

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

**SU POMPA İSTASYONUNDA KESTİRİMCİ BAKIM
VE YÖNETİM ORGANİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Veysel TATAR

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ömer K. MORGÜL

Şubat 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SU POMPA İSTASYONUNDA KESTİRİMCİ BAKIM
VE YÖNETİM ORGANİZASYONU**

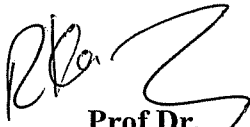
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Veysel TATAR


Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

Bu tez 19/02/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



**Prof.Dr.
Recep KOZAN**

Jüri Başkanı


**Yrd. Doç. Dr.
Ömer K. MORGÜL**

Tez Danışmanı

Jüri Üyesi


**Yrd. Doç. Dr.
Baha GÜNEY**

Jüri Üyesi

TEŞEKKÜR

Bu konuda çalışma fırsatı bulduğum danıŐman hocam Yrd. Doç. Dr. Ömer Kadir MORGÜL'e, bilgi ve tecrübelerinden yaralandığım çok kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Baha GÜNEY'e, bir ağabey gibi, bana çözüm yolu gösterip yolumu açan ArŐ. Gör. Hüseyin DAL'a, ölçümlerin alınmasında müsaade eden "ADASU Genel Müdürlüğüne" ve en önemlisi çalıŐmanın her aşamasında sabırları ve hoşgörülerıyla bana destek olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

BAKIM YÖNETİMİ VE ORGANİZASYONU	2
2.1. Periyodik Koruyucu Bakım.....	2
2.1.1. Güvenilirlik ve ömür testleri	3
2.1.2. Standart yenileme modeli ile periyodik bakım.....	5
2.2. Kestirimci Bakım	11
2.3. Bakım Programının Belirlenmesi	13
2.4. Bakım Organizasyonu	14
2.4.1 Bakım maliyeti	15

BÖLÜM 3.

TİTREŞİM ESASLI KESTİRİMCİ BAKIM	18
3.1. Titreşim Analizi İle Kestirimci Bakım	19
3.2. Titreşimin Ölçülmesi ve Analizi	20
3.2.1. Titreşimin parametreleri	20
3.2.2. Frekans (Spektral) analizi.....	22

3.3. Arızalar ve Titreşim Karakterleri	24
3.3.1. Dengesizlik	24
3.3.2. Eksen kaçıklığı	25
3.3.3. Mekanik gevşeklik	26
3.3.4. Dişli arızaları	27
3.3.5. Rulman arızaları	28
3.3.6. Pompalardaki arıza karakteristikleri ve görünümleri	29
BÖLÜM 4.	
KESTİRİMCİ BAKIM ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRMELER	32
4.1. Dengesizlik	34
4.2. Mekanik Gevşeklik	36
4.3. Rulman Arızaları	38
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR	44
EKLER	46
ÖZGEÇMİŞ	50

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

A	: Genlik, mm/sn
a	: İvme, mm/sn ²
B	: Rulman genişliği, mm
β	: Weibull dağılımı şekil parametresi
C	: Dinamik yük sayısı
c_1	: Arıza meydana geldiğinde oluşan maliyet, TL
c_2	: T. zamanda beklenen maliyet, TL
C_k	: k. dönemde beklenen maliyet, TL
d	: Bilye çapı, mm
D	: Rulman ortalama çapı, mm
F_a	: Eksenel yük, Kn
F_r	: Radyal yük, kN
F(t)	: Kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonu
f(t)	: Olasılık yoğunluk fonksiyonu
f	: Frekans, Hz
k	: Dönem sayısı
L	: Rulman nominal ömrü, [10^6 devir]
L_h	: Rulman nominal ömrü, [saat]
μ	: Ortalama
n	: Bilye sayısı
N	: Dönme hızı, d/d
η	: Weibull dağılımı ölçek parametresi
P	: Dinamik eşdeğer yük, kN
P_k	: k. dönemdeki arıza olasılığı, %

p	: Ömür üssü
P_d	: Akışkanın ortam sıcaklığındaki buhar basıncı, m
T	: Periyot, s
T^*	: Optimal yenileme zamanı
v	: Hız, mm/sn
ω	: Açısal frekans, rad/s
ω_c	: Kafes frekansı, Hz
ω_b	: Bilye dönme frekansı, Hz
ω_{bp}	: Dış bilezik bilye geçiş frekansı, Hz
ω_{bpi}	: İç bilezik bilye geçiş frekansı, Hz
X	: Herhangi bir andaki yerdeğiştirme , mm
X_0	: Maksimum yerdeğiştirme, mm
Φ	: Faz açısı, rad, deg
$1X$: Dönme devri birinci katı

Kısaltmalar

BSF	: Ball Spin Frequency (Bilye Dönme Frekansı)
BPFO	: Ball Pass Frequency Outer Race (Dış Bilezik Bilye Geçiş Frekansı)
BPMF	: Ball Pass Frequency Inner Race (İç Bilezik Bilye Geçiş Frekansı)
FTFI	: Fundamental Train Frequency (Kafes Frekansı)
GMF	: Gear Mesh Frequency (Dişli Kavrama Frekansı)
ISO	: International Standard Organization (Uluslararası Standard Organizasyonu)
KGF	: Kanat Geçiş Frekansı
NPSH	: Net Positive Suction Head (Net Pozitif Emme Yüğü)
NPSHr	: Net Positive Suction Head Required (Gerekli Net Pozitif Emme Yüğü)
RPM	: Revolution Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
RMS	: Root Mean Square (Karekök Ortalama)
TS	: Türk Standartları

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Arıza trend eğrisi	4
Şekil 2.2. Frekans aralığının belirlenmesi	7
Şekil 2.3. Optimum yenileme zamanı.....	10
Şekil 2.4. Kestirimci bakım grafiği.....	12
Şekil 2.5. Makine çalışma şartlarının kestirimci bakım ile kontrolü	13
Şekil.2.6. Planlı bakım organizasyon şeması [4]	14
Şekil.2.7. İşletme mevcut organizasyon şeması	14
Şekil.2.8. Önerilen organizasyon şeması	15
Şekil 3.1. Kestirimci bakım yöntemi akış şeması [8]	19
Şekil 3.2. Harmonik titreşim ve parametreleri.....	21
Şekil 3.3. Tek boyutta Fourier dönüşümü (FD).....	23
Şekil 3.4. Örnek bir fana ait kısımların ürettiği sinyallerin Fourier dönüşümü.....	23
Şekil 3.5. Dengesizliğe örnek spektrum ve dalga form grafikleri	25
Şekil 3.6. Eksen kaçıklığına ait spektrum ve dalga form grafikleri.....	26
Şekil 3.7. Mekanik gevşeklik spektrum ve dalga form grafikleri [15]	27
Şekil 3.8. Dişli sinyali bulunan örnek spektrum ve dalga form grafikleri.....	28
Şekil 3.9. Rulman arızasına örnek spektrum grafiği ve dalga form grafiği.....	28
Şekil 3.10. Rulman hasar frekansları	29
Şekil 3.11. Rulman geometrisi ve hasar titreşim frekansları	29
Şekil 3.12. Statik dengesiz rotor ve dengesizlik spektrumu [18].....	30
Şekil 3.13. Kaviteasyona ait örnek spektrum ve dalga form grafikleri	30
Şekil 3.14. Kaviteasyon spektrum grafiği [18].....	31
Şekil 3.15. Paralel aksenal kaçıklık ve açısasal aksenal kaçıklık	31
Şekil 4.1. Adasu Maltepe tesisi pompa istasyonu.....	32
Şekil 4.2. Motor-Pompa sistemine ait titreşim ölçüm noktaları	33
Şekil 4.3. Motor fanı yatay ölçüm noktası.....	34
Şekil 4.4. Yatay yönde ölçülen motor fanına ait dalga form grafiği	34

Şekil 4.5. Yatay yönde ölçülen motor fanına ait spektrum grafiği	35
Şekil 4.6. Pompa mili ve çark kısmı eksenel ölçüm noktası.....	35
Şekil 4.7. Eksenel yönde ölçülen pompa mili ve çark kısmı dalga form grafiği	36
Şekil 4.8. Eksenel yönde ölçülen pompa mili ve çark kısmı spektrum grafiği.....	36
Şekil 4.9. Pompa mili ve şaft bağlantı noktası.....	37
Şekil 4.10. Pompa mili ve şaft bağlantı noktası spektrum grafiği	37
Şekil 4.11. Pompa mili ve şaft bağlantı noktası dalga form grafiği.....	37
Şekil 4.12. Motor ön rulman yatağı	38
Şekil 4.13. Motor ön rulmanı üzerinden alınan ölçüme ait spektrum grafiği.....	38
Şekil 4.14. Motor ön rulmanı üzerinden alınan ölçüme ait dalga form grafiği	39
Şekil 4.15. Pompa rulman yatağı	40
Şekil 4.16. Pompa rulmanı spektrum grafiği	41
Şekil 4.17. Pompa rulmanı dalga form grafiği.....	41

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1 FAG 6315 rulman tipine ait teknik özellikler.....	9
Tablo 2.2. FAG 6315 rulmanına ait zaman içinde meydana gelen arızaların olasılık dağılımları	9
Tablo 2.3. Bakım Maliyet Tablosu	17
Tablo 4.1. Motor ön rulmanı (FAG 6315) hasar frekansları ve harmonikleri	39
Tablo 4.2. Pompa rulmanı (FAG 6310) hasar frekansları ve harmonikleri	40

ÖZET

Anahtar kelimeler: Kestirimci bakım, titreşim analizi, yönetim ve organizasyon

Gelişen rekabet ortamında, işletmelerin uzun ömürlü olabilmesi için kullanılan makinelerin, çalışabilirliğinin ve performansının sürekliliğinin sağlanması çok önemlidir. Günümüzde işletmelerde kullanılan periyodik koruyucu bakım tekniğinde istatistiki yöntemler kullanılarak veya tecrübelerle dayanılarak hesaplanan periyotlar arasında da arızaların olması muhtemeldir. Bu nedenle kullanılan klasik bakım faaliyetlerinin dışında, arızaların başlangıç sürecinde tespiti amacıyla kestirimci bakım teknikleri kullanılmaktadır. Kestirimci bakım, sağladığı güvenilirlik ve kalite sayesinde işletmelerde önemli gelişmelerden biridir. Bu çalışmada öncelikle periyodik koruyucu bakım ile kestirimci bakım arasındaki fark anlatılmaya çalışılmış ve incelenen işletme için karma bir bakım modeli önerilmiştir. Ayrıca kestirimci bakım tekniklerinden, titreşim analizi yardımıyla, arızaların titreşim özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiş ve su dağıtım sektöründe kullanılan ekipmanın kestirimci bakım uygulaması sonucunda tespit edilen farklı karakteristikteki muhtemel arıza örnekleri incelenmiştir ve bakım yönetim organizasyonu önerilmiştir. Ekipmanın teknik özellikleri ve titreşim ölçüm noktaları belirlenerek bu sisteme ait titreşim ölçüm planı hazırlanmıştır. Bu ölçüm noktalarından belirlenen periyot süresince titreşim ölçümleri alınmış ve analizleri yapılmıştır. Karakteristik arızaların titreşim davranışları araştırılmıştır. Elde edilen veriler, mevcut standartlarla karşılaştırılarak, arızaların tehlikeli seviyelere ulaşarak önemli problemlerin meydana gelmesinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Kestirimci bakım uygulamasıyla, arızalara gelişim döneminde müdahale edilerek, işletme verimliliğinin etkinliği ve bakım maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır.

PREDICTIVE MAINTENANCE AND MANAGEMENT ORGANIZATION IN WATER PUMP STATION

SUMMARY

Key words: Predictive maintenance, vibration analysis, management and organization

In the developing competitive, it is important to keep continuous operability and performance of the machines used in businesses. Today, businesses are used in the periodic preventive maintenance technique, failures are likely to be between calculated period, using statistical methods or experiences. Therefore this predictive maintenance techniques are used outside of the conventional ones in order to determine any malfunctions at the beginning and in the development process. Predictive maintenance is one of the important developments with its providing reliability and quality. In this study first of all a general information about predictive maintenance, vibration analysis and the vibration characteristics of typical malfunctions has been given and different types of malfunctions which were determined after the predictive maintenance care of equipment which is used water distribution sector have been analysed and care management organization has been made. Vibration measurement plan for the equipment has been prepared by determining the technical properties and vibration measurement points of the models. Vibration measurements from these measurement points have been obtained on the basis of the determined periods in the study programmes and has been analysing. In these vibration analysis characteristics of typical malfunctions have been are investigated. Data by comparing known standards, it has been targeted to prevent further problems by preemting these malfunctions which are under observation before they reach dangerous levels. Thank to the application of predictive maintenance, by being interfered with malfunctions in the evolution phase and it has been achieved that business efficiency and the effectiveness of the reduction of maintenance costs has been made.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve bunun sonucu olarak değişen rekabet stratejileri karşısında modern üretim yapan sistemler, rekabet gereği maliyetleri düşürmek esasına göre bakım ve onarım giderlerini minimize etmeyi hedeflemektedir. Günümüzde birçok işletmeler, planlanan programlar dahilinde makinelerin periyodik olarak bakım ve onarım faaliyetleri sürdürmektedirler. Fakat işletmelerde, planlanan üretimin yapılması beklenirken ortaya arızalar çıkabilmekte ve bu arızaların oluşturduğu kesintiler ile üretim planları etkili bir biçimde uygulanamamaktadır.

Üretimin sürekli yapıldığı endüstriyel tesislerde, uygulanan bakım türleri özellikle büyük önem taşır. Üretimin aksamamasını isteyen bazı tesisler, erken uyarı niteliği olan kestirimci bakım yöntemlerini tercih etmektedirler. Ani arızalarla karşılaşmamak, beklenmeyen üretim kayıplarını engellemek, bakım onarım işlerini planlanabilir hale getirmek, ve bunları bakım yönetimi ve organizasyonu içerisinde oluşturmak kestirimci bakımın hedeflerini oluşturur.

Erken uyarı özelliği olan kestirimci bakım yöntemleri, kritik süreçler için idealdir. Bu bakım yöntemleri, makinelerin durumlarının düzenli olarak izlenmesine ve önemli değişikliklerin görülmesi durumunda, arıza meydana gelmeden müdahale edilmesine olanak sağlar. Periyodik bakım ile aslında kestirimci bakımın zamanı belirlenmektedir. Makinelerin çalışma koşulları altında yaydıkları titreşim, onların durumları hakkında fikir vermektedir [1]. Titreşim analiziyle yapılan kestirimci bakım uygulamasında, makine üzerinde belirli noktalardan uygun titreşim ölçüm cihazlarıyla periyodik titreşimler alınmaktadır. Bu titreşimler, analiz yazılımının bulunduğu bilgisayar ortamına alınarak çeşitli analiz teknikleriyle analiz edilir ve arızalar, başlangıç ve gelişim süreçlerinde tespit edilmeye çalışılır. Makine elemanlarının faydalı ömürlerini tam olarak kullanması hedeflenir.

