

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MOBİLYA ÜRETİM MAKİNELERİNDE TİTREŞİM
YARDIMI İLE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI**

**Hazırlayan
Abdulkadir ÖZÇELİK**

**Danışman
Doç. Dr. Hamdi TAPLAK**

Yüksek Lisans Tezi

**Şubat 2023
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MOBİLYA ÜRETİM MAKİNELERİNDE TİTREŞİM
YARDIMI İLE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Abdulkadir ÖZÇELİK**

**Danışman
Doç. Dr. Hamdi TAPLAK**

**Şubat 2023
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Abdulkadir ÖZÇELİK

Mobilya Üretim Makinelerinde Titreşim Yardımı ile Kestirimci Bakım Uygulaması adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Abdulkadir ÖZÇELİK

Danışman

Doç. Dr. Hamdi TAPLAK

Prof. Dr. Veysel ÖZCEYHAN

Makine Mühendisliği ABD Başkanı

ÖNSÖZ

Çalışmamda yardımını esirgemeyen tecrübe ve birikimleri ile yön veren değerli hocam Doç. Dr. Hamdi TAPLAK' a teşekkür ederim.

Uygulamalı çalışma kısmında bilgi ve birikimlerinden yararlandığım Bakım Birimi Uzmanı Gökhan İBİŞ 'e teşekkür ederim.

Sabırları ve destekleri için tüm aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Abdulkadir ÖZÇELİK

Kayseri, Şubat 2023

MOBİLYA ÜRETİM MAKİNELERİNDE TİTREŞİM YARDIMI İLE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI

Abdulkadir ÖZÇELİK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Şubat 2023
Danışman: Doç. Dr. Hamdi TAPLAK

ÖZET

Makinelerdeki plan dışı duraklamalar ve arızanın sebep olduğu beklemler üretim için önemli zaman ve iş gücü kaybına yol açmaktadır. Arızalar oluşmadan önce engellenmek için kestirimci bakım uygulaması önemli bir yer kaplamaktadır. Kestirimci bakım uygulamalarının amacı makinelerde olağan dışı bir titreşim ve çalışma performansını gözleyerek daha az zaman ve performans kaybı ile planlı bir bakım çalışması yapmaktır.

Boytaş-1 fabrikasında yapılan çalışmada kenar işleme, Tıraşlama ve freze motorlarındaki rulman arızaları gözlenmiştir. Yapılan gözlem ve analiz sonucunda arızalar giderilmiştir. Bakım sonrası yapılan ölçümlerde titreşim seviyelerinin istenilen genlik seviyesine geldiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kestirimci bakım yöntemi, titreşim analizi, rulmanlar

PREDICTIVE MAINTENANCE APPLICATION WITH VIBRATION AID IN FURNITURE MANUFACTURING MACHINES

Abdulkadir ÖZÇELİK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, February 2023

Supervisor: Assist. Prof. Dr.Hamdi TAPLAK

ABSTRACT

Unplanned pauses in machines and waiting times caused by malfunctions cause significant time and labor loss for production. Predictive maintenance practice occupies an important place in order to prevent malfunctions before they occur. The purpose of predictive maintenance practices is to observe an unusual vibration and operating performance of the machines and to carry out a planned maintenance work with less time and performance loss.

In the study carried out in Boytaş-1 factory, bearing failures in edge processing, trimming and milling motors were observed. As a result of the observation and analysis, the faults were corrected. In the measurements made after the maintenance, it was observed that the vibration levels reached the desired amplitude level.

Keywords: Predictive maintenance method, Vibration analysis, roller

İÇİNDEKİLER

MOBİLYA ÜRETİM MAKİNELERİNDE TİTREŞİM YARDIMI İLE KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
ONAY	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

BAKIM ÇALIŞMALARININ ÖNEMİ, ÇALIŞMANIN AMACI ve LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Bakım Çalışmalarının Önemi	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
1.3. Literatür Taraması	4

2. BÖLÜM

BAKIM TEKNİKLERİ

2.1. Arıza Çıktıkça Bakım	7
2.2. Koruyucu Bakım (Periyodik Bakım)	7
2.3. Proaktif Bakım	9
2.4. Güvenilirlik Esaslı Bakım	9
2.5. Kestirimci Bakım	9
2.5.1. Kestirimci Bakım Teknikleri	10
2.6. Titreşim Teorisi	11
2.6.1. Periyodik Hareket	11
2.6.2. Temel Kavramlar	16

2.6.3. Gelişigüzel titreşimler	17
2.6.4. Fourier serileri.....	19

3. BÖLÜM

RULMANLAR

3.1. Rulmanların Ömrünü Etkileyen Faktörler	21
3.2. Rulman tipleri	23
3.2.1. Lineer Rulmanlar	23
3.2.2. Yataklı Rulmanlar	24
3.2.3. Segman Kanallı Silindirik Rulmanlar.....	24
3.2.4. Flanşlı Rulmanlar	25
3.2.5. Bilyalı Rulmanlar	25
3.3. Rulmanların Depolanması	26

4. BÖLÜM

KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMA ÇALIŞMASI

4.1. Uygulamada Kullanılan Ölçüm Cihazının Tanıtımı	27
4.1.1. Kumanda.....	27
4.1.2. Dokunmatik Ekran Kumandası	28
4.1.3. Ölçüm dosyası oluşturma	28
4.1.4. Vibrasyon Transdüktörünü Tanıtma	29
4.1.5. Bilgisayarla İletişim	29
4.1.6. Leonova Ölçüm Fonksiyonları.....	30
4.1.7. Toplam Titreşim Ölçümü.....	31
4.1.8. Makine Durumunun Değerlendirilmesi.....	31
4.1.9. Makine sınıflarının ISO'ya göre tanımlanması.....	32
4.1.10. Titreşim Ölçüm Noktaları	32
4.1.11. Referans Alınan Değerler İle Ölçüm.....	32
4.1.12. Condmaster Nova Programı	33
4.2. Kestirimci Bakım Uygulamasında Kullanılan Motor Hakkında Genel Bilgiler	36
4.3. Tek Düz Kenar İşleminde Kullanılan Motorda Yapılan Ölçümler Ve Analizler	37

4.3.1 Motor Titreşim Ölçümleri.....	38
5. BÖLÜM	
TARTIŞMA – SONUÇ VE ÖNERİLER	
5.1. Tartışma.....	41
5.2. Sonuç ve Öneriler.....	41
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ.....	47



