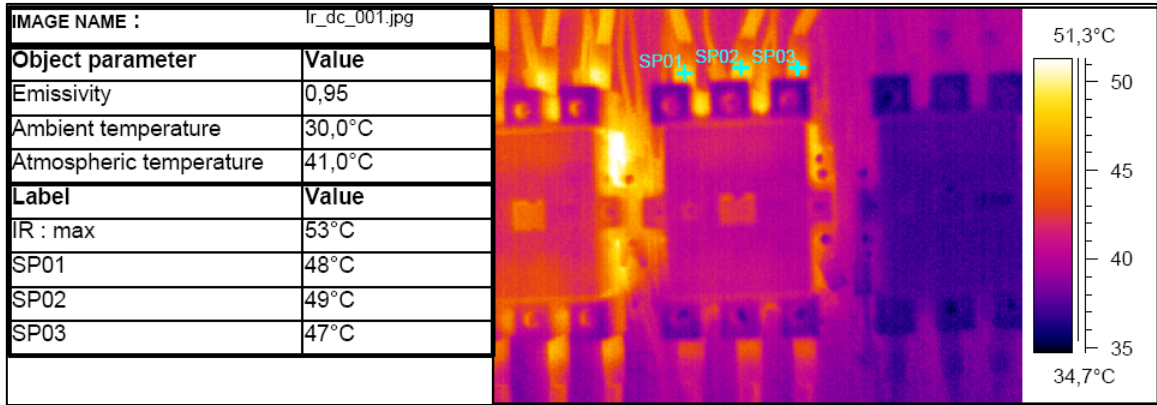
Şekil 4.38. Termal kamera ile alınan panelin görüntüsü



Şekil 4.39. Program yardımıyla alınan rapor görüntüsü

Yukarıdaki raporda da görüldüğü üzere kontaktör orta ucundaki maksimum sıcaklık $91^{\circ}C$ olarak gözlemlenmiştir. Bunun sebebi gevşemenin söz konusu olmasıdır. Yapılması gereken üzerindeki civatanın sıkılmasıdır. Gevşeyen civatayı sıkmak gibi basit bir işlem yaparak panodaki arızayı gidermek mümkündür. Böyle bir müdahale yapılarak yine kabloların ve panonun yanma riski ortadan kaldırılmış olundu.

Daha önce de yaptığımız gibi iyileştirme işlemi sonrasında yapılan işlemin doğruluğunu teyit etmek için tekrar ölçüm almak gerekmektedir. Alınan ölçüm raporu şekil 4.40'da görülmektedir. Bu rapordan da anlaşılacağı üzere gevşekliğin sıkılarak giderilmesi işlemi fayda sağlamıştır. Basit bir işçilik harcayarak büyük maliyetlerin önün geçilmiş, olası plansız hat duruşları engellenmiştir.



Şekil 4.40. İyileştirme sonrası alınan rapor görüntüsü

BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada öncelikle bakım metodları hakkında bilgiler verilmiş, kestirimci bakım metodu detaylı olarak ele alınmış ve son olarak kestirimci bakım uygulamalarına örnekler verilmiştir.

Önceki çalışmalara paralel olarak, titreşim analizi ve termografi ile erken teşhisi yapılan arızaların, işletmeye ve üretime olan zararlarının en aza indirilerek atlatıldığı sonucuna varılmıştır.

Titreşim uygulamasında ölçüm yönlerinin önemine, ölçüm cihazlarının tam anlamıyla kullanılabilmesi için öncesinde yapılması gerekenlere ve ölçüm sonuçlarının yorumlanmasına açıklık getirilmiştir. Pompanın motor tarafında tespit edilen mekanik gevşeklik problemine müdahale edilerek kaplin ayarlarının bozulması, balanssızlığın oluşması, kaplinin deforme olması ve gürültülü çalışma gibi problemlerin beraberinde gelmesi önlenmiştir. Bu problemlerin önlenmesi sayesinde de işletmeye ve üretime olan zarar minimuma indirilmiştir. Motor tarafındaki 2 numaralı rulmanda tespit edilen problem ile ilgili olarak dış bileziğin yatağa sabitlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bunun sayesinde rulmanın çalışma ömrü uzamıştır. Ayrıca motorun arka kapağı dış bileziğin yatağı olduğundan kapak değişimine sebebiyet verecek bir arıza meydana gelmeden problem giderilmiştir.