BÖLÜM 2. BAKIM YÖNETİMİ VE ORGANİZASYONU

Bakım yönetimi, yüksek kalite ve verimliliği hedefleyen bakım faaliyetlerinin yönetim ve idaresini sağlamayı amaçlar. İşletmelerin verimli ve performanslı çalışabilmeleri, bakım faaliyetlerinin planlı ve zamanında yapılması ile mümkündür. Planlı bakım faaliyetleri sayesinde hem teçhizat kapasiteleri daha etkin kullanılır, hem de teçhizat hizmet fireleri azaltılmış olur. Bakım planlaması, önceden çizelgelenmiş bakım faaliyetlerinin belirlenmiş zamanlarda, iyi tanımlanmış yöntemlerle, herhangi bir teçhizat arızası daha ortaya çıkmadan uygulanmasını sağlar.

2.1. Periyodik Koruyucu Bakım

Bu yöntem işletmelerde çok kullanılan bakım yöntemidir. Önceden belirlenmiş program çerçevesinde makinenin hangi zaman aralıklarında durdurularak bakıma alınacağı belirlenir. Böylece üretim duruşlarına veya yıpranmalara neden olabilecek durumları ortaya çıkarmak için ekipman veya tesislerin periyodik olarak bakımının yapılması gerekmektedir.

Periyodik bakımın genellikle işletmelerde kullanılmasına rağmen, bazı dezavantajları da aşağıda şekilde sıralanabilir;

- a. Planlanan zaman aralıklarında beklenmeyen arızalardan dolayı üretimdeki durmalar, üretim planını bozmaktadır.
- b. Gerçekte plan dahilinde gerekmeyen bakım için gereksiz zaman ve personel israfı ortaya çıkar
- c. Periyodik bakım sırasında gerek geçmiş tecrübeler nedeniyle ve gerekse istatistiki değerlerle değişmesi planlanan parçalar, bazen ömürlerini tamamlamadan değiştirilmek zorunda kalacaktır. Dolayısıyla yedek parça maliyetini arttırdığı gibi ya stoklama problemini veya sistemin beklemesini ortaya çıkaracaktır.

Bunlara rağmen kullanılan bu yöntemde bakım periyodun mümkün olduğunca doğru tahmin edilmesi gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki başlıklarda anlatıldığı bir yöntem izlenebilir.

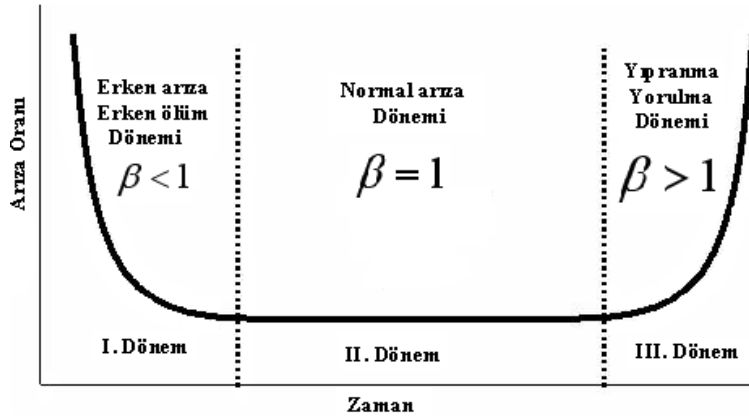
2.1.1. Güvenilirlik ve ömür testleri

Bir mamulün veya bir makine elemanının güvenilirliği; belirli çevre koşulları altında en az belirli bir süre ve belirli limitler içinde mamulün işlevini yerine getirme ihtimalidir. Kendinden beklenen fonksiyonu arıza yapmadan yerine getirme olasılığıdır.

Karmaşık sistemlerin güvenilirliği sistemde yer alan komponentlerin her birinin güvenilirliği bilindiği takdirde bulunabilir. Tek tek komponentlerin güvenilirliği “İstatistiki Ömür Testleri” ile ifade edilir. Mamulün gerçek güvenilirliğini tespit etme ve gerekirse düzeltici önlemlerin alınmasını sağlama amacına yönelik testler olup tasarım, alt montaj, pilot veya gerçek üretim faaliyetlerinde kullanılır. Testler aşağıdaki karakteristiklerin biri veya birkaçına göre düzenlenir.

1. Ortalama Ömür: Mamulün ortalama çalışma süresi
2. Arıza Oranı: Birim zamanda ortaya çıkan arızaların oranı
3. Belirli bir zaman için ani arıza oranı (Erken ölüm ve yıpranma dönemine rastlayan Weibull dağılımı ile karakterize edilen $\beta < 1 \lambda \downarrow$, $\beta > 1 \lambda \uparrow$)
4. Güvenli Ömür: Parti hacmi içindeki birimlerin bir kısmı bu ömrün sonunda da işlerini yerini getirmeye devam edecektir. Yıpranma döneminde normal dağılım ve Weibull dağılımları bu süreçte uygulanabilir.

Karmaşık sistemlerde arıza oranlarının zamana göre değişimi genellikle aynı trendi gösterir. Şeklinden dolayı banyo küveti eğrisi olarak adlandırılır. Şekil 2.1’ de verildiği gibi dönemsel olarak gösterilir.



Şekil 2.1. Arıza trend eğrisi

Her bir dönemde ortaya çıkan arıza oranları farklı olasılık dağılımları gösterir; Başlangıç dönemi: Hatalı parçalar veya yanlış kullanımdan dolayı arızalar ortaya çıkar. Bu devreye erken arıza veya erken ölüm dönemi de denir.

Normal dönem: Arıza oranı genellikle düşük ve sabittir. Tesadüfi etkenlerin etkisi altına arızalar ortaya çıkar.

Yıpranma dönemi: Ömür eğrisinin sonlarına doğru yıpranma ve yaşlanmadan kaynaklanan arızalar artan biçimde ortaya çıkar.

Güvenilirlik Ölçümünde Kullanılan Dağılımlar

- Dönem: Weibull Dağılım $\beta < 1$
- Dönem: Weibull Dağılım veya Eksponensiyel Dağılım $\beta = 1$
- Dönem: Normal Dağılım veya Weibull Dağılım $\beta > 3.5$

Güvenilirlik çalışmalarında en yaygın kullanım alanına sahip olasılık dağılımı Weibull dağılımıdır [2]. Weibull dağılımı, kuvvet karakteristiği eğrisinin, bütün dönemlerini karakterize edebilme yeteneğine sahiptir.

Weibull dağılımına ait olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(t; \eta, \beta) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (2.1)$$

ifade edilmektedir. Burada η ve β sırasıyla dağılımın ölçek ve şekil parametreleri olup $\eta > 0$ ve $\beta > 0$ ' dır. Bu parametrelerden β ile kuvvet karakteristiği eğrinin farklı dönemleri karakterize edilebilir. Eğer $\beta > 1$ ise artan hata hızı, $\beta < 1$ ise azalan hata hızı söz konusudur. (2.1) de belirtilen olasılık yoğunluk fonksiyonuna ait kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonu ise;

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta} \quad (2.2)$$

ifade edilir. $F(t)$, bir birimin t zamanından önce hata yapma olasılığıdır;

2.1.2. Standart yenileme modeli ile periyodik bakım

Önleyici bakım, tesis ve donanımların belirli bir programa göre arıza oluşma koşulu aranmaksızın yapılan muayene, yağlama, ayarlama, yenileme ile kullanılabilirlik süresinin arttırılmasıdır. Amaç acil bakım ihtiyaçlarını en aza indirmektir. Bakım planlaması, ekipmanların sürekli çalışır durumda olmasını sağlamak amacıyla yapılan planlama faaliyeti olup, esas amacı ekipmanların optimum kullanılmalarını sağlamaktır.

Bu kısımda belirli bir zaman diliminde içerisinde çalıştırılan ünitelerde meydana gelen arızaların genel dağılımı belirten gösterimler verilmektedir.

Sonlu bir ortalamaya (μ) ve yoğunluk fonksiyonuna ($f(t)$)'ye sahip olan dağılımın kümülatif dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde belirtilir [3].

$$F(t) \equiv \int_0^t f(u) du \quad (2.3)$$

$$\overline{F(t)} = 1 - F(t) \text{ olarak kabul edilir.} \quad (2.4)$$

(2.4)'deki ifadenin $[0, \infty]$ aralığında integrasyonu ile (2.5)'deki ifade elde edilir.

$$\mu \equiv \int_0^{\infty} \overline{F(t)} dt \quad (2.5)$$

(2.1)'deki ifadenin (2.4)'de belirtilen eşitliğe oranı ise arıza oranı $h(t)$;

$$h(t) \equiv \frac{f(t)}{F(t)} \quad (2.6)$$

ifade edilir.

Standart yenileme modelinde planlanan bir T zamanında ($0 \leq T \leq \infty$) veya arıza çıktığında oluşan yenilemeden kaynaklanan beklenen maliyet aşağıda verilmiştir [3].

$$C_k(T) = \frac{(c_1 - c_2)F(T) + c_2}{\left(\int_0^T \overline{F(t)} dt \right) + k\overline{F(T)}} \quad (2.7)$$

$$\int_0^T \overline{F(t)} dt \cong \sum_{k=1}^n kP_k \quad (2.8)$$

kabul edilir. ($k=1,2,3,\dots,n$)

P_k : Arıza olasılığı

k : Dönem sayısı

c_1 : Arıza meydana geldiğinde oluşan maliyet

c_2 : T. zamanda yenilemeden kaynaklanan maliyet ($c_2 < c_1$)

Eğer $T = \infty$ ise yalnızca arızalarda oluşan yenilemedir, ve sonuç olarak maliyet oranı;

$$C_1(\infty) = c_1 / \mu \quad (2.9)$$

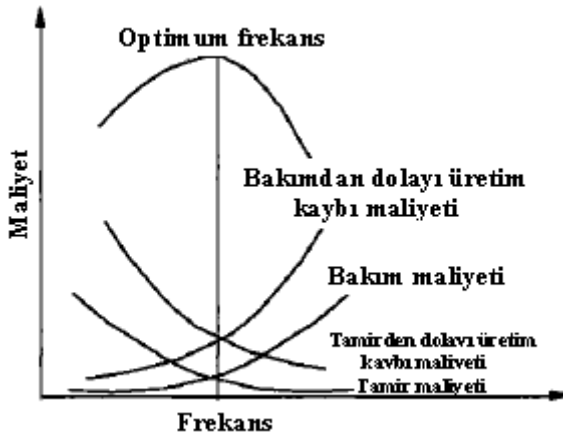
olarak hesaplanır.

Eğer arıza oranı $h(t)$ kesinlikle artıyorsa ve

$$h(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} h(t) > c_2 / [\mu(c_1 - c_2)] \quad (2.10)$$

ise buraya özgü olarak optimal bir T^* zamanı ($0 < T^* < \infty$) vardır.

Bakım frekansı, bakımın sistematik olarak uygulanacağı düzenli zaman aralığını göstermektedir. Ekipmanlar belirli aralıklarla bakıma alınmaları sonucunda Şekil 2.2' de gösterildiği gibi, belli miktar üretim kaybı olduğundan ürün satış geliri düşmekte ve tamir bakım maliyetleri artmaktadır.



Şekil 2.2. Frekans aralığının belirlenmesi

Dönel makine elemanlarında sıkça kullanılan rulmanlar ve bunlara bağlı arızalar bu tür makinelerle üretim yapan işletmeler için önemli problemler oluşturmaktadır.

Rulmanlara gelen yüklerin durumuna göre imalat firmalarının kataloglarında belirtilen tablolar yardımıyla kullanılan rulmanın ömürleri hesaplanır.

Rulmanlarda ömür hesabı;

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad [\text{kN}] \quad (2.11)$$

ifade edilir.

Burada;

P	:	Dinamik eşdeğer yük	[kN]
F_r	:	Radyal yük	[kN]
F_a	:	Eksenel yük	[kN]
X	:	Radyal yük katsayısı	
Y	:	Eksenel yük katsayısı	

Dinamik eşdeğer yük P [kN] büyüklüğü ve yönü sabit, radyal rulmanlarda radyal yük, eksenel rulmanlarda eksenel yük olup hesapla bulunan bir değerdir. X ve Y

değerleri ile rulman tiplerinde eşdeğer dinamik yükün hesabı için kullanılan özel formüller, rulman cetvellerinde verilmektedir.

Rulmanlarda malzeme yorulmasının, bozulma nedeni olarak alınması ve rulman kataloglarındaki cetvellerden hesaplanacak dinamik yük sayısı (C) ile birlikte ömür (2.12)'de belirtilen eşitlikle hesaplanır.

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad [10^6 \text{ devir}] \quad (2.12)$$

L= Nominal ömür

C= Dinamik yük sayısı

P= Dinamik eşdeğer yük

p= Ömür üssü (Bilyeli rulmanlar için 3, makaralı rulmanlar için 10/3 alınır.)

Rulman devir hızı sabit ise rulman nominal ömrü (L) (2.13)'deki eşitlikte yerine konulduğunda saat biriminde ifade edilebilir.

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{N \cdot 60} \quad [\text{saat}] \quad (2.13)$$

L_h = Nominal ömür [saat]

L= Nominal ömür [10^6 devir]

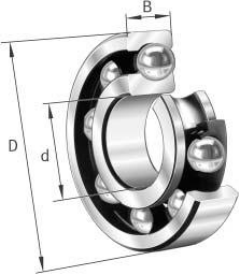
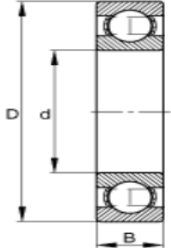
N= Devir hızı [d/d]

İstatistiki olarak yorulmadan dolayı rulmanların bozulduğu saptanmıştır, bu nedenle ömür hesabında bozulma olasılığı göz önüne alınmalıdır. Normal olarak kabul edilen bozulma olasılığı %10' dur. Bu nedenle imalat kataloglarında ömür L_{10} olarak verilmektedir.

İncelediğimiz su pompa istasyonuna bağlı motor-pompa ünitesinin motor ön kısmında bulunan FAG 6315 rulmana ait bir önceki kısımda belirttiğimiz standart

yenileme modeline göre, rulmana ait yüklemeler ve bu yüklemelere karşı %10 arıza olasılığı ile nominal ömrü Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1 FAG 6315 rulman tipine ait teknik özellikler

Kullanılan Rulman Tipi: FAG 6315	Rulman Boyutları ve Yükleri		Kullanıldığı Yer: Motor Ön Kısım Rulmanı
	d [mm]:75	F_r [kN]:4.884	N [d/d]: 1479(Motor Dönme hızı)
	D [mm]:160	F_a [kN]: 3.355	
	B [mm]:37	P [kN]:8.8	
		C [kN]:119	
		X:0.56	
		Y:1.81	
		p(ömür üssü): 3	
	L_{10} [10^6 devir]: 2470		
	L_{10h} [saat]:27900		

Belirtilen standart yenileme modeline göre incelenen motor-pompa ünitesinde motor ön kısmındaki FAG 6315 rulmanında meydana gelen arızalar nedeniyle oluşabilecek kayıpların en aza indirilmesi için optimum bakım zamanının ve buna bağlı olarak optimum maliyetin değeri Tablo 2.2’de verilen değerlere göre hesap edilmiştir. Tabloda belirtilen değerler ve maliyetler, incelenen işletmedeki bakım ekibinin verdiği bilgiler dahilinde oluşturulmuştur.