KISALTMALAR VE SİMGELER

A	: Salınım deplasmanı
\square	: Radyan
T	: Periyot
<i>f</i>	: Frekans
a	: İvme
<i>v</i>	: Hız
t	: Zaman
Hz	: Hertz
dB	: Desibel
X	: Yer değiştirme (genlik)
VPM	: Dakikadaki titreşim miktarı
CPM	: Dakikadaki çevrim sayısı
FFT	: Fast Fourier Transform
RMS	: Root mean square (Etkin değer)
RPM	: Rotates per minute (dakikadaki devir sayısı)
dBc	: Decibel carpet value (Desibel halı seviyesi)
dBm	: Decibel maximum value (1 miliwatt karşılığı gelen desibel değeri)
EVAM	: Değerlendirmeli vibrasyon analizi
ISO	: International Organization for Standardization
SPM	: Bütün sok puls ölçüm teknikleri (SPM Spectrum dahil)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Aylık periyotlarda bakım	8
Şekil 2.2.	Koruyucu bakımında arıza olasılığı – zaman grafiği.....	9
Şekil 2.3.	Bir kütlelinin yaya bağlanarak sabit bir şekilde salınımı sonucunda oluşan basit harmonik hareketinin grafiksel gösterimi	12
Şekil 2.4.	Harmonik hareketin grafiksel gösterimi.	13
Şekil 2.5.	Aralarında ϕ faz açısı olan iki harmonik hareket x- ekseninde ωt ve y- Ekseninde X deplasman vardır.	14
Şekil 2.6.	Harmonik olmayan periyodik hareket	15
Şekil 2.7.	Genlik ölçüm tipleri.....	17
Şekil 2.8.	Gelişigüzel titreşim grafiksel gösterimi. x-ekseninde zaman, y- ekseninde ivme vardır	18
Şekil 2.9.	Gelişigüzel titreşimin ayrışması zaman, ivme grafiği	18
Şekil 2.10.	FFT dönüşümü.....	19
Şekil 3.1.	Rulman Örneği.....	20
Şekil 3.2.	Yerleştirilmiş Rulman Örneği.....	21
Şekil 3.3.	Kapaklı Rulman Örneği	22
Şekil 3.4.	Lineer Rulman Örneği	23
Şekil 3.5.	Yataklı Rulman Örneği	24
Şekil 3.6.	Segman Kanallı Silindirik rulmanlar	24
Şekil 3.7.	Flanşlı rulman	25
Şekil 3.8.	Bilyalı rulman	25
Şekil 4.1.	Leonova ölçüm cihazı.....	27
Şekil 4.2.	Dokunmatik Ekran Görünümü.....	28
Şekil 4.3.	Dosya Oluşturma	29
Şekil 4.4.	Vibrasyon transdüktör tanıtma.....	29
Şekil 4.5.	Leonova infinity ölçüm cihazı bilgisayar bağlantı gösterimi	30
Şekil 4.6.	ISO limit değerleri	31
Şekil 4.7.	Condmaster Nova Programı Genel Görünümü.....	33
Şekil 4.8.	Ölçüm noktaları menüsü.....	34
Şekil 4.9.	Cihazda ölçüm noktası belirleme.....	34
Şekil 4.10.	Rounds menüsü.....	34
Şekil 4.11.	dBm/dBc değerlerinin kayıt yapıldığı menü.....	35

Şekil 4.12.	Ölçüm programı limit ekranı	35
Şekil 4.13.	Motor yapısı ve ana parçaları.....	36
Şekil 4.14.	Kestirimci bakım uygulaması yapılan motor	37
Şekil 4.15.	Periyodik bakım yapılırken toplam duruş süresi 2020 yılı	37
Şekil 4.16.	Kestirimci bakım sonrası 2021 yılı toplam duruş	38
Şekil 4.17.	Kestirimci bakım sonrası 2022 yılı toplam duruş	38
Şekil 4.18.	Toplam Duruşlar	38
Şekil 4.19.	Dış rulmanı dBm-dBc (şok puls) trend grafiği ve bakım sonrası düşüş	38
Şekil 4.20.	İç rulmanı dBm-dBc (şok puls) trend grafiği ve bakım sonrası düşüş	39
Şekil 4.21.	Rulman yatay titreşim hız trend grafiği	39
Şekil 4.22.	Rulman yatay titreşim ivme trend grafiği	39
Şekil 4.23.	Motor hız trend grafiği.....	39
Şekil 4.24.	Motor ivme trend grafiği.....	40
Şekil 4.25.	Hatalı rulmanın görseli	40
Şekil 5.1.	2021 yılı bakım öncesi FFT spektum grafiği.....	42
Şekil 5.2.	2021 yılı bakım sonrası FFT spektum grafiği.....	42
Şekil 5.3.	2022 yılı bakım öncesi FFT spektum grafiği.....	43
Şekil 5.4.	2022 yılı bakım sonrası FFT spektum grafiği.....	43

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Makinelerin çalışma şartlarını belirleyen unsurlar	10
---------------------------------------------------------------------	----



GİRİŞ

Kestirimci bakım yönteminde belirli aralıklarla makinelerde yapılan ölçümlerle makinenin plansız duruşlarının ve küçük problemlerin büyümesinin önüne geçilmesi hedeflenir. Makineden alınan verilerin incelenmesine bağlı olarak planlı bir şekilde makinelerin bakım planı oluşturulur. Yapılan bu uygulama sayesinde arızaların büyümesi önlenmiş olur. İş gücü ve zaman kaybı minimum seviyelerde tutulur.

Makinelerde oluşan ani arızalar üretimin planlanmış işini engellediği gibi arızanın büyümesiyle birlikte maddi hasarında büyümesine sebep olabilir. Kestirimci bakım uygulamasında titreşim ile kontrolün önemi burada devreye girmektedir. Kontroller aşamasında gözlemlenen uygunsuzlar hemen reaksiyon alınmasında büyük önem taşır.

Yapılan çalışmada üretimde kullanılan makinelerin motor rulmanları incelenmiş belirli periyotlarda alınan veriler sayesinde arızalar büyümeden bakımları yapılmıştır. Bakım öncesi ve sonrası yapılan ölçümler sayesinde bakım yapıldıktan sonra titreşim seviyelerinin kabul edilebilir seviyelere geldiği tespit edilmiştir.

Kestirimci bakım uygulamasında titreşim ölçümünün önemi yapılan çalışmalar sonucunda işletmelere maksimum kazanç sağladığı ilk baş maliyetlerin yüksek olmasına rağmen kısa zamanda yatırımı amorti eden çok yararlı bir yöntemdir.

1. BÖLÜM

BAKIM ÇALIŞMALARININ ÖNEMİ, ÇALIŞMANIN AMACI ve LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Bakım Çalışmalarının Önemi

İş ortamı içerisinde rekabetin artması ve enerji giderlerinin yükselmesi üreticileri zor duruma sokmaktadır. Üretim talebi artarken maliyetlerinde düşürülmeye çalışılması günümüzde üretim yapan firmaların dikkat etmesi gereken kriterlerin başında gelir. Bu talepleri karşılamak için verimliliğin azalmasına yol açan beklenmedik arızaların oluşmasından kaçınılmalı ve bu durumların önüne geçilmesi gerekmektedir [1].

Üreticilerin üretim maliyetlerini azaltmak için büyük çabalar ve mesailer harcadığı bilinmektedir. Verimliliğin artması için yapılan bakım çalışmalarının üçte birlik kısmı sadece bakım maliyetleri arttıran boşa bakım işlemlerini oluşturmaktadır. Bakı işlemleri doğru yapılmadığı için hem gereksiz stok maliyetlerinin artmasına hem de gereksiz iş gücü kayıplarına yol açmaktadır. Doğru bakım yapıldığı zaman ürün maliyetinin yaklaşık olarak %14'lük kısmını oluşturan bakım masraflarının azalacağı bilinir. Dupont'un raporuna göre işletme giderlerinin büyük kısmını bakım onarım çalışmaları oluşturmaktadır. İşletme geneline bakacak olursak bakım onarım çalışmaları birçok işletmenin net karından daha fazla olduğu gözlemlenmektedir [2].

Makinelerde oluşan ani duruşlar ve bakımdan kaynaklı arızalar üretimin aksamasına dolayısıyla da verimin azalmasına sebep olur. Üretime etkisinin bir kısmı aşağıda verilmiştir:

- Üretim planının aksaması,
- Bakım ve işçilik masraflarının artması,

- Müşteri siparişlerinin zamanında yetişmemesi ve müşterilerden olumsuz dönüş alınması,
- İş akışı olarak zincir reaksiyon veren bölümlerde boşa beklemelemlerin olması,
- Kalitenin bozulması ve hata oranlarında artış.

Beklenmedik duruşlar ve arıza yapan makinelerin bakımları hem uzun süre alır hem de yüksek maliyetler çıkarır. Beklenmedik arıza durumlarında parça temini zorlaşır, iş gücü kayıpları artar. Makinelerden maksimum verimini alabilmek için bakımlarının zamanında yapılmasının önemi her zaman dile getirilmiştir. İstenmeye bu olayların yaşanmaması için en etkili yöntemin kestirimci bakım uygulaması olduğu gözlemlenmiştir. Bu uygulama sayesinde birçok arızanın önüne geçildiği gibi bakım maliyetlerinde ciddi düşüşler olduğu gözlemlenmiştir. Kestirimci bakım yöntemi sayesinde yedek parça ve stok maliyetlerinde yaklaşık olarak %27, bakım giderlerinde %74, işletme zaman kayıplarında ise %40 iyileşme sağlamaktadır [3].