Termografi uygulamasında ise $254^{\circ}C$ 'ye çıkmış olan kablonun ve kontaktörün değişimi ile kablonun ve elektrik panosunun yanmasının önüne geçilmiştir. Bu kestirimci bakım faaliyetinin hem maliyet hem de iş güvenliği açısından faydası görülmüştür. Termografinin ikinci uygulaması olan boya kurutma fırınındaki havanın sirkülasyonunu sağlayan pompanın kontrol panelinde ise gevşeklik problemi tespit edilmiş ve sıkılarak giderilmiş bir kablo ucu söz konusudur.

KAYNAKLAR

- [1] EYVAZIAN, G., “Vibration Diagnostic Guide”, SKF Condition Monitoring, USA, pp 22-25, 1994
- [2] GELEN, D.W., “Introduction to Machine Vibration”, DLI Engineering Corp., pp 14-15, 1993
- [3] LIPOVSZKY, G.Y., SOLYOMVARI, K. and VARGA, G., “Vibration Testing of Machines and Their Maintenance”, pp 52-56, 1990
- [4] BOGNATZ, S.R., “Alignment of Critical and Noncritical Machines”, www.bently.com/service/training/mlmidalign.htm , Nisan, 2000
- [5] PIOTROWSKI, J., “The Importance of Shaft alignment”, www.maintenanceresources.com/ReferencLibrary/Alignment, Nisan, 2001
- [6] ERÇELEBİ, S.G., “Maden Makinalarında Koruyucu Bakım Onarım Planlaması” sf. 31, İstanbul, sf 35-36, 1997
- [7] KÖSE, R.K., "Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Planlaması", 3. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, 21-23 Eylül, 1988
- [8] CRAWFORD, A.R. and CRAWFORD, S., “The Simplified Handbook of Vibration Analysis, volum1-2” Computational Systems Inc., pp 42-44, 1992
- [9] OSVAL, L., “Development of the Maintenance System in the Chemical Combine of Borsod”, Lectures of the 3rd Maintenance Conference, Budapest, Gepipari Tudomanyas Egységlet (GTE), 1977
- [10] JUNDGART, B., “Using Transducer for Machinery Fault Detection”, Sensors Magazine Helmers Publishing Inc., pp 26-28, 1988
- [11] VICTOR, W., “Machinery Vibration Measurement and Analysis”, Mc Graw Hill Book Company, pp 7-10, 1991
- [12] TAYLOR, J.I., “The Vibration Analysis Handbook” Vibration consultants Inc., pp 18-22, 1994
- [13] GELEN, D.W., “Introduction to Machine Vibration”, DLI Engineering Corp., pp 15-17, 1993