Tablo 2.2. FAG 6315 rulmanına ait zaman içinde meydana gelen arızaların olasılık dağılımları

k	Zaman (Saat)	Arıza Sayısı(Adet)	Arıza Olasılığı(P_k)	Kümülatif Yoğunluk Fonk.($F(T)$)	$k \cdot P_k$	$\sum_{k=1}^n k P_k$
1	5000	1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	10000	1	0.1	0.2	0.2	0.3
3	15000	1	0.1	0.3	0.3	0.6
4	20000	2	0.2	0.5	0.8	1.4
5	25000	4	0.4	0.9	2	3.4
6	30000	1	0.1	1	0.6	4
Toplam		10				

Arıza meydana geldiğinde oluşan yenilemeden kaynaklanan maliyet $c_1 = 1500TL$ ve belirli bir zamanda planlanan yenilemeden kaynaklanan maliyet ise $c_2 = 600TL$ olarak alınmıştır. Belirtilen bilgiler dahilinde beklenen maliyetler (C_k) ise aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$C_1(5000) = \frac{(1500 - 600) * 0.1 + 600}{0.1 + 0.9} = 690TL$$

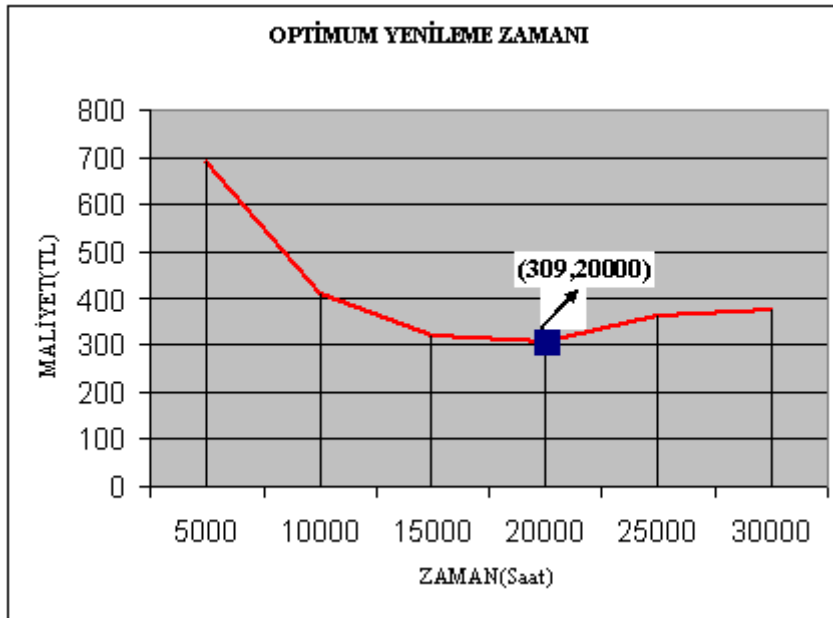
$$C_2(10000) = \frac{(1500 - 600) * 0.2 + 600}{0.3 + 1.6} = 411TL$$

$$C_3(15000) = \frac{(1500 - 600) * 0.3 + 600}{0.6 + 2.1} = 323TL$$

$$C_4(20000) = \frac{(1500 - 600) * 0.5 + 600}{1.4 + 2} = 309TL$$

$$C_5(25000) = \frac{(1500 - 600) * 0.9 + 600}{3.4 + 0.5} = 362TL$$

$$C_6(30000) = \frac{(1500 - 600) * 1 + 600}{4 + 0} = 375TL$$



Şekil 2.3. Optimum yenileme zamanı

Hesaplanan değerler, Şekil 2.3'de gösterildiği gibi bize minimum maliyetin 309TL olarak optimum yenileme zamanının ise (T^*) 4'nc dönemi gösterdiğini ve 20000 saatte bir yenileme yapılmasının optimum olacağını göstermektedir.

2.2. Kestirimci Bakım

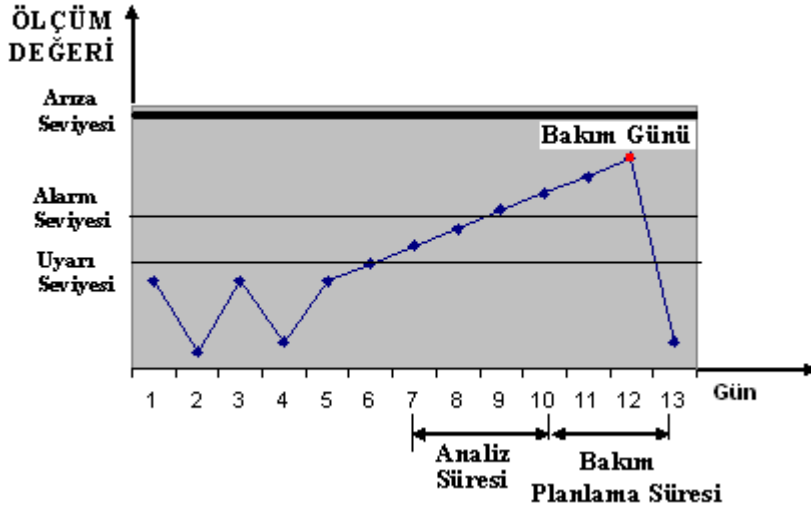
Bu bakım yönteminin periyodik koruyucu bakımdan farkı çeşitli teknikler vasıtasıyla, periyodik aralıklarla lme yapılarak makinenin performansının izlenmesidir. Bu yöntemle makineyi durdurmak yerine program dahilinde çeşitli kritik konumlardan bazı parametrelerin (titreşim, sıcaklık, basınç v.b.), makine çalışır konumdayken kontrolü ve ölümü yapılır. Bu kısımdan sonra gerekirse yedek parça temini yapılarak, en kısa zaman içinde bakımı yapılarak üretime devam edilir.

Makinelerin alıŐma Őartlarını belirleyen parametreler arasında en çok kullanılan parametre titreşim analizinden elde ettiğimiz sinyallerdir. Titreşim sinyallerinin izlenmesini titreşim esaslı kestirimci bakım kısmında ayrıntılı olarak inceleyeceğiz. Bu kısımda diğer parametreler hakkında bilgi verilmiştir.

- a. Sıcaklık Kontrolü: Kritik konumlarda sıcaklık llerek kabuledilebilir sınırlarda olup olmadığı kontrol edilir.
- b. Yağ Kontrolü: Yağ ve filtrelerin kontrolü ile aşınma hakkında fikir sahibi olunur. Yağ içindeki metal partiküllerin miktarı ve büyüklüğü aşınma Őeklini belirler.
- c. Akıntı ve Sızıntı Kontrolü: Akıntı ve sızıntılar, basınç düŐmeleri ve diğer başka yöntemlerle kontrol edilebilir.
- d. Gürültü Kontrolü: Makine ve parçaların titreŐiminden doğan gürültünün llp , normal Őartlardaki değerlerle mukayese edilmesi ile makine performansı hakkında bilgi verir.

Kestirimci bakım makine ve ekipmanın normal koşullarda çalışıp çalışmadığını periyodik ölüm ve kontroller ile izlenmesi, elde edilen ölüm ve kontrol sonuçlarının değerlendirilerek bir arıza olasılığı olup olmadığının belirlenmesi, böyle

bir olasılık var ise Şekil 2.4’de gösterildiği üzere gerekli bakım-onarım faaliyetinin uygun bir zamanda yapılmak üzere planlanarak gerçekleştirilmesidir.



Şekil 2.4. Kestirimci bakım grafiği

Kestirimci bakım dört aşamalı olarak uygulanmaktadır.

1. Ölçme ve Kontrol
2. Analiz ve Değerlendirme
3. Bakım Planlama
4. Bakım-Onarım

1. Ölçme ve Kontrol

Ölçme ve kontrol faaliyetleri gerekli bilgi ve beceri düzeyine bağlı olarak makine operatörü (imalat işçisi), bakım elemanı veya karma bir şekilde gerçekleştirilebilir. Gürültü ölçümü, sıcaklık veya titreşim ölçümü vb. ölçme ve kontrol sonuçları ölçüm ve kontrolü yapan kişi tarafından kaydedilir.

2. Analiz ve Değerlendirme

Ölçme ve kontrol sonuçlarının analizi genellikle ölçülen parametrenin (titreşim, basınç, akım, vizkozite vb.) zaman içindeki gelişiminin çıkartılması şeklindedir.

3. Bakım Planlama

Analiz ve değerlendirme aşamasında arıza nedeninin giderilmesi için en uygun zamanda gerçekleştirilmek üzere bakım-onarım planlarının oluşturulması

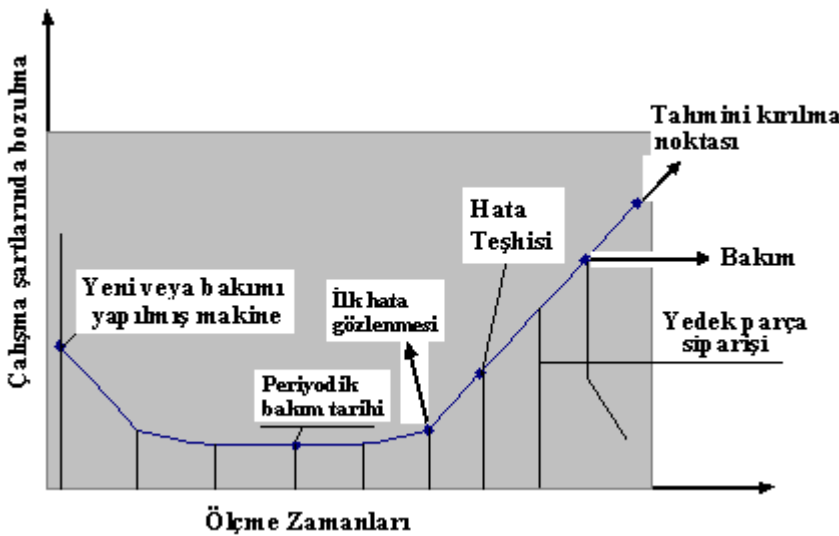
gerekmektedir. Arıza nedeni ile parametrenin gelişim hızı arızanın ortaya çıkış zamanını gösterir. Dolayısıyla bu tarihten önce bakımın yapılması gerekir. Bunların sonucunda bakım programları oluşturulur.

4. Bakım-Onarım

Bakım-onarım faaliyetleri programlanan zamanda gerekli doküman, teçhizat, malzeme ve işgücü ile gerçekleştirilir. Bakım-onarım sonrası gerekli ölçümler yapılarak uygun değerlerin elde edilip edilmediğine bakılır. Makine test edilerek devreye alınır.

2.3. Bakım Programının Belirlenmesi

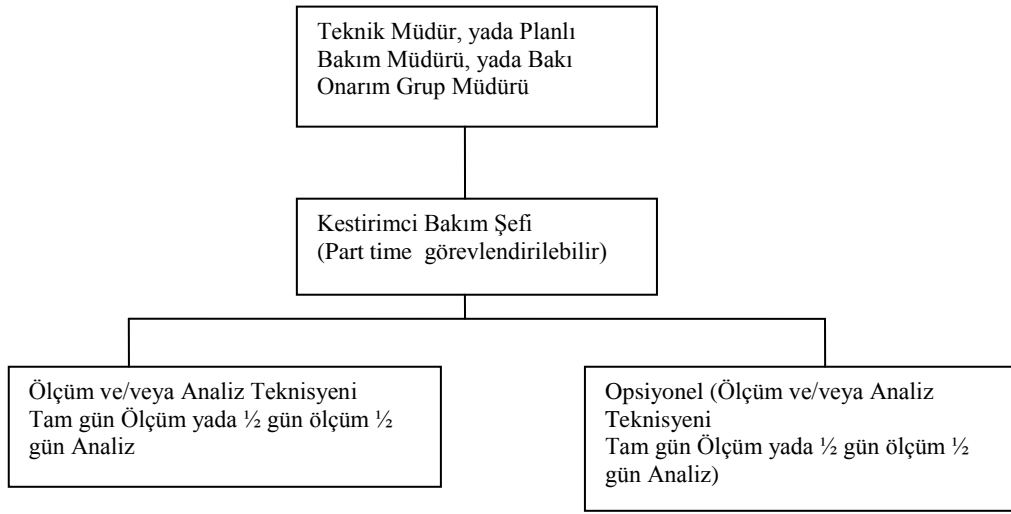
Kestirimci bakım makine ve ekipmanın normal koşullarda çalışıp çalışmadığını periyodik ölçüm ve kontroller ile izlenmesi, elde edilen ölçüm ve kontrol sonuçlarının değerlendirilerek bir arıza olasılığı olup olmadığının belirlenmesi, böyle bir olasılık var ise gerekli bakım onarım faaliyetinin uygun bir zamanda yapılmak üzere planlanacağını kestirimci bakım kısmında belirtmiştik. Başka bir ifadeyle Şekil 2.5’de gösterildiği gibi belirlenen periyodun öncesinde erken uyarıcı dinamik bakım yöntemiyle ekipman izlemeye alınır. Yapılan analizlerden çıkan netice doğrultusunda standart değerler ile karşılaştırılarak, erken uyarıcı dinamik bakımın önerdiği tarihe kadar ertelenir veya öne alınır.



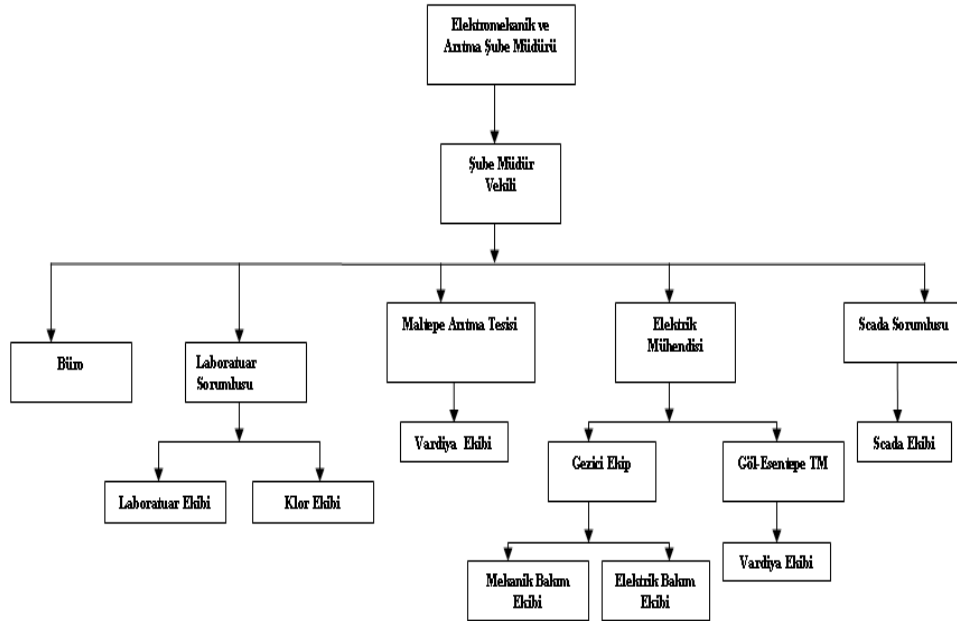
Şekil 2.5. Makine çalışma şartlarının kestirimci bakım ile kontrolü

2.4. Bakım Organizasyonu

Bakım sistemi amacına uygun olarak gerekli ekipman, gerekli personel ve ölçüm periyodundan oluşur. Gerekli ekipman; analiz cihazı, bilgisayar programı ve bilgisayardan meydana gelir. Gerekli personel; Şekil 2.6'de gösterildiği gibi işletme bünyesinde, planlı bir şekilde bakım organizasyonu sağlayabilecek ve yukarıdaki yazılan ekipmanı kullanabilecek teknik kadroya ihtiyaç duyulmaktadır.