Makinelerde zamanla hasar eğilimi başladığı zaman belirtiler görülür. Bunları anlamının en iyi yollarından birisi titreşim analizi yapmaktır. Belirli periyotlarla kontrol yapılarak verilerin toplanması gerekir. Makinelerin dinamik aksamlarında bozukluk olduğu zaman düzensiz titreşimler gönderirler.

Makinelerde çalışan birçok bağımlı ve bağımsız parça vardır. Bu parçalar zaman içerisinde aşınarak veya yorularak dinamik değişimler göstermektedir. Oluşan eksen kaçıklıkları ve dengesizlikler yüzünden makinelerin titreşim genlikleri artar.

Titreşim analizleri yapılarak özellikle hareketli parçalarda oluşan arızaların erken farkına varılması ile hasar ciddi boyutlara gelmeden giderilir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Mobilya üretim makinelerinde kestirimci bakım yönteminde titreşim analizi ile arıza tespiti ve motorlarda oluşacak olan rulman hasarlarının daha başlangıç aşamasında tespit edilmesine dayanır. Periyodik olarak makinelerde ölçümler yapıp alınan verilerin bir program kullanılarak makinenin durumunun değerlendirilmesi ve bakım zamanı

hakkında kestirimlerde bulunur. Yapılan bu analiz ve değerlendirmeler sayesinde plansız duraklamaların ve büyük arızaların, maddi hasarlara karşı önlem alınmış olur.

Rulmanlarda oluşacak hasarların bir kısmı şunlardır:

- Pullanma (Erken Dökülme)
- Soyulma
- Kazınma
- Sıvanma
- Aşınma
- Çatlaklar

Yapılan çalışmada titreşim yardımı ile analiz yapılarak rulman arızalarının tespiti yapılmıştır.

1.3. Literatür Taraması

Kestirimci bakım uygulamasının temel verilerinden bir tanesi titreşim verilerinin analizi ile arıza tespitidir. Bu konu hakkında bazı araştırmalar yapılmıştır.

Orhan, (2002)'de Tüpraş Kırıkkale işletmesinde kullanılan üretim makinelerindeki rulman arızalarını tespit etmek için titreşim ölçümü ile kestirimci bakım uygulamalarını gerçek şartlarda incelemiş bakımlarını yapmışlardır. [4].

Karahan, (2005)'de Demir Çelik makinalarında kullanılan makinelerin analizleri yapılarak kestirimci bakım değerlendirmelerine göre bakım planları yapılarak rulman arızası ve kaymalı yatak arızaları tespit edilmiştir. [5].

Uysal, (2019)'da Enerji santralinde kullanılan makinelerde periyodik ölçümler yapıp alınan veriler incelenerek arızaların tespiti yapılmıştır. Belirlenen arızalar arasında mekanik gevşeklik, rulman arızaları, kaymalı yatak arızaları vb. arızaların tespiti yapılmıştır.[6].

Gücek (2019)'da bir rendering tesisinde uygulanan kestirimci bakım uygulamaları değerlendirilmiştir. Yapılan periyodik ölçümlerle ve değerlendirmeler sonucunda kestirimci bakım uygulamaları anlatılmıştır. [7].

Göçülü (2015)'de işletmelerde kestirimci bakım uygulamalarının işletmeye sağladığı yararlar incelenmiş ve bu kapsamda İskenderun organize sanayi bölgesinde ve Osmaniye sanayi bölgesinde faaliyet gösteren fabrikalarda kestirimci bakım teknikleri ele alınarak kestirimci bakım faaliyetleri hasar büyümeden planlanmıştır [8].

Hafızoğlu (2015)'de pistonlu kompresörlerin mekanizmasında kullanılan krank biyel mekanizmalarındaki temel hareketler ele alınmıştır. Krank biyel mekanizmasındaki titreşim analizlerinin yorumlanması sayesinde hasar önceden teşhis edilmiş ve kestirimci bakım yaklaşımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. [9].

Yıldırım, (2014)'de makine parçalarının zaman içerisinde aşınması ve buna bağlı olarak işletmenin bakım stratejilerini belirlemek amacıyla kestirimci bakım uygulamalarının önemini belirten bir çalışma yapmıştır. Kompresörler ve kaymalı yatağa sahip dövme makinelerinde titreşim analizi ve ölçümleri yapılmıştır. Kaymalı yataklardaki yıpranma ve rulman arızaları tespit edilmiştir. [10].

Arslan, (2010)'da basınç farkı oluşturarak hava akışı sağlayan cihazları incelemiştir. Kestirimci bakım yöntemiyle titreşim analizi yaparak plansız duruşlar ve bakım zamanları için bir bakım planı oluşturulup arızaları büyümeden giderilmesi planlanmıştır. [11].

Hancı, (2009)'da kestirimci bakım tekniğiyle makine parçalarının arızalanmadan alınan veriler sayesinde değerlendirilerek bakım programlarının ona göre hazırlanması hedeflenmiştir. Bu uygulama sayesinde arızalar minimum seviyeye indirilip bakım maliyetleri düşürülmüştür [12].

2. BÖLÜM

BAKIM TEKNİKLERİ

Bir işletmede bakım onarım bölümünün amacı tüm makinelerin yüksek verim ve performansla faaliyetlerini sürekli olarak yerine getirebilmesini sağlamaktır. İşletmenin sürekliliğini sağlamak için bakım-onarım bölümünün önemi çok fazladır. Bakım onarım bölümünün görevleri arasında sürekli olarak devam etmesi, beklenmedik arızaların çabuk giderilmesi ve beklenmedik arızaların oluşmasını engellemek için periyodik bakım kontrollerinin yapılmasıdır. Yardımcı tesisler ve ana binanın düzenli olarak kontrol ve bakımının yapılmasıdır. Verimliliği ve sürekliliği arttırmak için düzenli olarak yenilikleri takip edip hızlı bir şekilde reaksiyon alarak kendini geliştirmelidir.

İşletmeler genişledikçe bakım-onarım bölümünün sorumlulukları da artar. İmalat bölümlerindeki sürekliliğin aksamaması için ve gelen siparişlerin karşılanmasını sağlamak başlıca görevleri arasındadır. Arızalar arttıkça firmanın prestij ve maddi kayıpları da artar. Arızalara hızlı ve seri çözümler getirmek işletmenin sürekli çalışması için çok önemlidir. Arızalar ne kadar geç giderilirse makinelerin boшта kalma ve makinelerin tetiklediği iş gücü zararı artar. İş gücü kaybının ve maddi zararın artmaması için bir an önce bakımların yapıp seri üretime tekrardan geçilmesi çok önemlidir.

Arızalara zamanında ve hızlı müdahale edilmesi için eğitilmiş, işinin ehli iyibir ekip şarttır. Bakım-onarım ekiplerine güncel gelişmelere göre sürekli olarak eğitim verilip kendilerini geliştirmeleri için teşvik edilmelidir. Bakım onarım teknikleri temel olarak aşağıdaki başlıklar altında incelenir.

- Arıza çıktıkça bakım
- Koruyucu (periyodik) bakım
- Proaktif bakım

- Güvenirlik esaslı bakım
- Kestirimci bakım

2.1. Arıza Çıktıkça Bakım

Köse'nin araştırmasını incelediğimiz zaman arıza çıktıkça bakım yönteminde bakım elemanları bakım onarım işlemi yapmaktan arızaların sebeplerini incelemeye zaman bulamazlar. Arızalı parçanın arayışından ve üretim makinesinin yeniden çalışır hale getirilmesi çabası üzerinde çalışıyorlarmış gibi görünse de makinenin tekrardan arıza yapma olasılığı da bakım yapan elemanlar üzerinde büyük sorumluluk ve baskı kurar. Ani duruşlar plansız olduğu için yapılan bakım takvimlerinin hiçbir etkisi olmaz. Yaşanan bu ani duruş ve arızaların tehlikeli durum oluşturabileceği için çalışan personeli tehlikeye sokar. Personel bu ani duruş ve arızalara hazırlıksız olduğu için önlem olarak gereksiz stok ve parça maliyetine sebep olur. Plansız olan bu gelişmelerle çok fazla karşı karşıya gelineceği için en masraflı bakım yöntemi olmaktadır [13].