- [14] BISWAS, M., PANDEY, A.K. and BLUNI, S.A., "Modified Chain-Code Computer Vision Techniques for Interrogation of Vibration Signatures for Structural Fault Detection", Journal of Sound and Vibration , No:175, pp 89-104, 1994
- [15] ESHLEMAN, R.L., "Machinery Vibration analysis II", VI Press, pp 75-76, 1996
- [16] GELEN, D.W., "Introduction to Machine Vibration", DLI Engineering Corp., pp 20-25, 1993
- [17] PIOTROWSKI, J., "Why Shaft Misalignment Continues to Befuddle and Undermine Even the Best CBM and Pro-Active Maintenance Programs", www.maintenanceresources.com/ReferencLibrary/Alignment_Mart, 2001
- [18] ESHLEMAN, R.L., "Machinery Vibration analysis II", VIPress, pp 83-84, 1996
- [19] BOGNATZ, S.R., "Alignment of Critical and Noncritical Machines", www.bently.com/service/training/mlmidalign.htm, Nisan, 2000
- [20] PIOTROWSKI, J., "Why Shaft Misalignment Continues to Befuddle and Undermine Even the Best CBM and Pro-Active Maintenance Programs", www.maintenanceresources.com/ReferencLibrary/Alignment, Nisan, 2001
- [21] STEVENS, D., "Machinery vibration Diagnostics, Case History No:1-2-3-4-5", AV Technology Limited, pp 33-38, 1997
- [22] TAYLOR, J.I., "The Vibration Analysis Handbook" Vibration consultants Inc., pp 28-35, 1994
- [23] VICTOR, W., "Machinery Vibration Measurement and Analysis", Mc Graw Hill Book Company, pp 49-52, 1991
- [24] VICTOR, W., "Machinery Vibration Measurement and Analysis", Mc Graw Hill Book Company, pp 52-57, 1991
- [25] STEVENS, D., "Machinery vibration Diagnostics, Case History No:1-2-3-4-5", AV Tecnology Limited, pp 30-34, 1997
- [26] HARRIS, T.A., "Rolling Bearing Analysis", John Wilay and Sons, Inc., pp 40-46, 1991
- [27] BENTLY, D.E., "Predictive Maintenance Through the Monitoring and Diagnostics of Rolling Element Bearing.", Applications Note www.bentlicom/articles/apnotles/an044pxa.asp, Nisan, 2001

- [28] MOMONO, T. and NODA, B., "Sound and Vibration in Rolling Bearing", Motion and Control, No. 6, pp 44, 1999
- [29] CRAWFORD, A.R. and CRAWFORD, S., "The Simplified Handbook of Vibration Analysis, volum1-2" Computational Systems Inc., pp 54-55, 1992
- [30] GELEN, D.W., "Introduction to Machine Vibration", DLI Engineering Corp., pp 20-24, 1993
- [31] GEROPP, B., "Envelope Analysis-A Signal analysis Technique for Early Detecting and Isolation of Machine Faults", ACIDA GmbH, Germany, pp 60-63, 2000
- [32] GLUZMAN, D., "Recognizing Impending Bearing Failure", Reliability Magazine, June, pp 42, 2001
- [33] MEYER, P.A., "Ultrasound as a Quality Control Tool, Quality Progress" February, pp 51. 1988.
- [34] MEYER, P.A., "Ultrasound as a Quality Control Tool, Quality Progress" February, pp 52. 1988.
- [35] MEYER, P.A., "Ultrasound as a Quality Control Tool, Quality Progress" February, pp 52-53. 1988.
- [36] LEE, S.C., SUEN, J.M., "Ultrasonic Nondestructive Evaluation of Matrix Structures and Nodularity in Cast Irons", Metallurgical Transaction A., 1990 Volume 20. pp 2399-2407
- [37] LIN, H.N., STONER, R.J., MARIS, H.J., "Nondestructive Testing by Microstructures by Picosecond Ultrasonics", Journal of Nondestructive Evaluation, Vol 9. No 4, pp 239- 245. 1990.

ÖZGEÇMİŞ

Serdar YÜCEL, 11.01.1984 yılında Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2002 yılında Atatürk Süper Lisesi'nden mezun oldu. 2002 yılında Sakarya Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümüne girdi ve 2006 yılında mezun oldu. 2007 – 2008 yılları arasında Asaş Alüminyum Sanayi ve Tic. A.Ş'de Üretim Mühendisi olarak çalıştı. Şu anda Hyundai Assan Otomotiv Sanayi ve A.Ş'de Kalite Mühendisi olarak görev yapmaktadır.