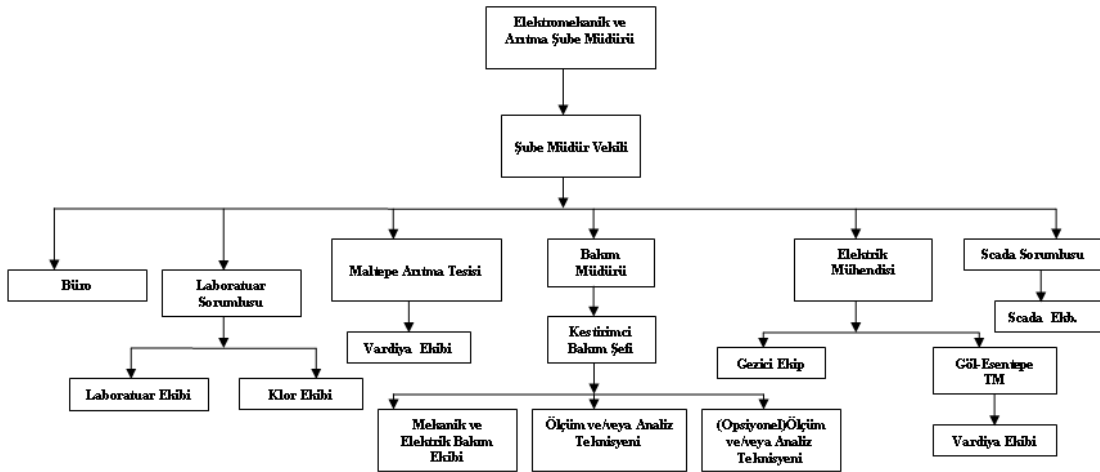


Şekil.2.6. Planlı bakım organizasyon şeması [4]



Şekil.2.7. İşletme mevcut organizasyon şeması

Şekil 2.7’de verilen mevcut organizasyon yapısına uygun ve kestirimci bakım çalışması yapılabilmesi için, Şekil 2.8’de verilen organizasyon şeması oluşturulmuştur. İşletmelerde bakım faaliyetlerinin bir birim tarafından yürütülmesi, işletme içerisindeki diğer birimler arasında oluşabilecek problemlerinde önlenmesinde, organizasyon yapısı içerisinde önemli bir etkiye sahiptir. Böylelikle birimler arası işbirliği sağlanarak bakım planları hazırlanarak, oluşabilecek arızaların önlenmesi veya minimum zamanda giderilmesi sağlanır. Bu nedenle işletmeler bakım-onarım faaliyetlerini, işletme maliyetleri göz önünde bulundurularak bu yapıyı kendi bünyelerinde oluştururlar veya danışmanlık hizmetleri kapsamında dış kaynak kullanımı olarak alınırlar.



Şekil.2.8. Önerilen organizasyon şeması

2.4.1 Bakım maliyeti

Kestirimci bakım maliyeti temel olarak iki kısımdan meydana gelir.

İlk yatırım maliyeti

- Ekipman maliyeti
- Eğitim ve danışmanlık (1 yıl)

İşletme maliyeti

- Ekipmanı Kullanan Personel Maliyeti
- Yarı zamanlı danışmanlık

Bu nedenle temel unsur, işletmedeki makinelerin kaçının kestirimci bakıma uygun olduğunun tespitidir. Tercih işletmenin dinamik analizlere itibar etmesi ve bunun için harcama bütçesine sahip olması ile, üretimi zamanında yetiştirme kaygısı arasında yapılır [5].

Kestirimci bakıma geçmek için gerekçeleri hazırlarken programın ekonomik etkinliklerinin üst yönetime sayısal olarak yansıtılması büyük önem taşımaktadır. Karar verme durumunda olan yöneticilerin, mevcut ve önerilen programın ekonomik mukayeselerini görerek ikna olması gerekir. Kestirimci bakım yönteminin potansiyel yararlarını hesaplamak için, bakım masraflarının, fazla mesailerin eksiksiz olarak Tablo 2.3'de verildiği gibi belirtilmesi gerekir [6]. Yeni yöntemin belirli bir zaman aralığında getireceği ekonomik yararın hesaplanması basitçe tabloda görülmektedir. Tabloda A-E sütunları arasındaki bölüm, makinelerin kodlanarak tanıtılması, beklenmedik arızalar dolayısıyla duruş sayısı ve süresi, üretimin bir saatlik duruş kaybı, neticede bu duruşlardan kaynaklanan toplam üretim kaybını belirtir. F ve G sütunları bu beklenmedik arızaların onarımı için harcanan işçilik ve yedek parça maliyetlerini gösterir. H sütunu ise, E, F ve G sütunlarının toplamını yani, arıza nedeniyle duruşların üretim kaybından kaynaklanan ve onarım için sarf edilen toplam maliyeti gösterir. Tablonun en sağındaki sütun ise kestirimci bakıma geçilmesinin getireceği toplam maliyeti belirtir. Sonuçta yeni yöntem ile mevcut yöntemin maliyet farkı çıkartılarak, yeni yöntemin uygulandığı takdirde toplam tasarruf belirlenir.

Tablo 2.3. Bakım Maliyet Tablosu

Hesap Tablosunun Kapsadığı Süre					İki Yıl <input type="checkbox"/>		Üç Yıl <input type="checkbox"/>	Yıl <input type="checkbox"/>
Mekanik Arızlar Nedeniyle Üretim Kayıplarının Toplanması					Bakım Masrafları		Ekonomik Yarar	Program Harcamaları
A	B	C	D	E	F	G	H	J.Personel Giderleri...TL
Makinelerin Tanım Kod Numaraları ve Sınıfı	Arıza Nedeniy le Duruş Sayısı	Saat Olarak Üretim Kaybı	Bir Saatlik Üretim Kaybının Bedeli TL	C*D Toplam Üretim Kaybı TL	İşçilik Masrafları TL	Yedek Parça ve Malzeme Masrafı TL	E+F+G Sağlanan Ekonomik Yarar TL	K.Ekipman Giderleri...TL
1								L.Mühendislik ve Destekleme Masrafları...TL
2								Dokümanların Hazırlanması Eğitim ve Dış Teknik Yardım...TL
3								M..Diğer Harcamalar...TL
4								
5								N.Toplam Program Harcamaları(J+K+L+M)...TL
6								
7								P.Toplam Net Ekonomik Yarar (I-N)...TL
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
					I.Sağlanan Ekonomik Yararın Genel Toplamı...TL			

İşletmeler, tablonun sağ tarafındaki harcamaları yıllık dönemler içerisinde fayda maliyet analizleri yaparak gerek gördükleri takdirde yatırımlar yapabilirler. Yapılan araştırmalar sonucunda bir firmadan alınan teklif Ek-A'da verildiği üzere ilk yatırım maliyeti, incelediğimiz işletme için bugünkü değerler baz alınarak 30.904€ olarak verilmiştir.

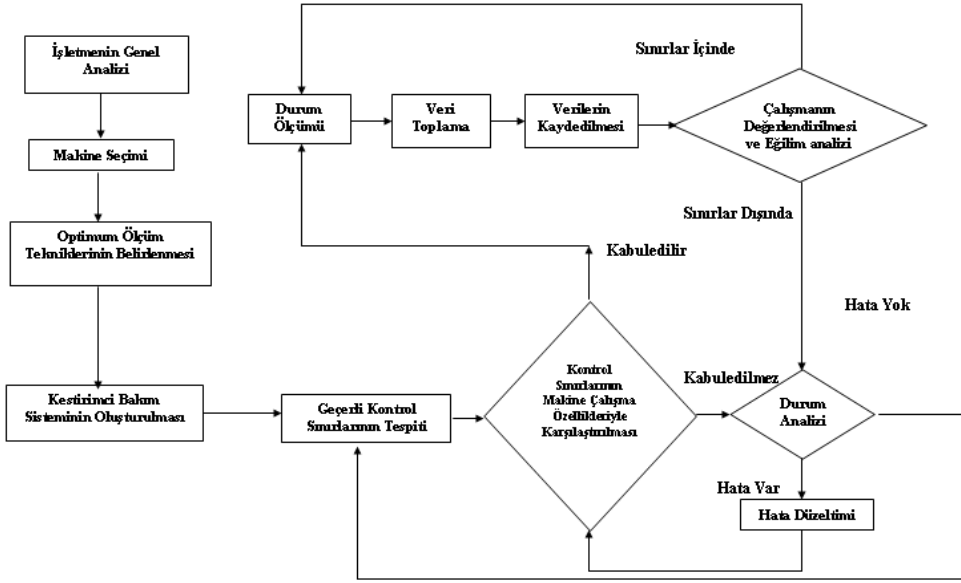
BÖLÜM 3. TİTREŞİM ESASLI KESTİRİMCİ BAKIM

Günümüz teknolojisinin gelişmesiyle birlikte bakım teknolojisi de aynı paralellikte gelişme göstermiştir. Eskiden uygulanan plansız bakım ve koruyucu bakım yöntemleri şimdilerde yerini bilgisayar sistemlerinin kullanıldığı modern analiz tekniklerine bırakmıştır.

Kestirimci bakım, makineler üzerinden, periyodik aralıklar ile alınan, fiziksel parametre ölçümlerinin zaman içindeki değişimlerini izleyerek, makine sağlığı hakkında geleceğe yönelik bir kestirimde bulunmaktır. Amaç arızaları daha oluşmadan en erken zamanda tespit ederek gereken önlemlerin alınmasıdır [7]. İşletmelerde, kestirimci bakım yönteminin kullanılması ile aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkar [8]:

1. Bakım süreleri ve dolayısıyla makinelerin duruş süreleri büyük ölçüde azalması sağlanır.
2. Zamanla oluşan küçük bir arızanın büyüyerek makineye zarar vermesine engel olunmakta ve bunun sonucunda makinenin ömrünün uzatılması hedeflenir.
3. Makinelerde oluşabilecek önemli arızalar, en alt seviyeye düşürülmesi sağlanır.
4. İyi durumda çalışan makineler, gereksiz yere durdurulmamış ve bunun neticesinde harcanan zamanın ve maliyetin en alt seviyeye indirilmesi amaçlanır.
5. Sürekli üretim yapan tesislerde bu yöntemin kullanılması sonucu bakım nedeniyle oluşan üretim kaybının azalması amaçlanmıştır.

Kestirimci bakım yönteminin Şekil 3.1'deki akış şemasında işletmedeki uygulama adımları verilmiştir.



Şekil 3.1. Kestirimci bakım yöntemi akış şeması [8]

Günümüz teknolojisinin vazgeçilmez ögesi olan bilgisayarlar, kestirimci bakımın uygulanmasında da önemli bir yere sahiptir. Ölçüm verilerinin saklanması ve bu verilerin sağlıklı analiz edilebilmesi ancak bilgisayarlarla sağlanabilmektedir. Kestirimci bakımda kullanılan parametreler, ses, ısı, yağlayıcılardaki katmanlar ve titreşimdir. Bu bakım yöntemi üç ana grupta analiz edilmektedir [8].

1. Sıcaklık Ölçümü
2. Yağ Analizleri
3. Titreşim Analizi

3.1. Titreşim Analizi İle Kestirimci Bakım

Makineler çalışırken durumlarını titreşimler yoluyla ortaya koyarlar. Titreşim, arıza parametreleri içinde bize en fazla bilgiyi veren parametredir. Bu nedenle makine performansının incelenmesinde tercih edilir [9]. Kestirimci bakım, makinelerin üzerlerinden tahribatsız şekilde ve periyodik olarak alınacak titreşim verilerinin değişimlerinin izlenmesi, artış belirlenenlerde spektrum ve dalga form grafikleri ile detaylı analizlerle arıza teşhisinin yapılmasını amaçlar. Analizler vasıtasıyla ölçülen titreşim değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalıp kalmadığı incelenir.

3.2. Titreşimin Ölçülmesi ve Analizi

Titreşimin ölçülmesi ve analizlerinin yapılabilmesi için günümüz teknolojisinde çok kapsamlı cihazlar mevcuttur. İçerisinde çok kapsamlı yazılımları mevcut olan bu cihazlarla titreşim analizi yapılabilmesi için, titreşim sayısı (frekans), titreşim genliği ve titreşim genliği ile zorlayıcı kuvvet arasındaki faz farkı ölçülebilmektedir.

3.2.1. Titreşimin parametreleri

Bu bölümde, titreşim analizinde kullanılan titreşimle ilgili terimler ve titreşim parametreleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Herhangi titreşim hareketini Fourier serisine açtığımızda harmonik terimlerim toplamı şeklinde ifade edebiliriz.

Harmonik titreşimde yerdeğiştirme ile zaman arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

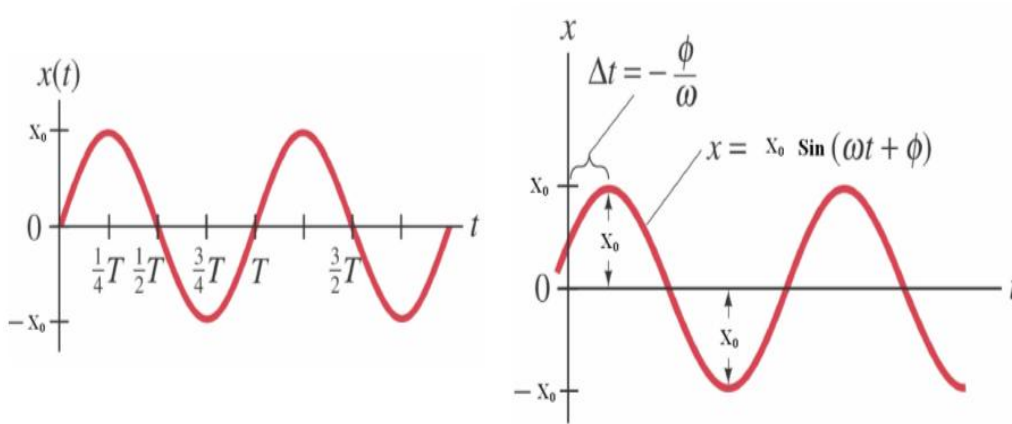
$$X = X_0 \sin(\omega t + \phi)$$

X = Herhangi bir t anında yerdeğiştirme; X_0 = Maksimum yerdeğiştirme; $\omega = 2\pi.f$;

f = Frekans (Hz); t = zaman (saniye) [10].

Burada X_0 yer değiştirme genliğidir(maksimum deplasman). Titreşim hareketinde titreşimi belirleyen başlıca parametreler periyot (T), frekans (f), açısal frekans (ω), faz(Φ) ve yer değiştirme X (herhangi bir anda deplasman)' dir.