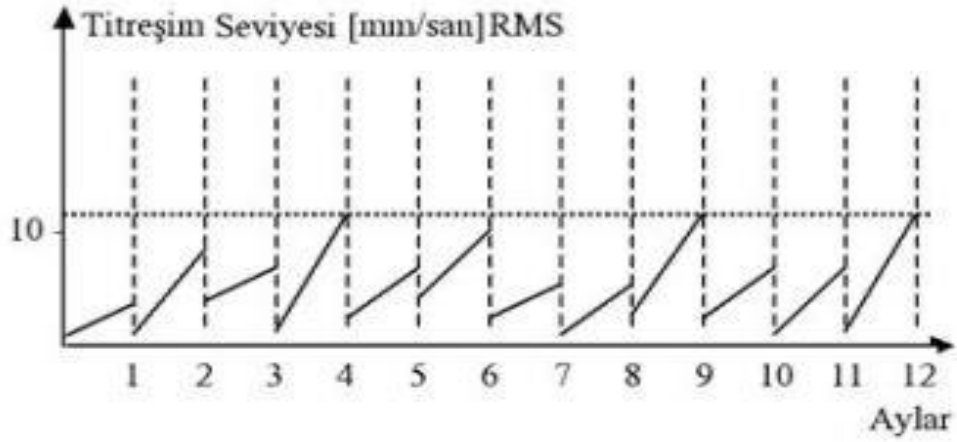
İşletmelerde çokça tercih edilen bir yöntem olarak kullanılmasına rağmen gelişen teknolojik şartlara göre hızla terk edilen bir metottur. Bu yöntemin avantajı düşük alt yapı maliyetidir. Dezavantajı ise yüksek insan gücü çalıştırmak ve üretimde yaşanacak aksiliklerden dolayı siparişler yetişmeyeceği için prestij ve maddi kayıptır. Zincirleme bir reaksiyona sebep olacağı için işçilik maliyetlerinin artmasına neden olur.

2.2. Koruyucu Bakım (Periyodik Bakım)

Faaliyet gösteren üretim tesislerinde en çok tercih edilen bakım yöntemlerinin başında periyodik bakım uygulaması gelir. Belirli aralıklarla bakım yapılmasına dayalı olan bu yöntem arıza halinde işletmeyi sıkıntıya sokacak ve yüksek maddi zararlara uğratacak makinelere uygulanır. Hasar oluşumunu engellenmek ve yüksek maliyetlerle karşılaşmamak için periyodik bakımlar yapılır. Periyodik bakımlarda yağlamalar, parça değişimi ve temizliklere dikkat edilir. Düzenli olarak bakımlar yapılırken beklenmeyen arızalar azalır. Düzenli bakımların en büyük avantajlarından biri ise verimliliği artırıp enerji tüketimini azaltır. Bu bakım yönteminde arızaların önüne geçebilmek için bakımlar arası zaman kısa tutulması önemlidir. Zaman kısa tutulursa bakım maliyetlerinde artış yaşanır. Sık sık bakım yapılması sonucunda makinelerin kalibrasyon ayarlarının bozulması oluşabilecek riskler arasında gösterilmektedir.

Periyodik bakımlarda makinelerin bir önceki çalışma şekilleri göz önüne alınarak değerlendirildiği için makinelerin çalışma şekilleri değişiklik gösterildikçe beklenmedik arızalar da görülebilir. Belirtilen sebeplerden dolayı periyodik bakımlarda geç kalınma durumu ortaya çıkabilmektedir.

Şekil 2.1’de aylık periyodik bakımları yapılan örnek bir bakım grafiği görülmektedir. 12 ay içerisinde yapılan bakımlar sırasında titreşim değerleri de incelenmiştir. Bakımlar sonrasında ölçülen değerlerin standart bir seviyeye inmediği gözlenmiştir.



Şekil 2.1. Aylık periyotlarda bakım

Şekil 2.2’ye bakıldığı zaman arıza-zaman döngüsünün yüksek arıza değerleri ile tetiklendiği anlaşılır. Bunun temel nedeni makinenin imalatı, nakliyesi, montajı vb. aşamalarda oluşan hatalar ve olumsuzluklardır. Bu aşamalardan sonra arıza ihtimali makine parçalarında aşınmalar başlayana kadar yok denecek kadar düşüktür. Koruyucu bakım çalışmaları, aşınma oluşmadan önce uygulanması gereken bir bakım çeşidi olarak bilinir. Genelde planlanan zamandan önce yapılan bu bakımlar maliyetin artmasına neden olur. Bakım için masraflar artsa da belirli olmayan arızaların oluşması kaçınılmazdır.

Buradan çıkarılacak sonuçtan anlaşılacağı üzere, periyodik bakım sayesinde birtakım hasarların önüne geçilir ama arızaların zamanı kestirilemeyeceği için maliyet ve zaman kaybı fazladır.



Şekil 2.2. Koruyucu bakımında arıza olasılığı – zaman grafiği

2.3. Proaktif Bakım

Proaktif bakım yönteminde meydana gelen arızaların analizi yapılır. Arızanın meydana gelmesindeki ana unsur incelenerek bu unsurların giderilmesi prensibine dayanan bir yöntemdir. Oluşan her arızanın büyük, küçük demeden değerlendirilmesi ve arızanın tekrarlanmaması için gerekli önlemler alınır. Üretim artışı için arızaların tekrarlanmaması çok önemlidir. Bakım yönteminin etkili olması için kalifiye eleman ve gelişmiş cihazlar çok önemlidir. Bir işletmenin bakım programının belirlenmesi için birkaç yöntemin birleştirilerek değerlendirme yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışmalar işletme maliyetinin %15 ile %40 seviyelerinde bakım giderlerinin oluşturduğu görülmektedir. Son çalışmalarda bakım işlemlerinin yarısının gereksiz olduğu bilinmektedir [14].

2.4. Güvenilirlik Esaslı Bakım

Güvenilirlik esaslı bakım yöntemi; periyodik bakım, kestirimci bakım ve proaktif bakım uygulamalarının birleşimidir. Bu yöntemde üretim makineleri hakkında birden fazla metot uygulanarak toplanan veriler bir havuzda birikir ve incelenir. Bakım yönetim programları sayesinde arıza ve iş talepleri takip edilip değerlendirilir. Yapılan analizlere göre bakım planları oluşturulur.

2.5. Kestirimci Bakım

Kestirimci bakım yaklaşımı arıza oluşmadan olabilecek arızalara karşı önlem alınması için program yapılması mantığına dayanır. İşletmenin yapısı ve ortam şartları izlenerek

çalışan makine ve işletmeye en uygun bakım programları belirlenir. Arızalı olabilecek parçalar belirlenerek daha yüksek maliyetlerin önüne geçilip bakımlarının yapılması maddi kayıpların büyümesini engeller.

Kestirimci bakım tekniğinin sağladığı faydalardan biriside bakım faaliyetlerinin planlı bir şekilde yapılmasını fazla stok tutulmasını sağlamaktadır. Bu sayede stok maliyeti minimum seviyede tutularak sadece ihtiyaç olan acil parçalara stok yapılır.

Kestirimci bakım tekniğinin dezavantajı ise verilerin hatalı okunarak yanlış parçaların değişimi yapılıp asıl arızanın tespiti yapılamaz. Tecrübeli ve yeterlilik sahibi ekip gerekmektedir.