Eğer parçacık $t=0$ anında $X = X_0$ maksimum konumda ise $\phi = 0$ ' dır. Eğer parçacık $t=0$ anında başka bir konumda ise $(\omega t + \phi)$ büyüklüğüne hareketin fazı denir. Periyodik ve zamana bağlı bir X fonksiyonun, ωt 'nin 2π kadarlık artmasıyla oluşan hareketi Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Harmonik titreşim ve parametreleri

T periyodu, cismin hareketinin bir tam devrini tamamlaması için gereken süredir. Bundan dolayı x 'in t anındaki ve $t+T$ anındaki değerleri eşittir;

$$\omega t + \phi + 2\pi = \omega(t + T) + \phi$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ birimi sn'dir}$$

Frekans, cismin birim zamanda yaptığı titreşimlerin sayısını gösterir. Başka bir ifade ile titreşim hareketinin birim zamanda tekrarlanma sayısıdır, birimi Hertz (Hz)'dir [11].

$$f = \frac{1}{T} \text{ Hz}$$

Açısal frekans; dönen vektörle ifade edildiğinde hareketin açısal hızı olarak düşünülebilir, birimi rad/s dir.

Basit harmonik hareket yapan bir cismin hızı;

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega X_0 \cos(\omega t + \phi) \longrightarrow v_{maks} = \omega X_0$$

Cismin ivmesi;

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 X_0 \sin(\omega t + \phi) \longrightarrow a_{maks} = \omega^2 X_0$$

Genlik; titreşimin şiddetini ifade eder. Başka bir ifade ile cismin yerdeğiştirilmesi olarak da ifade edilmektedir. Yerdeğiştirme ile ilgili bazı kavramlar aşağıda verilmiştir.

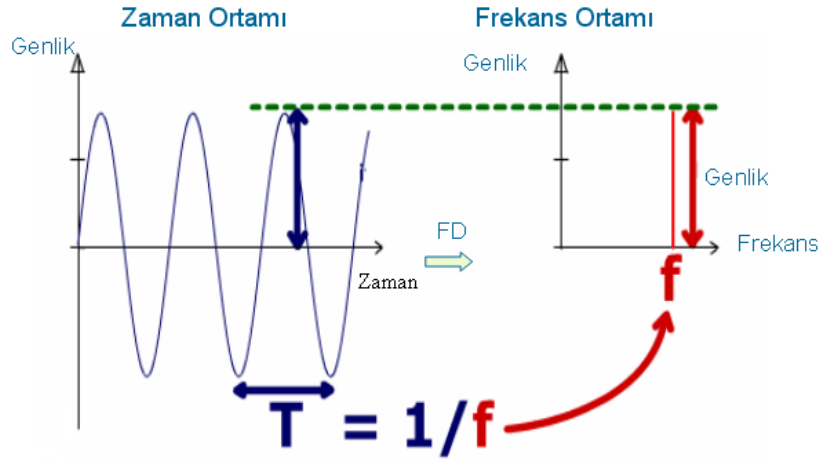
1. **Tepe değeri** (X_0); sıfır noktasından tepe noktaya olan uzaklık, sinyalin bir yönde eriştiği maksimum değerdir.
2. **Tepeler arası değeri** ($2 X_0$); sinyalin maksimum tepeden minimum tepeye kadar aldığı değerdir.
3. **RMS**; bir sinyalin t_1 - t_2 zaman aralığında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının kareköküdür. Özellikle harmonik olmayan genel bir titreşimi tek bir sayı ile ifade etmek ve değerlendirmeye alabilmek için kullanılmaktadır.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} x_i^2} \quad [12]$$

3.2.2. Frekans (Spektral) analizi

Herhangi bir titreşim sinyali ne kadar karmaşık veya doğrusal olmazsa olmasın, farklı genlik ve frekanslara sahip çok sayıda basit harmaonik terimin toplamı olarak ifade edilebilir. Bu tekniğe Fourier analizi denilmektedir.

Hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) titreşim analizinde kullanılan istatistik tabanlı, matematiksel bir işlemdir. Karışık sinyalleri ayrıştırarak, hangi frekansta ne şiddette bir titreşim olduğunu gösterir. Kısaca FFT, sinyallerimizi Şekil 3.3'de gösterildiği gibi zaman alanından frekans alanına geçirirken kullanılan bir işlemdir.



Şekil 3.3. Tek boyutta Fourier dönüşümü (FD)

$x(t)$ sinyalini Fourier serileri ile aşağıdaki gibi ifade edebiliriz

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \omega_1 t + a_2 \cos 2\omega_2 t + \dots + a_n \cos n\omega_n t + b_1 \sin \omega_1 t + b_2 \sin 2\omega_2 t + \dots + b_n \sin n\omega_n t$$

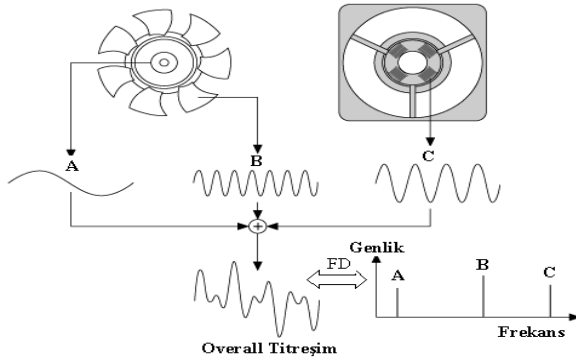
ifadesinde bir harmonik terimi;

$$x_n = a_n \cos w_n t + b_n \sin w_n t = A_n \cos(w_n t + \phi), \text{ şeklinde ifade edebiliriz.}$$

Burada;

$$A_n : \text{Genlik ve } \tan(\phi_n) = \frac{b_n}{a_n} \text{ faz açısıdır.}$$

Örneğin bir fana ait kısımlardan meydana gelen titreşimlerin ürettiği sinyallerin Fourier dönüşümü sayesinde Şekil 3.4'de verildiği gibi A milin devir sayısına denk gelen frekansı, B kanat geçiş frekansını ve C rulmanda meydana gelen titreşime ait frekansı, zaman ortamından frekans ortamına dönüşümü basitçe gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Örnek bir fana ait kısımların ürettiği sinyallerin Fourier dönüşümü

3.3. Arızalar ve Titreşim Karakterleri

Arızalar belirli frekanslarda titreşim üretirler. Bu frekansların bilinmesi sayesinde makinelerden ölçülerek elde edilen titreşim grafiklerindeki arıza frekansları belirlenerek arızanın neden kaynaklandığının ve hangi seviyede olduğunu belirleyebiliriz. Bu bölümde arızalar ve oluşturdukları karakteristik bileşenler incelenmiştir.

Mekanik arızaların yaygın olanları aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.

1. Dengesizlik
2. Eksen kaçıklığı
3. Dişli arızaları
4. Mekanik gevşeklik
5. Rulman arızaları

3.3.1. Dengesizlik

Dönen makine elemanlarında, elemanın dönme merkezinin ağırlık merkezinde olmaması durumuna dengesizlik denir. Genel olarak dengesizlik nedenlerini;

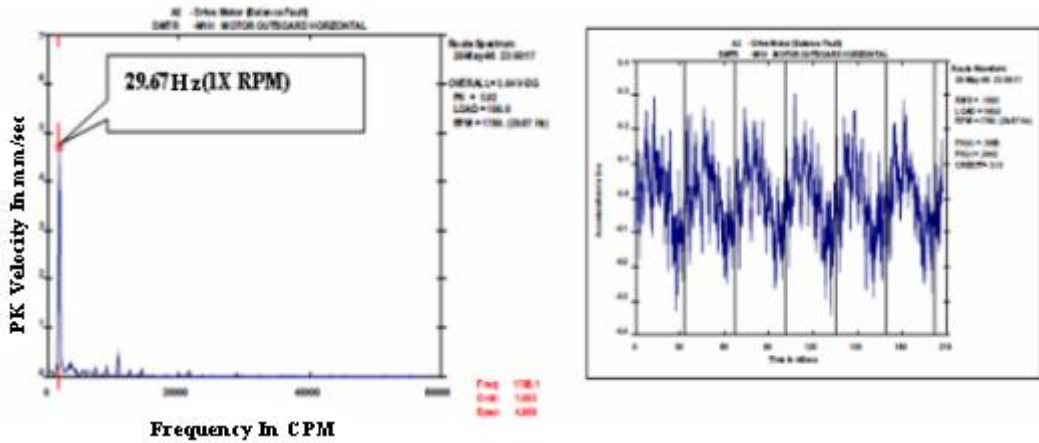
1. Elemanlardaki malzemenin homojen olmaması.
2. Parçanın geometrik olarak simetrik olmaması.
3. Çalışma şartlarında meydana gelen ısıl genleşme, korozyon, aşınma, madde birikimi, v.s.
4. Kaymalı yatakların eksantrik monte edilmesi sonucunda, geometrik merkezin dışında bir merkez etrafında dönüş olarak gösterilebilir.

Frekans spektrumundaki görüntüsü :

Şekil 3.5’de gösterildiği gibi radyal alınan ölçümlerde, 1X RPM frekansında baskın, sabit değişmeyen, kökünde şişme olmayan tepecik.

Dalga formundaki görüntüsü :

Dengesizlik dalga formu Şekil 3.5'de gösterildiği gibi spektrum grafiğine bağlı olarak 1X RPM periyodunda sinüs deseni [13].



Şekil 3.5. Dengesizliğe örnek spektrum ve dalga form grafikleri

Dengesizlik kendi içinde tek düzlem ve çok düzlem dengesizliği olmak üzere iki sınıfta ele alınabilir.

Tek Düzlem Dengesizliği

Spektrum grafiğinde baskın olan 1X RPM titreşim frekansı oluşur. Tek düzlem dengesizliğine ait bir düzlemde, yalnızca bir nokta dengesiz olduğu için, rotorun her dönüşünde yalnızca bir işaret oluşur.

Çok Düzlem Dengesizliği

Çok düzlem dengesizliği mil dönme hızının çoklu harmoniklerindeki frekanslar da oluşturur.

3.3.2. Eksen kaçıklığı

Eksen kaçıklığı, döndüren ve döndürülen makine millerinin aynı merkezde olmaması durumudur. Genel olarak eksen kaçıklığının nedenlerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

1. Makinelerin yanlış montajı.

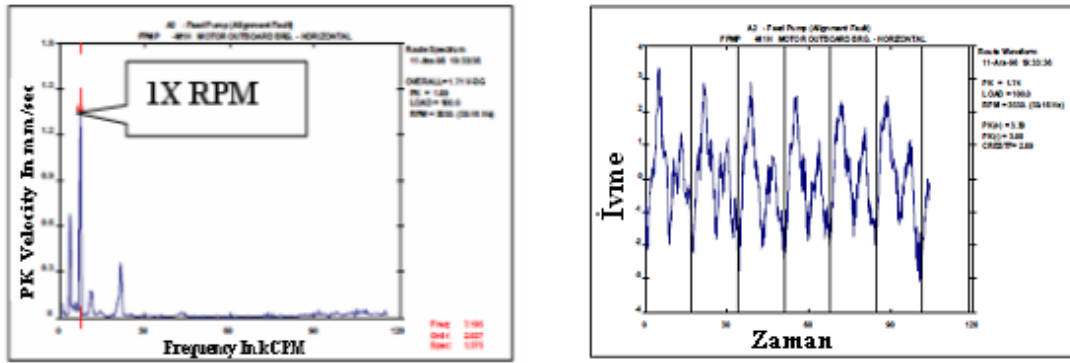
2. Anormal ön yüke sahip olan rulman yatağının ısıl genişlemesi.
3. Miller ve onları bağlayan kaplinler.

Frekans spektrumundaki görüntüsü:

Radyal alınan ölçümlerde Şekil 3.6'daki örnek spektrum grafiğinde verildiği gibi 1X, 2X, 3X RPM frekansında tepcikler, 2X ya da 3X RPM frekansındaki tepcik 1X RPM frekansı tepciğinin yarısıdır.

Dalga formundaki görüntüsü:

Genel olarak Şekil 3.6'da verilen dalga form grafiğinde gösterildiği gibi 1X RPM frekansında deve hörgücü deseni. Ayrıca eksen kaçıklığının belirtilerinden birisinin dalga formunun "M" ve "W" şeklinde olmasıdır [14].



Şekil 3.6. Eksen kaçıklığına ait spektrum ve dalga form grafikleri

3.3.3. Mekanik gevşeklik

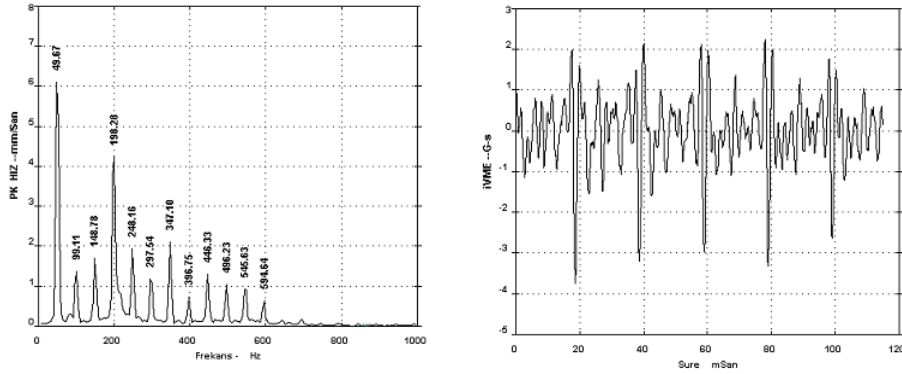
Çalışan makine parçalarının bağlantılarında zamanla gevşemeler olmaktadır.

Frekans spektrumundaki görüntüsü :

Dönüş devri katlarında Şekil 3.7'de örnek bir makineden alınan spektrum grafiğindeki gibi 8X RPM frekansına kadar harmonikler üretir. Dönen kısımdaki çözümler; 0.5X RPM harmoniklerinde göreceli olarak düşük tepcikler oluşturur.

Dalga formundaki görüntüsü :

Dalga formu grafiğinde ise Şekil 3.7'deki gibi düzensiz darbe sinyalleri oluşmaktadır.



Şekil 3.7. Mekanik gevşeklik spektrum ve dalga form grafikleri [15]

3.3.4. Dişli arızaları

Dişliler, hareket ve güç aktarımında sıklıkla kullanılan makine elemanlarıdır. Dişlilerdeki tüm hatalar mil (eksen kaçıklığı, dengesizlik, gevşeklik) ve diş (aşınma, çizilme, çatlak) ile ilgili problemler olarak sınıflandırılabilir [16]. Dişli arızalarının tespitinde dişli kavrama frekansını (GMF) kullanmak gerekir.

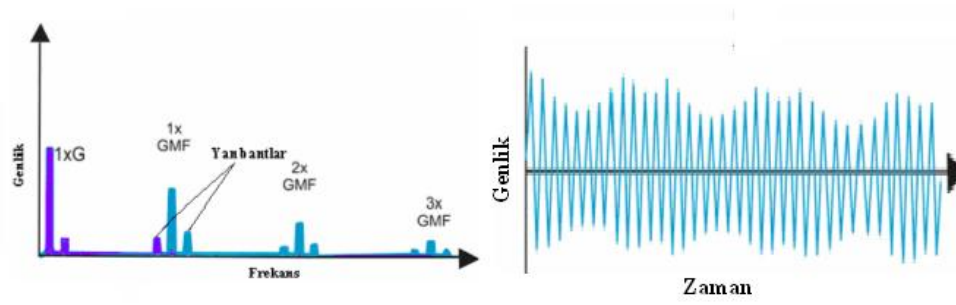
Frekans spektrumundaki görüntüsü :

$GMF = \text{Diş Sayısı} \times \text{RPM} = \text{Dişli Kavrama Frekansında Tepecikler görülür.}$

GMF harmoniklerinin Şekil 3.8'deki gibi olması, hatalı diş ayarını, GMF etrafında yan bantların olması kırık dişten kaynaklanabilecek sorunu gösterir.

Dalga formundaki görüntüsü :

Genlik modülasyonu görülür. Dişli gruplarında, hangi dişli çark üzerinde kırık var ise, o çarkın dönüş devri frekansı, GMF frekansının etrafında yan bant olarak görünür [13].



Şekil 3.8. Dişli sinyali bulunan örnek spektrum ve dalga form grafikleri

3.3.5. Rulman arızaları

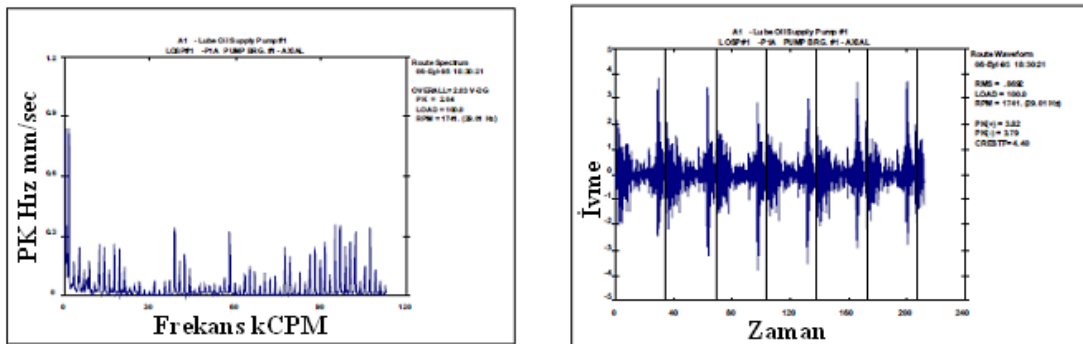
Rulmanların dönen makinelerin yataklanmasında çok kullanılmaları sebebiyle arızasız çalışmaları, makinelerin düzenli çalışması ve ömürleri açısından büyük önem taşımaktadır. Rulmanlarda imalat sırasında yüzeylerde üretim hataları, yanlış montaj ve işletme sırasında değişik sebeplerden kaynaklanan hatalar oluşabilir [17].

Frekans spektrumundaki görüntüsü :

Kendi içinde Şekil 3.9’da verilen spektrum grafiğindeki gibi harmonik ailesi bulunan ancak dönüş devri katlarında oluşmayan tepelikler, ve/veya spektrum zemininde kabarma şeklinde görülür.

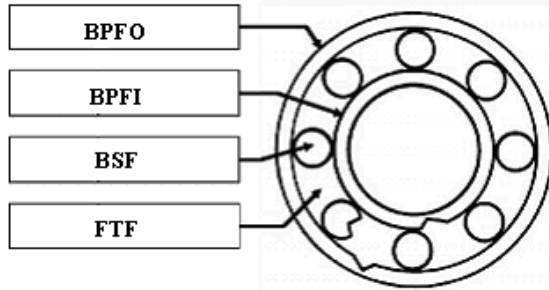
Dalga formundaki görüntüsü :

Mekanik gevşeklik probleminde olduğu gibi, Şekil 3.9’da örnek bir rulmana ait dalga form grafiğinde gösterildiği şekilde, düzensiz yığıntılı vuruntular verir.

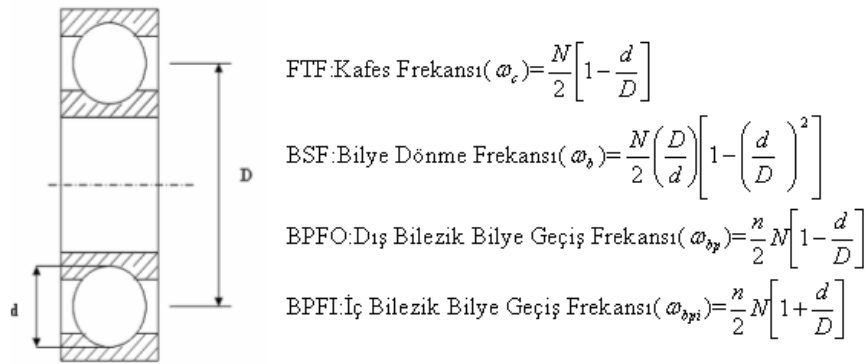


Şekil 3.9. Rulman arızasına örnek spektrum grafiği ve dalga form grafiği

Rulman arızaları Şekil 3.10'da verildiği gibi iç bilezikte, bilyede, kafeste ve dış bilezikte oluşabilmektedir. Bu elemanlara ait hasar frekansları Şekil 3.11'de verilen temas açısı sıfır olan rulman için hesapla belirlenerek formülize edilmiştir.



Şekil 3.10. Rulman hasar frekansları

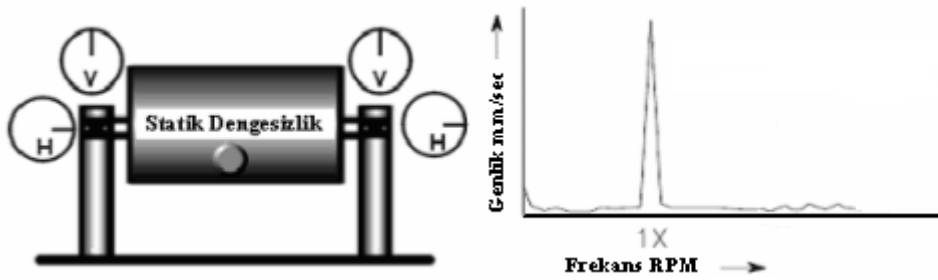


Şekil 3.11. Rulman geometrisi ve hasar titreşim frekansları

3.3.6. Pompalardaki arıza karakteristikleri ve görünüşleri

1. Dengesizlik

Dengesizlik her türlü pompa için spektrum grafiğinde 1X RPM devirde kendini gösterir. Şekil 3.12'de pompa üzerinden alınan radyal ölçümlerde dengesizlik frekansının genliğinin 1X RPM de olduğu verilmiştir.

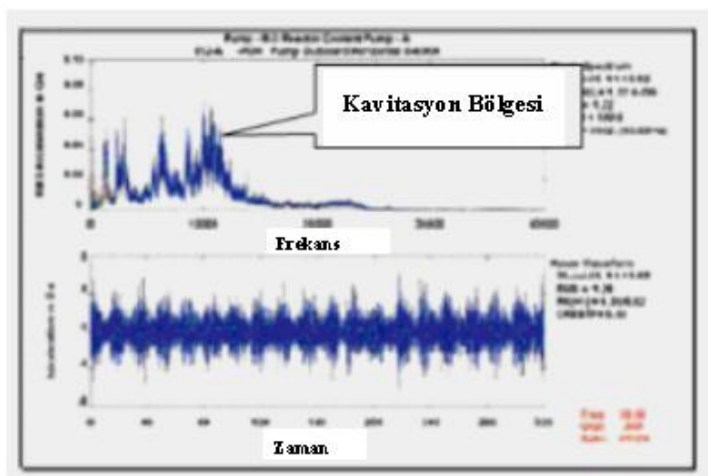


Şekil 3.12. Statik dengesiz rotor ve dengesizlik spektrumu [18]

2. Kaviteasyon

Kaviteasyon pompa içerisindeki sıvının buharlaşmasıdır. Kaviteasyon (buharlaşma) oluşması için akışın herhangi bir yerindeki mutlak basıncın, sıvının o andaki sıcaklığına karşılık gelen buhar basıncının altına düşmesi gerekir. Pompalarda en düşük basınç noktası, pompa girişinde ve çark kanatlarının ucundadır. Akışkanın sıcaklığı kaviteasyon oluşumunda önemli bir faktördür. Sıcaklık arttıkça kaviteasyon olasılığı yükselir. Ayrıca deniz seviyesinden yükseltinin de, emme basıncına etkisi göz ardı edilmemelidir.

Karakteristik eğrisinin alt bölgesinde çalıştırılan pompalarda (basınç kayıplarının öngörülenden daha küçük olduğu durumlar), kaviteasyon sorunu oluşabilmektedir [19]. Kaviteasyonla beraber pompa içerisinde oluşan vuruntular, Şekil 3.13’de verilen, örnek bir pompa için spektrum ve dalga form grafiklerine de gözükmemektedir.



Şekil 3.13. Kaviteasyona ait örnek spektrum ve dalga form grafikleri

Kavitasyona uğramış örnek bir santrifüj pompadan alınan spektrum grafiği Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14. Kavitasyon spektrum grafiği [18]

3. Motor-Pompa Eksen Kaçıklığı

Motor-pompa sistemlerinde karşılaşılan sorunlardan biri olan eksen kaçıklığı Şekil 3.15’de verilen paralel aksenal kaçıklık ve açısal aksenal kaçıklık şeklinde iki tip olarak motor-pompa sistemlerine görülür [18].



Şekil 3.15. Paralel aksenal kaçıklık ve açısal aksenal kaçıklık

Radyal alınan ölçümlerde açısal kaçıklıkta genellikle spektrum grafiklerinde 1X, 2X, 3X RPM frekansında tepecikler, 2X ya da 3X RPM frekansındaki tepecik 1X RPM frekansı tepeciğinin yarısını geçmemelidir. Paralel kaçıklıkta ise genlik kendisini 2X RPM frekansında gösterir.

4. Mekanik Gevşeklik

Pompalarda zamanla mil, rulman yatakları vb. iç montajlarında gevşemeler olabilmektedir. Pompanın dönüş kısmındaki çözülmeler genellikle spektrum grafiklerinde kendini 0.5X RPM harmoniklerinde gösterir.

BÖLÜM 4. KESTİRİMCİ BAKIM ÖLÇÜMLERİ VE DEĞERLENDİRMELER

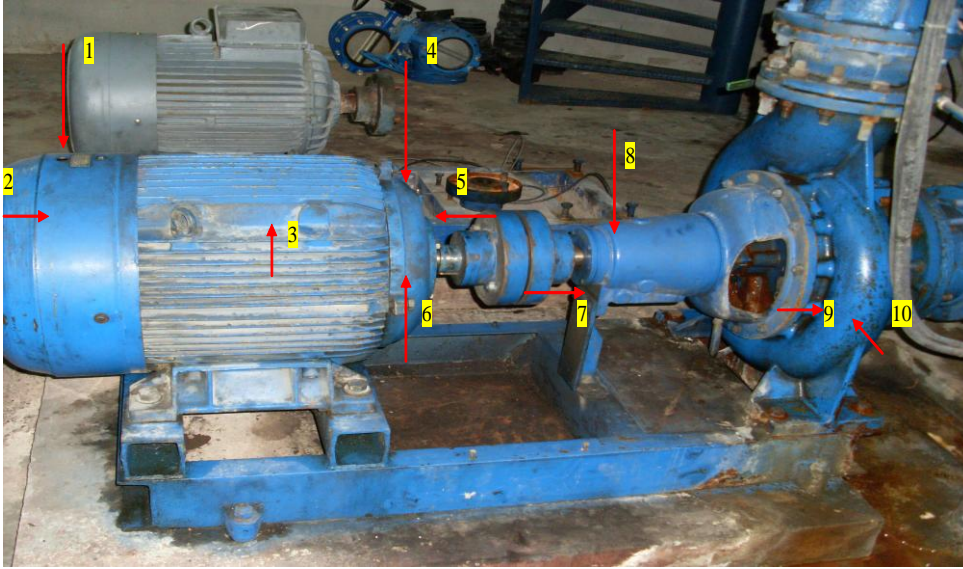
Adapazarı Su ve Kanalizasyon İdaresine ait, Resim 4.1’de gösterilen Maltepe tesislerindeki pompa ünitesine kestirimci bakım yönetimi yapılarak, bir adet motor-pompa sistemi üzerinde toplam on adet titreşim ölçüm noktası belirlenmiştir. Bu noktalara ait ölçüm kodları, ölçüm eksenleri makine elemanlarının, titreşim analizinde kullanılacak rulman numaraları ve motor dönme devri belirlenerek Ek-B’de verilen motor-pompa sistemine ait tablo hazırlanmıştır.



Şekil 4.1. Adasu Maltepe tesisi pompa istasyonu

Motor-Pompa sisteminde Şekil 4.1’de görüldüğü gibi Motor Emtaş NM 250 M B3 tipi ayaklı motordan ve SNT 200-315 tek kademeli norm santrifüj pompadan ibarettir.

Titreşimler Şekil 4.2’de görüldüğü gibi dönel makine elemanına ve yataklara en yakın mesafeden yatay, düşey ve eksenel yönlerde olmak üzere üç eksende alınmaya çalışılmıştır. Bazı noktalarda üç eksende almak mümkün olmamış, bundan dolayı bu noktalardan iki veya tek eksende titreşim ölçümü alınmıştır.



Şekil 4.2. Motor-Pompa sistemine ait titreşim ölçüm noktaları

Motor-Pompa sistemine ait ölçüm tarihleri, maksimum pik değerleri ve yaklaşık pompa debi miktarı Ek-C’de verilmiştir. Over all RMS değerleri ile izleme yapılmıştır. Arızaların RMS seviyelerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olup olmadığına bakılmıştır. Kabul edilebilir genlik seviyeleri için Ek-D’de verilen standartlar kullanılmıştır. Standartların üzerindeki RMS değerleri için gerekli detay incelemeler FFT analizi ile izlenmiştir. Kabul edilebilir seviyelerdeki genlikler için ise değişim grafikleri sürekli takip edilmiştir. Değişim grafikleri sayesinde oluşabilecek arızalar ön görülmüştür.

03-08-2009 tarihli ölçüm motor-pompa ünitesinin izleme başlangıç referans değerleri olarak kabul edilmiştir. Farklı eksenlerde olmak üzere ölçüm güvenilirliği için aynı noktadan birden fazla titreşim ölçümü alınmıştır. Bu ölçümler içinden ağırlıklı tekrarlanan değerler o an için o noktanın ölçümü olarak kabul edilmiştir. Titreşim grafiklerinin analizinde hesaplanan frekanslardaki arıza tahminleri incelenmiştir.