Kestirimci bakım uygulamalarında makine teçhizatlarının sürekli olarak gözlemlenmesi ve bunların zamanla geliştirilmesi önemlidir. Makinelerin sürekli ve periyodik olarak ölçümler ile verilerin toplanması bu verilerin iyi okunması, analiz edilmesine dayalı bir uygulamadır. Bu metodun temelinde minimum bakım ve stok yapılarak, maksimum verim sağlanması temeline dayanmaktadır.

2.5.1. Kestirimci Bakım Teknikleri

Kestirimci bakım uygulamalarının birçok çeşidi vardır.

Titreşim izleme: Özellikle dönen yapıya sahip makinelerde mekanik arızanın tespiti için etkili bir metottur.

Tablo 2.1. Makinelerin çalışma şartlarını belirleyen unsurlar

Makinedeki Arıza Nedeni	Parametreler				
	Sıcaklık	Basınc	Sızdırma	Yağ Analizi	Titresim
Dengesizlik					X
Mil eğilimi – Eksen Kaçıklığı	X				X
Rulmanlı yatakta hasar	X				X
Kavmalı yatakta hasar	X	X	X	X	X
Dişlilerde hasar					X
Mekanik gevşeklik					X

Tablo 2.1’ den anlaşılacağı gibi titreşim verileri arıza nedenleri arasında en çok tercih edilen ve en çok bilginin toplanması için başvuru veridir. Titreşim başka verilere kıyasla makinelerdeki mekanik hasarlar hakkında bilgi vermektedir.

- 1. Akustik emisyon:** Bu yöntem ses titreşimi temeline dayanarak yapılardaki ve borulardaki kırık, çatlakların tespitinde kullanılır.
- 2. Yağ analizi:** Bu uygulama yağlama yağlarının incelenerek dişlilerin ve çarkların çalışmasına yardımcı olması sırasında yapısının bozulup sistemi olumsuz etkilememesi için kullanılır.
- 3. Partikül analizi:** Pistonlu makinelerde, makineler çalıştıkça aşınmaya bağlı olarak partikül ve tortuların analizine dayalı bir sistemdir.
- 4. Korozyon izleme:** Kullanılan malzemelerin zaman içerisinde inceleyerek dayanıksız hale gelmelerini gözlemler.
- 5. Termografi:** Elektriksel ve mekanik olarak ekipmanların analiz edilmesinde sıklıkla kullanılan yöntemdir. Bu yöntemle jeneratörler, kazanlar vb. cihazlarda termal veya mekanik arızalar tespit edilmesi için kullanılan yöntemdir.
- 6. Performans izleme:** Bu metot kullanılan ekipmanların zaman içerisinde özelliklerini kaybedip düşük verimle çalışmasını engellemek için gözlem metodu ile çalışmaktadır.

2.6. Titreşim Teorisi

Titreşim mantığının matematiksel olarak açıklanacağı bu bölümde titreşim değerlerinin mantığı açıklanacaktır.

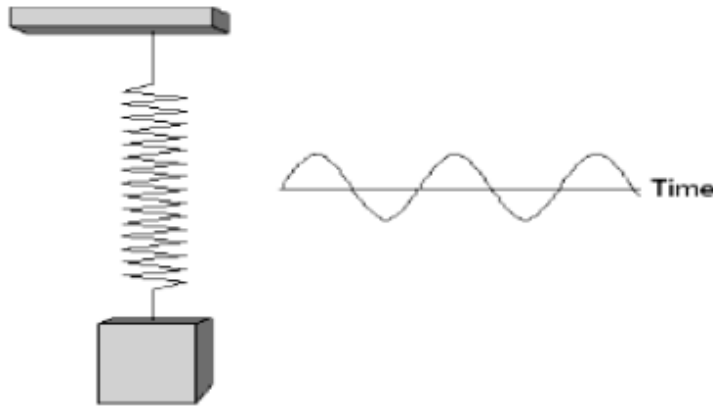
Alınan verilerde titreşim değerleri sonucunda oluşan deplasman değerlerine göre değerlendirmeler yapılmaktadır. Elde edilen yer değiştirme (deplasman) verileri kullanılarak makinelerin standart hız ve ivme değerleri elde edilir.

Makinelerde anormal seviyelerde titreşim değerlerine bağlı olarak deplasman değerleri var ise arızalı parçalar giderilip normal seviyelere getirilmesi için bakım yapılmalıdır.

2.6.1. Periyodik Hareket

Zaman içerisinde başlangıç pozisyonundaki durumuna geri dönen hareketlere periyodik hareketler denir. Bu tekrarlama hareketini salınım olarak da tanımlayabiliriz. Periyodik hareketlerin titreşim ile olan bağlantısı hareketin zaman içerisinde kendini tekrarlamasına dayanır. [15].

İki tür periyodik hareket türü vardır. Harmonik olan ve harmonik olmayan hareket türleri olarak ikiye ayrılır. Harmonik hareket zaman içerisinde kendini tekrar eder ve belirli bir zamanda başlangıç konumuna ve şekline geri dönen hareketlerdir [16]. Şekil 2.3’de yaya asılmış cisimin yaptığı harmonik hareket döngüsü grafikte belirtilmiştir.



Şekil 2.3. Bir kütlenin yaya bağlanarak sabit bir şekilde salınımı sonucunda oluşan basit harmonik hareketinin grafiksel gösterimi

Harmonik hareketin bulunması için zamana bağlı olan denklem aşağıda verilmiştir:

$$X = A \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

Yukarıda yazılan denklemle açıklanır. X deplasman değeri, A ise genlik değerleri olarak gösterilir.

Periyot (T), birim olarak çoğunlukla saniye ile ölçülür. Periyot ifadesinin tersi frekans değerini verir. Frekans her bir dakikadaki çevrim (CPM) ya da Hertz (Hz) olarak ölçülür. Buna göre frekans ifadesinin genel yazılım şekli;

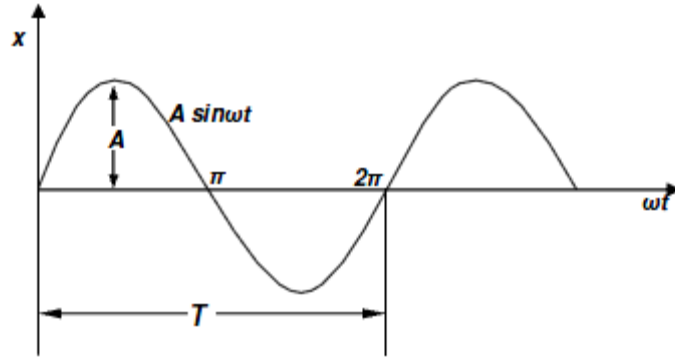
$$f = \frac{1}{T} \quad (2.2.)$$

Olarak ifade edilir.

Frekansın bir diğer çeşidi ise dairesel frekanstır ve ω ile ifade edilir. Tam bir hareketi (ωt) olarak ifade edilir. Şekil 2.4’de tam bir salınım grafiği gösterilmiştir. Hareketin her başladığı yere gelmesi işlemine tam bir salınım denir. Hareket 2π radyanda tamamlandığı için denklemi;

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (2.3)$$

şeklinde yazılır.



Şekil 2.4. Harmonik hareketin grafiksel gösterimi.

X; deplasman ve ωt değerlerine bağlı olarak oluşan grafikte her bir periyot 2π ile hareketini bitirir. Bu hareket $A \sin \omega t$ eğrisidir.

Dairesel hareket yapan makineler için frekans, dakikadaki titreşim (VPM) olarak ifade edilir. Dakikadaki titreşim Denklem (2.4)'deki gibi yazılır.

$$VPM = \frac{\omega}{\pi} \quad (2.4)$$

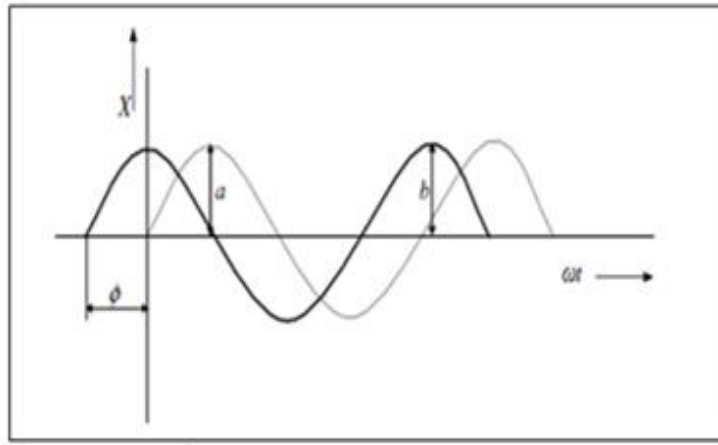
Zamana göre Denklem (2.1)'deki formülün türevi alınır hız elde edilir. Buna göre hız, Denklem (2.5)'deki gibi yazılır.

$$v = \frac{dX}{dt} = \dot{X} = \omega A \cos(\omega t) = \omega A \sin(\omega t + \pi/2) \quad (2.5)$$

Eğer yer değiştirmede grafiğin tepe noktası $-A$ seviyesinde ise, bağıntı hızı verir. Denklem (2.6)'da ivme yer değiştirmenin hareket zamanına göre ikinci türevidir.

$$a = \frac{d^2X}{dt^2} = \ddot{X} = -\omega^2 A \sin(\omega t) = \omega^2 A \sin(\omega t + \pi) \quad (2.6)$$

Denklem (2.1)'e göre, $X_1=asin(\omega t)$ ve $X_2=bsin(\omega t+\phi)$ denklemleri tarafından verilen iki tane frekans Şekil 2.5'te grafik üzerinde gösterilmiştir. X_2 için olan formülasyonda ϕ miktarı iki frekans arasındaki faz açısı olarak bilinmektedir. Oluşan değişim Şekil 2.3'te ifade edilmiştir. ϕ aralığını olması, iki frekans en yüksek yer değiştirmeye aynı anda ulaşmaz. İki salınım arasındaki fark $\frac{\phi}{\omega}$ saniye kadar ilerisindedir. Oluşan salınımlar aynı frekansa sahip olmasına rağmen faz açısı farkı bulunduğundan dolayı farklı zamanlarda tepe noktalara ulaşırlar..



Şekil 2.5. Aralarında ϕ faz açısı olan iki harmonik hareket x- ekseninde ωt ve y- Ekseninde X deplasman vardır.

İkinci hareket türümüz harmonik olmayan hareket türüdür. Makinelerdeki titreşim hareketleri genelde harmonik olmayan hareketlerdir. Bu hareketler periyodik olmayan hareketlerdir.

Şekil 2.6'da farklı frekans değerlerinde iki harekete ait dalgalarının oluşturduğu sinüs salınımlı grafikler görülmektedir. Oluşan bu hareketlerin denklemleri;

$$X_1= asin\omega_1t \quad (2.7)$$

$$X_2= bsin\omega_2t \quad (2.8)$$

Olarak ifade edilir.

Oluşan toplam titreşim grafikte daha belirgin olan çizgiyle belirtilmiştir. Formül (2.9) da ise toplam titreşim formül olarak ifade edilmiştir.

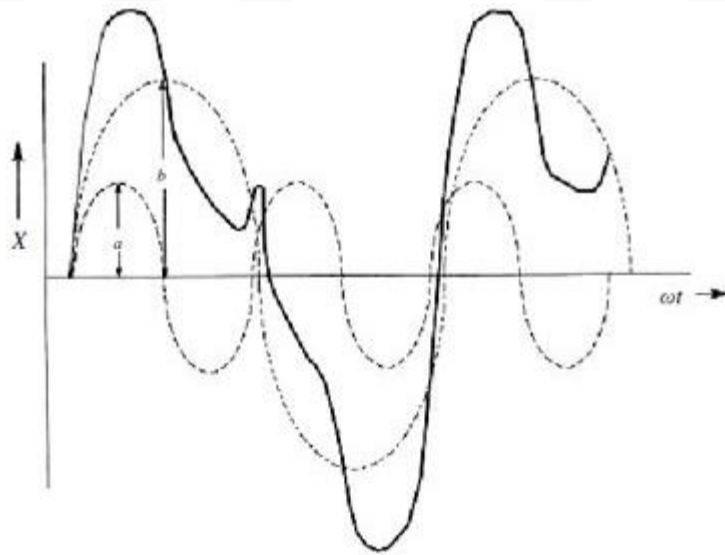
$$X = X_1 + X_2 = a \sin(\omega_1 t) + b \sin(\omega_2 t) \quad (2.9)$$

Herhangi bir periyodik fonksiyon ω , 2ω , 3ω , gibi frekansların sinüs fonksiyonlarının bir serisi olarak gösterilir.

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \phi_1) + A_2 \sin(\omega t + \phi_2) + A_3 \sin(\omega t + \phi_3) + \dots \quad (2.10)$$

Denklem (2.10)'da zamanın ya da $f(t)$ 'nin fonksiyonu olan Fourier serisi olarak bilinir. Değişik faz açıları ve genlikler formül edilebildiği sürece matematiksel olarak bulunabilir. Bu sayede elde edilen veriler kullanıma hazır halde titreşim analizlerinde kullanılabilir.

ω frekansının harmonik olmayan terimleri 2ω ile 3ω değerleridir. İlk elde edilen frekans değeri makinenin çalışma şartlarını belirler ($1X$ ya da 1ω). Bunun yanı sıra, birden fazla harmonikler olabilir [19].



Şekil 2.6. Harmonik olmayan periyodik hareket

a ve b maksimum genişliğine sahip iki farklı sinüs dalgasına sahip hareket vardır. Bu hareketlerin birleşimi ile yeni bir hareket grafiği ortaya çıkmıştır. Yatay eksen ωt ve dikey eksen X , deplasmanına sahiptir.

2.6.2. Temel Kavramlar

Titreşim ile alakalı temel kavramlar aşağıda verilmiştir.

Periyot (T): Hareketin bir salınımının ne kadar zamanda tamamlandığını gösterir. T harfi ile gösterilir.

Frekans (f): Hareketin belirli bir zaman aralığında yaptığı tekrar sayısına denir. Sembolü f ile tanımlanır. Ölçüm değerleri Hertz (Hz) yada CPM olarak değerlendirilir. Makine arızalarında genellikle devir/dakika kullanıldığı için CPM birimi değerlendirilir. Bu birim makinenin dönüş hızlarından elde edilen veridir.

Faz (Φ): Birbirinin aynısı olmayan iki salınım arasındaki açısal farktır. Φ sembolü ile ifade edilir.

RPM: Dönen mekanizmanın devri

CPM: bir dakikada salınım olayının kaç kere meydana geldiğini ifade eder.

Hertz: bir saniyede olayın kaç kere meydana geldiğini ifade eder.