Bu kısımda motor-pompa sisteminin kestirimci bakım çalışmalarında ortaya çıkabilecek arızalara ait örnekler ve bu örneklere ait titreşim analizi verilmiştir. Titreşim ölçümlerinin spektrum grafikleri ve dalga formları incelendiğinde genel itibari ile titreşim genliklerinin kabul edilebilir seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

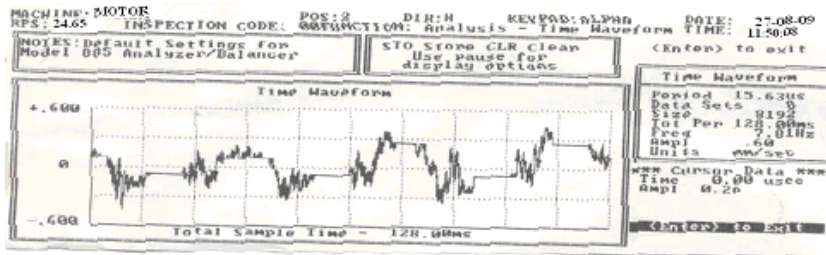
4.1. Dengesizlik

Dengesizlik dönel makinelerde sıklıkla karşılaşılan bir arıza tipidir. 1479d/d motor devrinde, motor kısmı üzerindeki ölçüm motor fan kısmına ait Şekil 4.3’de gösterilen yatay yönde alınmıştır.



Şekil 4.3. Motor fanı yatay ölçüm noktası

Dönme devri 24,65Hz (1479d/d) olan motorun fan kısmında Şekil 4.4’de verilen yatay yönde alınan ölçümün dalga formunun sinüs deseni şeklinde olduğu tespit edilmiştir.

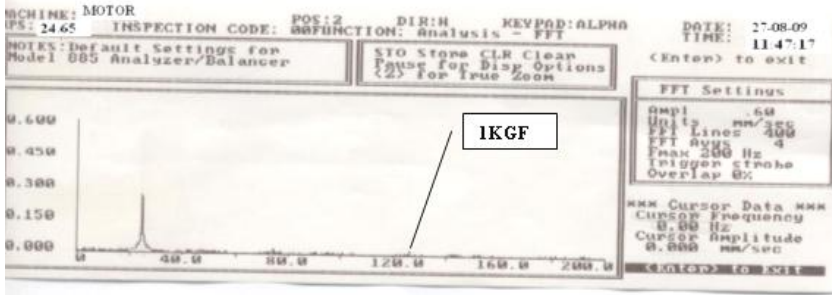


Şekil 4.4. Yatay yönde ölçülen motor fanına ait dalga form grafiği

Motor fan kısmından yatay yönde ölçülen ve Şekil 4.5’de verilen motor fanına ait spektrum grafiği incelendiğinde, kanat geçiş frekansı (KGF) 123.25Hz hesaplandı ve bu frekansın birinci katında sinyal gözlemlenmiştir.

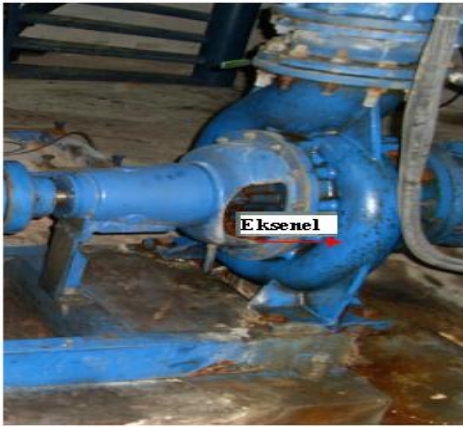
$$\text{Kanat geçiş frekansı(Hz)} = \text{Kanat sayısı} * \frac{N(d/d)}{60}$$

$$\text{Kanat geçiş frekansı(KGF)} = 5 * \frac{1479}{60} = 123.25\text{Hz}$$



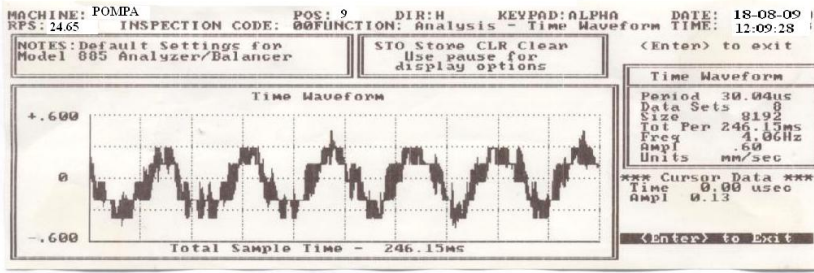
Şekil 4.5. Yatay yönde ölçülen motor fanına ait spektrum grafiği

Pompa kısmı üzerindeki ölçüm ise Şekil 4.6’de verilmiş olan aksenal yönde ölçüm alınmıştır.



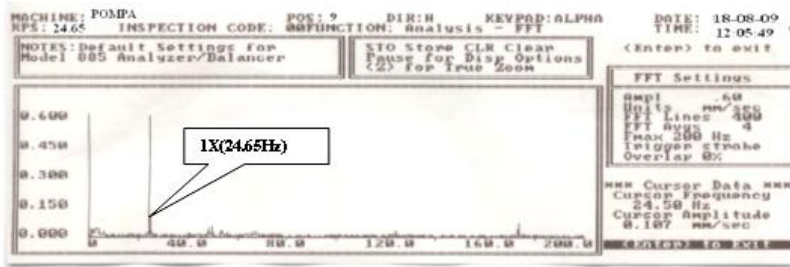
Şekil 4.6. Pompa mili ve çark kısmı aksenal ölçüm noktası

Pompa mili-çark kısmından alınan ölçümün Şekil 4.7’de verilen dalga formunda da aynı şekilde sinüs deseni tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. Eksenel yönde ölçülen pompa mili ve çark kısmı dalga form grafiği

Pompa mil-çark kısmından alınan Şekil 4.8’de verilen spektrum grafiğinde ise en büyük genlik değerinin dönme devri olan 1X RPM, 24.65Hz de olduğu tespit edildi.



Şekil 4.8. Eksenel yönde ölçülen pompa mili ve çark kısmı spektrum grafiği

İncelenen grafiklerden hesaplanan RMS değerlerinin eklerde verilen titreşim standartlarının altında olması nedeniyle grafiklerinin izlenilmenin devamına karar verildi.

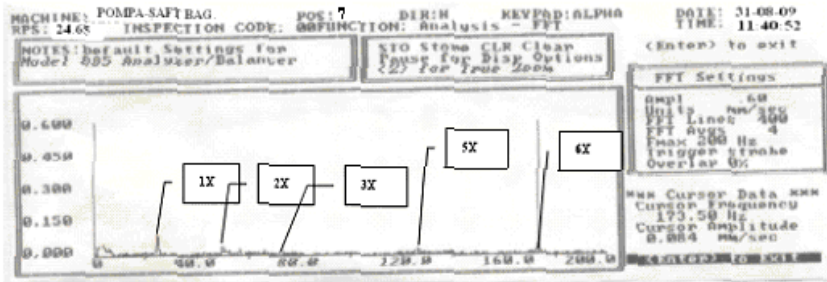
4.2. Mekanik Gevşeklik

Motor-pompa sistemine ait, 7’ nolu ölçümden yapılan analizlere göre rulmanlara ve shaft bağlantı noktasına bağlı mekanik gevşeklik başlangıcı tespit edilmiştir. Pompaya ait ölçüm noktası Şekil 4.9’de gösterilmiştir.



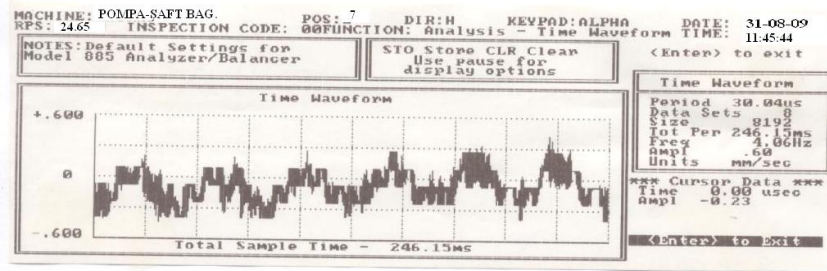
Şekil 4.9. Pompa mili ve şaft bağlantı noktası

Motor dönme devri olan 1479d/d spektrum grafiğinde 24.65Hz olarak kendini göstermiş ve 7'nolu ölçümde dönme devri harmonikleri (1X,2X,3X,...) Şekil 4.10'da verilmiş olan spektrum grafiğinde gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Pompa mili ve şaft bağlantı noktası spektrum grafiği

Mekanik gevşeklik karakteristik dalga form grafiği Şekil 4.11'da şaft bağlantı noktasına ait dalga form grafiğinde de karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4.11. Pompa mili ve şaft bağlantı noktası dalga form grafiği

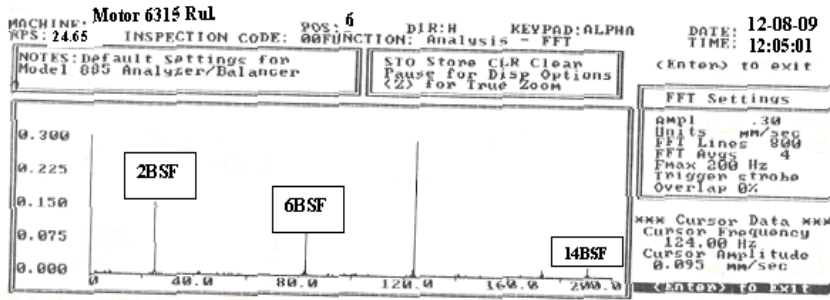
Motor mili ve motor rulmanı yatakları üzerinden alınan ve pompa mili şaft bağlantı noktasından alınan ölçümlerin, genel titreşim seviyelerinde önemli bir değişim saptanmamıştır.

4.3. Rulman Arızaları

Motor ön rulman yatağı üzerinden Şekil 4.12’de verilen yönde alınan 12.08.09 tarihli ölçümün Şekil 4.13’de verilen spektrum grafiği incelendiğinde rulmana (FAG 6315) ait hasar frekanslarından bilye dönüş frekansı (BSF) ve harmonikleri belirlenmiştir. Tablo 4.1’de verilen bilye dönüş frekansı (BSF) yaklaşık olarak 13.97Hz hesaplanmış ve 2., 6. ve 14. katında sinyaller tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. Motor ön rulman yatağı

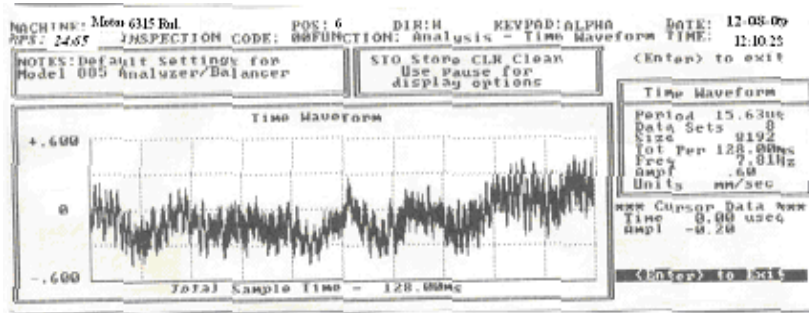


Şekil 4.13. Motor ön rulmanı üzerinden alınan ölçüme ait spektrum grafiği

Tablo 4.1. Motor ön rulmanı (FAG 6315) hasar frekansları ve harmonikleri

EMTAŞ NM 250 M MOTOR RULMAN HASAR FREKANSLARI				BPFO	BPFI	BSF	FTF
d(mm)	75		[dev/dak]	3142.875	8689.125	838.1	392.8594
D(mm)	160		[Hz]	52.38125	144.8188	13.96833	6.547656
n	8						
N(d/d)	1479						
Kontak Açısı	0			BPFO : Dış Bilezik Bilya Ge.Fr.			
Rulman Tipi FAG 6315				BPFI : İç Bilezik Bilya Ge.Fr.			
				BSF : Bilya Dönüş Fr.			
				FTF : Kafes Fr.			
Tarih	12:08:09	BSF	Frekans(Hz)	Genlik(mm/sec)			
Saat	12:05:01	2 BSF	27.94	0.121			
RMS	0.083 mm/sec	6 BSF	83.82	0.069			
		14BSF	195.58	0.038			

Darbe sinyalleri Şekil 4.14'deki dalga form grafiğindeki gibi düzensiz vuruntular şeklinde kendini göstermektedir. Genel titreşim seviyelerinde önemli bir değişim gözlemlenmemiştir.



Şekil 4.14. Motor ön rulmanı üzerinden alınan ölçüme ait dalga form grafiği

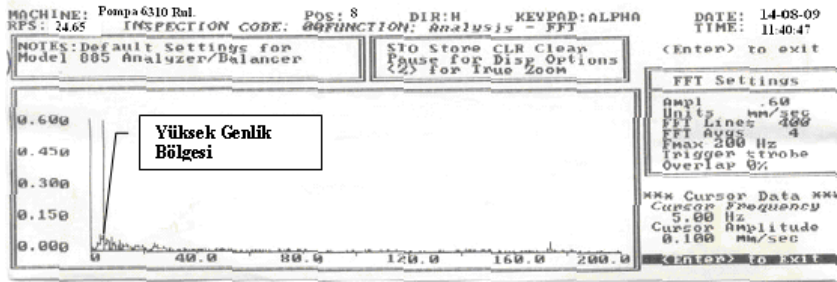
Bir başka meydana gelebilecek rulman arızasına örnek olarak da Şekil 4.15'de gösterilen pompada oluşabilecek rulman arızası incelenmiştir. Tablo 4.2'de pompa üzerinde FAG 6310 numaralı bilyeli rulmanın hasar frekansları ve harmonikleri verilmiştir. Rulman kafes geçiş frekansı yaklaşık olarak (FTF) 6.8Hz olarak hesaplanmış ve Şekil 4.16'daki 8'nolu ölçüme ait spektrum grafiğinde bu frekansın yarı harmoniklerinde (0.5FTF,1.5FTF,2.5FTF,...) sinyaller gözlemlenmiştir ve bu grafiğe ait dalga form grafiği de Şekil 4.17'da gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Pompa rulmanı (FAG 6310) hasar frekansları ve harmonikleri

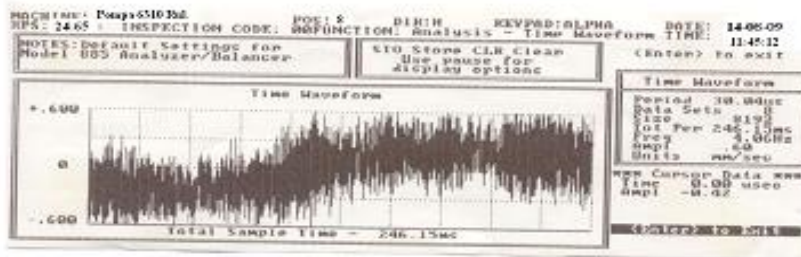
SNT 200-315 POMPA RULMAN HASAR FREKANSLARI				BPFO	BPFI	BSF	FTF
d(mm)	50		[dev/dak]	3226.909091	8605.091	887.4	403.3636
D(mm)	110		[Hz]	53.78181818	143.4182	14.79	6.722727
n	8						
N(d/d)	1479						
Kontak Açısı	0			BPFO : Dış Bilezik Bilya Ge.Fr.			
Rulman Tipi FAG 6310				BPFI : İç Bilezik Bilya G.Fr.			
				BSF : Bilya Dönüş Fr.			
				FTF : Kafes Fr.			
Tarih	14:08:09	FTF	Frekans(Hz)	Genlik(mm/sec)			
Saat	11:40:47	0.5 FTF	3.4	0.061			
RMS	0.038 mm/sec	1 FTF	6.8	0.031			
		1.5 FTF	10.2	0.021			
		2 FTF	13.6	0.043			
		2.5 FTF	17.2	0.045			
		3 FTF	20.4	0.031			
		3.5 FTF	23.8	0.036			
		4 FTF	27.2	0.021			



Şekil 4.15. Pompa rulman yatağı



Şekil 4.16. Pompa rulmanı spektrum grafiği



Şekil 4.17. Pompa rulmanı dalga form grafiği

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu uygulamada, dönel makinelerdeki karakteristik oluşabilecek arızalar ve bu arızaların titreşim karakterlerine değinilerek titreşim analizi ile yapılan ölçümlerdeki değerlendirmeler, ekipmanlarında oluşabilecek arıza tespitinde güvenilir sonuçlar vermektedir. Şimdiye kadar uygulanan bakım politikalarında ayrı ayrı uygulanan periyodik koruyucu bakım ve erken uyarıcı dinamik bakımın avantajları birleştirilerek, dezavantajlarının önüne geçmesi hedeflenmiştir. Bu model ADASU' da uygulandığı takdirde ilk uygulanan kuruluş olması beklenmektedir.