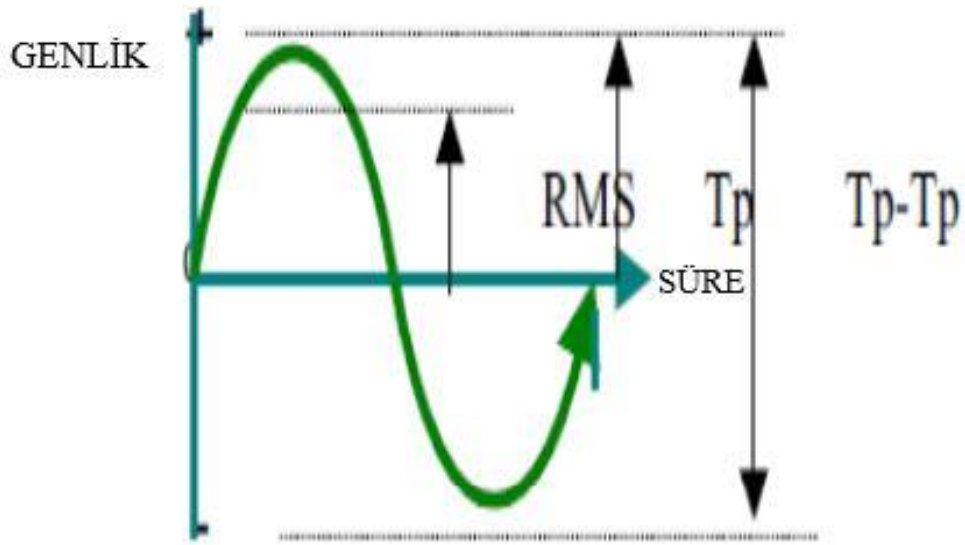
Yer Değiştirme (Deplasman): Titreşime maruz kalan makinenin yaptığı yer değiştirmeye deplasman denir. Milimetre (mm) yada Makrometre birimlerinde gösterilir.

Hız: Yer değiştirme (deplasman) işleminin gerçekleştiği birim zamana denir. Birimi genellikle mm/s olarak ifade edilir.

İvme: Genel olarak 'RMS' veya mm/s^2 birimleri ile gösterilir. Hızı belirli bir zaman içerisinde ne kadar hızlı yer değiştirdiğini ifade eder.

Genlik Tipi: Harmonik hareketlerin süre kısmına çarpan iki noktası arasındaki şeklin oluşturduğu eğriye genlik denir.

- Maksimum üst değeri : $0-T_p$
- İki maksimum değer aralığı : $-T_p + T_p$
- RMS değeri : Efektif T_p (RMS= kareköklerinin ortalaması)



Şekil 2.7. Genlik ölçüm tipleri

Standart sinüs grafiğinde RMS ve Tepe değerleri arasındaki bağlantı $T_p=0.7 \text{ RMS}$ ' dir.

Deplasman ölçümünde'' Tepeden tepeye''

Hız ölçümü'' Tepe''

İvme birimi ölçümünde ''RMS'' olmalıdır.

Genlik: Titreşimin değeri üç farklı birimi ile değerlendirilir.

Titreşimin genliği: milimetre

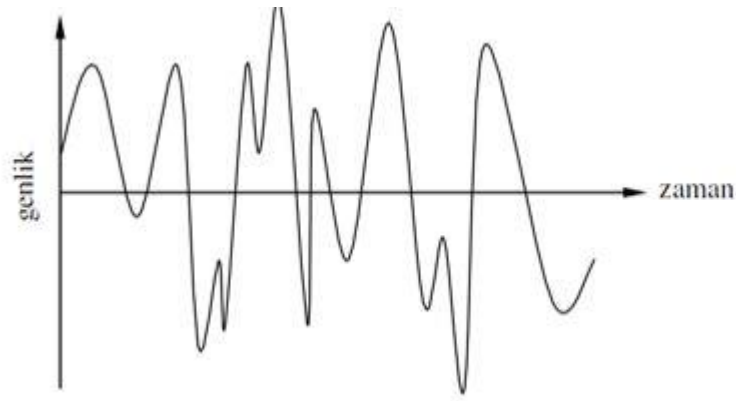
Titreşim hızı: mm/s

Titreşim ivmesi: mm/s^2

Arızaların belirlenmesinde, kullanılan genlik birimi genelde hız'dır [8].

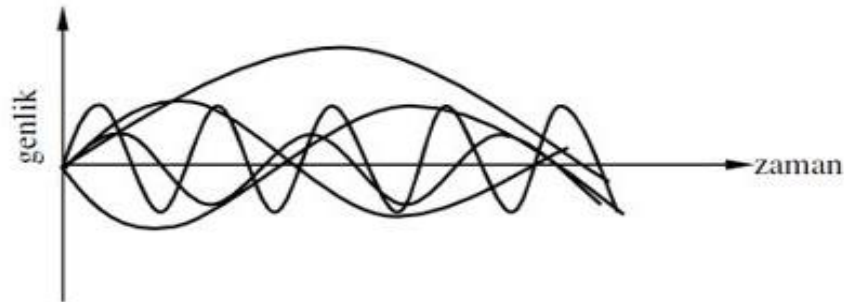
2.6.3. Gelişigüzel titreşimler

Belirli bir tekrarı olmayan titreşim tiplerine denir. Örnek bir gelişigüzel titreşim grafiği Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Gelişigüzel titreşim grafiksel gösterimi. x-ekseninde zaman, y-ekseninde ivme vardır [24].

Düzensizlikleri sebebi ile belirli bir periyoda sahip değildir. Titreşim grafiği bünyesinde çeşitli düzensiz genliklere sahip dalgalar bulundurur. Şekil 2.9'da şematize edilmiştir.



Şekil 2.9. Gelişigüzel titreşimin ayrışması zaman, ivme grafiği

Hareketlerin kendini tekrar etmemesi gelişigüzel bir titreşim olduğunu ifade eder.

Gelişigüzel titreşimin örneklerinin bir kısmı aşağıda verilmiştir;

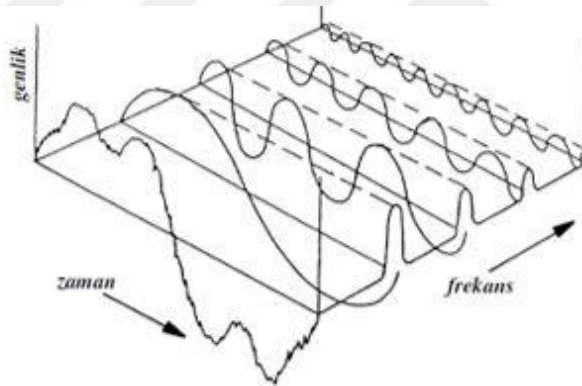
- Asfalt üzerindeki araçlar,
- Türbülansa giren hava araçları
- Suyun düzensiz hareketlerine maruz kalan geminin titreşimi,
- Yüksek yapılardaki rüzgâr etkisi,
- Depreme maruz kalan bina,

Gibi örneklendirilebilir.

2.6.4. Fourier serileri

Çoğu makinede arıza titreşim açısından çalışma aralığı civarında görülür. Arızanın tespiti ve incelenmesi için belirli bir kısım veya grafiğin bir bölümünün incelenmesi önemli bir etkidir.

Düzlem frekans grafiği, zaman takibi için manuel müdahaleyi ortadan kaldırır. Böylece zamandan kazanç sağlamış oluruz. Düzlem frekans tekniği, FFT kullanılarak zaman bölümünü değişik frekans bölgelerine dönüştürür. Genel ifade biçimi ile FFT matematiksel olarak zaman birimlerini frekans bölümlerine dönüştürür. Düzlem frekans grafiğinde yatay eksen frekans, dikey eksen yer değiştirme (deplasman) gösterir. Hız ve ivmede genlik olarak belirtilir. Şekil 2.10'da örnek grafik basit bir gösterim ile şematize edilmiştir.



Şekil 2.10. FFT dönüşümü

Kompleks bir makinede her bir parçanın bağımsız olarak gözlemlenmesi, düzlem frekans grafiği incelenmesinin bir artısıdır. Bunun yanı sıra düzlem frekans metodu ile harmonik hareketlerin gözlemlenmesi sağlanmaktadır. Fourier dönüşümü özellikle kompleks makineler ve sinyal ağlarında kullanılır. Bu dönüşüm en büyük avantajlarından biri ise bilgisayar analiz programlarına kolay entegre olmasıdır. Son yıllarda sıkça sinyal sistemlerinde FFT metodu kullanılmaktadır.[17].

Farklı çözümler için FFT algoritma değerleri kullanılır. Dalgaların çevrimi için kullanılan bir yöntemdir.