Bu modelle kestirimci bakımdaki gereksiz izleme sayısının optimizasyonu sağlanmakta, periyodik bakımdaki parçaların bozulmadan değiştirilmesi önlenmekte veya istenmeyen zamanda arızaların ortaya çıkıp üretimi durdurmasının önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Bu modelimizin bakım optimizasyonunda bir yenilik getirmesi düşünülmektedir.

ADASU'ya ait su pompa istasyonunun kestirimci bakım yönetimi uygulamasından örnek titreşim analizleri sunulmuştur. Motor-pompa sistemi kestirimci bakım dahilinde belirlenmiş olan noktalardan titreşim ölçümleri alınarak analizler yapılmıştır. Muhtemel arızaların karakteristik titreşim davranışları incelenerek, olası arızaların daha büyük hasarlar oluşturmalarına imkan vermeden, başlangıç ve gelişim süreçlerinde müdahale yapılabileceği öngörülmüştür. Kestirimci bakımın uzman personel ve teknolojik altyapıya ihtiyaç duyması yatırım maliyetlerini ortaya çıkartmakta ancak uzun vade de bu maliyetlerin telafi edileceği arızaları önceden tespit etme kabiliyeti sayesinde sağlanabilmektedir.

Bakım sistemleri, genel olarak anlatılan tüm parametreleri tek çatı altında, birbiri ile ilişki kurarak sonuç üretme ve sonucu izleme teknolojisi aşamasına gelmiştir. Gelişmiş ülkeler, yaygın şekilde bu teknolojiyi kullanmakta ve kaynaklarını en iyi

şekilde değerlendirerek hem arıza nedeni ile oluşan duruşları azaltmakta, hem de parça ve enerji israfının önüne geçmektedir.

Bir motor-pompa sisteminin ömür boyu maliyeti, sistemin belirlenen bir ömrü süreci için ilk satın alma, işletme ve bakım tamir maliyetlerinin toplamından meydana gelmektedir. İşletmeler için, üretim karakteristikleri baz alınarak uygulanacak ekonomik ekipman yenileme modelleri ile optimum maliyetin hesaplanması ve buna bağlı olarak bakım tamir faaliyetlerinin güncellenmesi gerekmektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda aşağıda belirtilen önerilerin değerlendirilmesi bunda sonra yapılacak bu tür bakım çalışmaları için daha sağlıklı sonuçlar verecektir;

- Periyodik bakım ile program dahilinde planlanan yenilemelerin yerine, erken uyarıcı bakım tekniklerinden yararlanılması sayesinde gerekmeyen bakım için zaman kaybının, gereksiz stok ve personel istihdamının önüne geçilmesi sağlanacaktır.
- Kestirimci bakım yöntemi ile birlikte maliyetlerin büyük oranda düştüğü karşılığında aynı oranda arttığı saptanmış, uygulamanın ülkemizde bulunan endüstriyel tesislerde de kullanılması üretim sürekliliği ve uzun vadede getireceği katkıları açısından çok önemlidir.
- Titreşim analizi yapılacak makine elemanlarının, dönme devirleri, rulman tipleri gibi teknik özelliklerini içerisinde bulunduran bir tanıtlama kartının olması gerekmektedir.
- Kestirimci bakım tekniklerinden olan, titreşim analizinin arıza tespitinde etkinliğinin yüksek olabilmesi için titreşim ölçümleri doğru noktadan, doğru parametrelerle ve doğru zamanda alınmalıdır.
- Arızaların genelinde dönme devri frekansı ön plana çıkmaktadır, bu nedenle dönme devri öncelikle belirlenmeli ve dönme devri frekansları spektrumda belirlenmelidir.
- Genellikle dengesizlik dönel makine elemanlarında mevcut bir problem olması nedeniyle her yükselti arıza anlamına gelmemekte, arıza olabilmesi için genlik seviyesinin ve zamanla artışının tespiti gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] DAL, H., “Makinalarda Yapay Sinir Ağı (YSA) Tabanlı Titreşim Esaslı Kestirimci Bakım”, Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, FBE, Temmuz, 2004.
- [2] DANACI, M.A., BİRGÖREN, B., ve ERSÖZ, S., “Weibull Parametreleri ve Yüzdeleri İçin Güven Aralığı Tahmin Algoritmaları”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., 24(1): 119-128, 2009.
- [3] MİSRA, K.B.,”Handbook of Performability Engineering”, Springer London, 807-823, 2008 .
- [4] KÖSE, R.K., “Kestirimci Bakım”, Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi Makina Mühendisleri Odası, 199-209, Denizli, 2003.
- [5] KÖSE, R.K., “Mekanik Titreşim Analizi ile Makina Arızalarının Belirlenmesi Endüstriyel Uygulama”, II. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 323-346, 2003.
- [6] BELEK, H.T., TOPRAK, T., “Titreşim Ölçümüne Dayalı Makina Bakımı Kurs Notları”, Pro-Plan Ltd. Şti., İstanbul, 2003.
- [7] DEMİRTAŞ, Ü.İ., ÖZEL, Y., “Kağıt Karton Sanayinde Bakım Teknolojileri”, 1. Ulusal Kağıt Sempozyumu, Kocaeli, 83-94, 1993.
- [8] FEYZULLAHOĞLU, E., “Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Uygulaması”, Mühendis ve Makina Dergisi, 42 (503) : 30-37, 2001.
- [9] YİĞİT, C., KAZAN, R., “Makine Performanslarının Titreşim İzleme Yöntemiyle Belirlenmesi”, Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya, 341, 02-03 Kasım, 2004.
- [10] GİRDHAR, P., SCHEFFER, C., “Practical Machinery Vibration and Predictive Maintenance” , Part II: Vibrations basics”, Newnes, 14, Elsevier Science, U.K., 2004.
- [11] MOBLEY, R.K., “An Introduction to Predictive Maintenance, Second Edition”, Butterworth Heinemann, 129, Elsevier Science (USA), 2002.

- [12] KIRAL, Z., KARAGÜLLE, H., “Rulmanlı Yatak İçeren Yapılarda Yükleme Modeli Geliştirilmesi ve Titreşim Analizi”, II.Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 298, 2003.
- [13] KÖSE, R.K., “Makina Arızalarının Belirlenmesinde Titreşim Analizi”, Mühendis ve Makina Dergisi, 45 (538) : 24-32, 2004.
- [14] İnternet : Universal Technologies Inc “An Introduction to Time Waveform Analysis”
[http:// www.unitechnic.com/pdf/IntroductiontoTimeWaveformAnalysis.pdf](http://www.unitechnic.com/pdf/IntroductiontoTimeWaveformAnalysis.pdf)
- [15] ORHAN, S., “Dönen Makinelerde Oluşan Arızalar ve Titreşim İlişkisi”, Teknoloji, 6 (3-4): 41-48, 2003.
- [16] ORHAN, S., AKTÜRK, N., “Aktarma Organ Dişlilerinde Oluşan Fiziksel Hataların Titreşim Analizi İle Belirlenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 18 (3): 97-106, 2003.
- [17] ARSLAN, H., ORHAN, S. ve AKTÜRK, N., “Bilyalı Rulman Hasarlarının Neden Olduğu Titreşimlerin Modellenmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., 18 (4): 123-146, 2003.
- [18] SCHEFFER, C., “Pump Condition Monitoring Through Vibration Analysis”, Pumps: Maintenance, Design and Reliability Conference, Johannesburg, 13-19, 2008.
- [19] UZGUR, S., “Pompalar”, Tesisat Mühendisliği, 64, 64-68, Temmuz-Ağustos 2001.

EKLER

EK A. PRO-PLAN Proje Müh. Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. Proforma



PROJE MÜHENDİSLİK SANAYİ VE TİCARET LTD. ŞTİ.

16.02.2009

TEKLİF

No: E101403

Tip No	Açıklama	Adet	Birim Fiyat (EUR)	Toplam (EUR)
Brüel & Kjør Vibro Marka VIBROTEST 60 Titreşim Ölçüm Cihazı				
Modül 1.1	Genel Titreşim Düzeyi Modülü (Overall, BCU)	1	3.300	3.300
Modül 2.1	Frekans Analizi Modülü (FFT)	1	4.392	4.392
Modül 2.2	Frekans Analizi İlave Modülü (SED - Cepstrum)	1	2.196	2.196
Modül 6	Veri Toplayıcı Modülü	1	1.980	1.980
Modül 7	Yerinde Balans Modülü (1-2 düzlem)	1	5.208	5.208
Modül 8	CPB Analiz Modülü	1	1.464	1.464
XMS - Titreşim Analizi Bilgisayar Paket Programı				
Modül B01	Temel Modül	1		
Modül I01	Rapor Veri Aktarım Modülü	1		
Modül I02	Rota Veri Aktarım Modülü	1		
Modül A10	Genel Seviye Analizi Modülü	1		
Modül A20	Spektrum Analiz Modülü	1		
Modül A21	CPB Analiz Modülü	1		
Modül D10	Rulman Arıza Teşhis Modülü	1		
Aksesuarlar				
AS-065	İlave Titreşim Sensörü	1	1.166	1.166
P-95	Fotoelektrik Takometre (Devir Ölçmek İçin)	1	806	806
AC 608	PCMCIA Kart Sürücüsü (Bilgisayar bağlantısı için)	1	653	653
Eğitim				
001	Cihaz kullanımı ve sistem kurulumu (2 gün)			Ücretsizdir.
TOPLAM				30.904 €

Fiyatlarımız EURO cinsinden KDV Hariç yurtiçi teslim fiyatlarıdır.

Geçerlilik : Teklifimiz, veriliş tarihinden itibaren bir ay geçerlidir.
Ödeme Şekli : %30'u siparişle birlikte, %70'i mal tesliminde fatura tarihindeki TCMB döviz satış kuru üzerinden TL olarak.
Garanti Süresi : 1 yıl
Teslim Süresi : Sipariş tarihinden itibaren 4 - 6 haftadır.

Pro-Plan Ltd. Şti.

PRO-PLAN Ltd. Şti., Krizantem Sk. No:78, 34330 İç Levent İSTANBUL
Tel: (212) 279 95 22, 268 25 74 Faks: (212) 264 65 07 E-Mail: proplan@proplan.com.tr
Web: www.proplan.com.tr

EK B. Motor-Pompa Ünitesi Titreşim Ölçüm Noktaları

Motor-Pompa Ünitesi Titreşim Ölçüm Noktaları							
Ölçüm No	Ölçüm Kodu	Ölçüm Noktası	Ölçüm Eksenleri			Devir Sayısı	Açıklamalar
			Yatay	Eksenel	Düşey		
1	MTR.F.D	Motor Arka Fan				1479d/d	
2	MTR.F.Y	Motor Arka Fan				1479d/d	
3	MTR.MR.Y	Motor Mili ve Rulmanı				1479d/d	FAG6314 Rulman
4	MTR.RS.Y	Motor Rulmanı ve Stator Sargılar				1479d/d	
5	MTR.M.E	Motor Mili				1479d/d	
6	MTR.R.Y	Motor Rulmanı				1479d/d	FAG6315 Rulman
7	PMP.M.E	Pompa Mili ve Şaft Bağlantısı				1479d/d	
8	PMP.R.E	Pompa Rulmanı				1479d/d	FAG6310 Rulman
9	PMP.MC.E	Pompa Mili ve Çark				1479d/d	
10	PMP.RYC.Y	Pompa Rulman Yatağı ve Çark				1479d/d	FAG6310 Rulman

EK C. Ölçüm İzleme Cetveli

ÖLÇÜM İZLEME CETVELİ			
Ölçüm Noktası	Max PK(mm/sec)	Tarih/Saat	Debi Miktarı
Motor Fan (1)	0.299	25.08.09/11:40	150000 m ³ /h
Motor Fan (2)	0.267	02.09.09/12:21	150000 m ³ /h
Motor Mili ve Rulman Yatağı (3)	0.155	03.09.09/11:40	150000 m ³ /h
Motor Rulmanı Stator Sargıları (4)	0.226	03.08.09/11:40	150000 m ³ /h
Motor Mili (5)	0.114	03.08.09/11:40	150000 m ³ /h
Motor Ön Rulmanı (6)	0.121	12.08.09/12:05	150000 m ³ /h
Pompa Mili ve Şaft Bağlantı Noktası (7)	0.102	31.08.09/11:40	150000 m ³ /h
Pompa Rulmanı (8)	0.100	02.09.09/12:21	150000 m ³ /h
Pompa Mili ve Çark Kısmı (9)	0.107	18.08.09/12:05	150000 m ³ /h
Pompa Rulman Yatağı ve Çark Kısmı(10)	0.067	31.08.09/11:47	150000 m ³ /h

EK D. ISO 2372-TS 2782 Titreşim Şiddet Standardı

Titreşim şiddet aralığı sınırları (Hız)			Sınıflarına göre makinaların titreşim şiddet aralıkları			
in/s (PK)	mm/s (PK)	mm/s (RMS)	Sınıf I < 20 HP	Sınıf II 20-100 HP	Sınıf III >100 HP	Sınıf IV >100 HP
0.015	0.381	0.28	A	A	A	A
0.025	0.635	0.45				
0.039	0.991	0.71	B	B	B	B
0.062	1.575	1.12				
0.099	2.515	1.80	C	C	C	C
0.154	3.912	2.80				
0.248	6.3	4.50	D	D	D	D
0.392	10	7.10				
0.617	15.67	11.2				
0.993	25.22	18.0				
1.540	39.12	28.0				
2.480	63	45.0				
3.940	100	71.0				

A: İyi

B: İzin verilebilir

C: İdare eder

D: İzin verilemez

20 HP = 15 kW

100 HP = 75 kW

ÖZGEÇMİŞ

Veysel TATAR, 1982 yılında Van'da doğdu. 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2006 yılında aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.