3. BÖLÜM

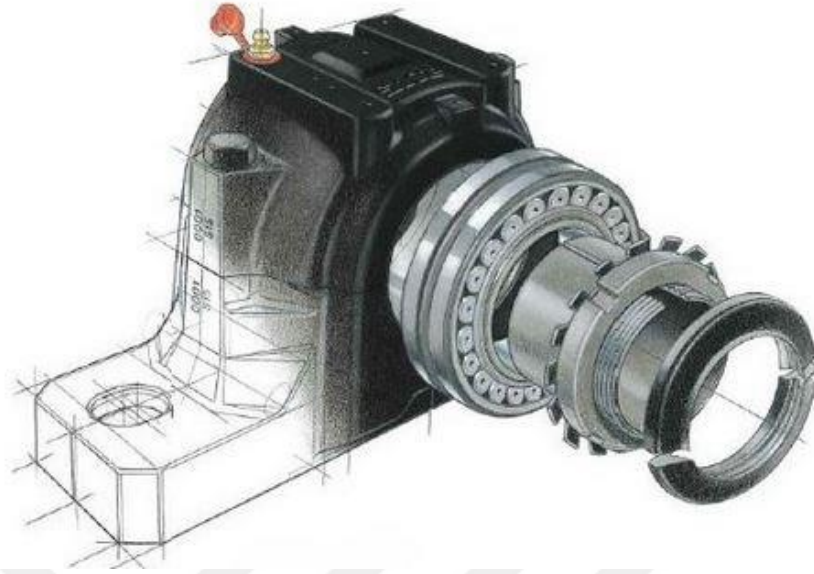
RULMANLAR

Rulman; iki bilezik arasında yuvarlanan bilye ve makara elemanlarının sürtünme kuvvetlerini minimum seviyeye indirerek döner hareket yapan ve farklı güçler taşıyan makine elemanlarıdır. Etki eden kuvvetlere göre radyal ve aksel olmak üzere iki çeşittir. Hareketlerine göre ise bilyeli ve makaralı olarak sınıflandırılır. Şekil 3.1’de rulman örnek resmi verilmiştir.



Şekil 3.1. Rulman Örneği

Rulmanların tarihteki yerine bakılırsa dünyadaki ilk rulman üreticisi 1888 yılında faaliyetlerine başlayan FAG şirkettir. Şirket yaptığı araştırmalar sonucunda 300.000’den fazla rulman çeşitliliği ile hizmet vermektedir. Rulmanlar makinelerin yaygınlaşması ile günlük yaşamımızda birçok yerde karşımıza çıkmaktadır. Rulman kullanım yerlerine örnek verecek olursak metrolarda, arabalarda, iş yeri makinelerinde, uçaklarda, otobüslerde, çamaşır makinelerinde, tamburlarda ve benzeri yerlerde karşımıza çıkar.



Şekil 3.2. Yerleştirilmiş Rulman Örneği

Yapılan çalışmalara göre rulmanların sadece %34'lük kısmı ömrünü doldurduğu için değişimleri yapılmıştır. Geri kalan kısmı ise düzenli bakım yapılmadığı için arızalardan dolayı değiştirilir.

Yapısına ve bakılacak olursa aşağıdaki kısımlardan oluşur;

- * Dış bilezik
- * İç bilezik
- * Kafes
- * Yuvarlanma Elemanları

3.1. Rulmanların Ömrünü Etkileyen Faktörler

Rulmanlar imalat edilirken dikkat edilmesi gereken unsurlar uzun ömürlü olması, dayanıklı olması, yük kapasitesinin fazla olması ve yüksek devirlerde sessiz çalışması gerekmektedir. Üretim esnasında dikkat edilecek ince ayrıntılar rulman ömürleri için çok önemlidir. Rulman ömürlerini etkileyen faktörler:

- Sıcaklık
- Temizlik
- Rutubet

- Ortamın toz yoğunluğu
- Rulmanda kullanılan malzemenin kalitesi
- Çalışmaya bağlı malzeme yorulması
- Yağlama

Gibi faktörlere dikkat edilmelidir. Yukarıda belirtilen maddeler her rulmanda aynı etkiyi göstermez. Rulman tipi ve özelliğine göre dikkat edilmesi gereken maddeler önem kazanmaktadır.

Rulmanlarda meydana gelen arızalar motor verimliliğini doğrudan etkiler. Rulman arızalarında sürtünme artacağı için güç aktarımı azalır. Arızaların erken tespit edilmesi motorun sürekli olarak yüksek verimde çalışması için önemlidir.

Rulman arızalarının önüne geçmek için dikkat edilmesi gereken en önemli etkenlerden bir tanesi yağlamadır. Yağlamada kullanılacak yağın film tabakası oluşturması ve bilya, makara gibi elemanlarda aşınmanın en aza indirgenmesi için çok önemlidir. Yağlama işlemi yapılırken sürtünme yüzeylerinin bozulmaması çok önemlidir. Rulmanlara asla direk kuvvet uygulanmamalıdır. Kullanılan rulman eğer kapaklı rulman ise yağlama işlemi yapılmaz. Kapaklı rulmanlar yağsız kullanılan rulman tipleridir. Kapaklı rulmanlar üretim esnasında gres yağı ile yağlandığı için ömürleri dolana kadar tekrardan açılıp yağlama işlemi yapılmaz.



Şekil 3.3. Kapaklı Rulman Örneği

Rulman ömürlerini etkileyen faktörlerden bir tanesi ise rulmanların teker teker değiştirilmesi yerine toplu olarak değişiminin yapılmasıdır. Bu yöntem sayesinde

üretimin aksamasına ve zaman kaybının önüne geçilmesi sağlanmaktadır. Rulman montajının doğru yapılması rulman ömrünü etkileyen faktörlerden biridir. Rulman montajında dikkat edilmesi gereken unsurlardan montaj yapılacak rulmanın montajdan hemen önce açılması gerekmektedir. Bu yöntem sayesinde rulmanın tozlanması ve rutubetlenmesi engellenmektedir.

Montaj sırasında kuru eldiven kullanılarak montaj yapılması gerekmektedir. Rulman üreten firmalar en çok nem ve toza dikkat ettiği için bu işlem montaj sırasında ciddi bir öneme sahiptir. Kuru eldiven kullanımı oksitlenmeyi azaltır. Rulman içine yağ basılacağı için içerisindeki yağı temizleyip yeniden yağlama işleminin yapılması gerekmektedir.

Rulman montaj yöntemleri aşağıda belirtilmiştir;

- Isıtılarak
- Pres baskı ile
- Hidrolik
- Rulman montaj seti

Yukarıda belirtilen yöntemler kullanılarak montaj edilir.

3.2. Rulman tipleri

3.2.1. Lineer Rulmanlar

Lineer rulman, Doğrusal bir eksende ileri geri salınım hareketleri yapmak için kullanılan rulman tipleridir. Lineer rulmanlar sürtünme kuvvetini minimum seviyelere indirerek arızaların engellenmesi için kullanılır. Şekil 3.4 de rulman örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Lineer Rulman Örneği

3.2.2. Yataklı Rulmanlar

Hareketli millerin yatay ekseninde sabitlenmesi görevini sağlar. Yataklı rulmanlar millerin salınım hareketleri engelleyerek sabit olarak kalmasını sağlar. Rulmanlı yataklarda sürtünme katsayısı oldukça düşüktür. Hidrodinamik kaymalı yataklarda küçük sürtünme katsayısına sahiptir. Yüksek hızlarda yağ filmi oluşumu ile sürtünme katsayısı iyice azalır. Yüksek hızlarda ve darbeli çalışmalar için oldukça çok tercih edilir. Şekil 3.5 de yataklı rulman örneği vardır.



Şekil 3.5. Yataklı Rulman Örneği

3.2.3. Segman Kanallı Silindirik Rulmanlar

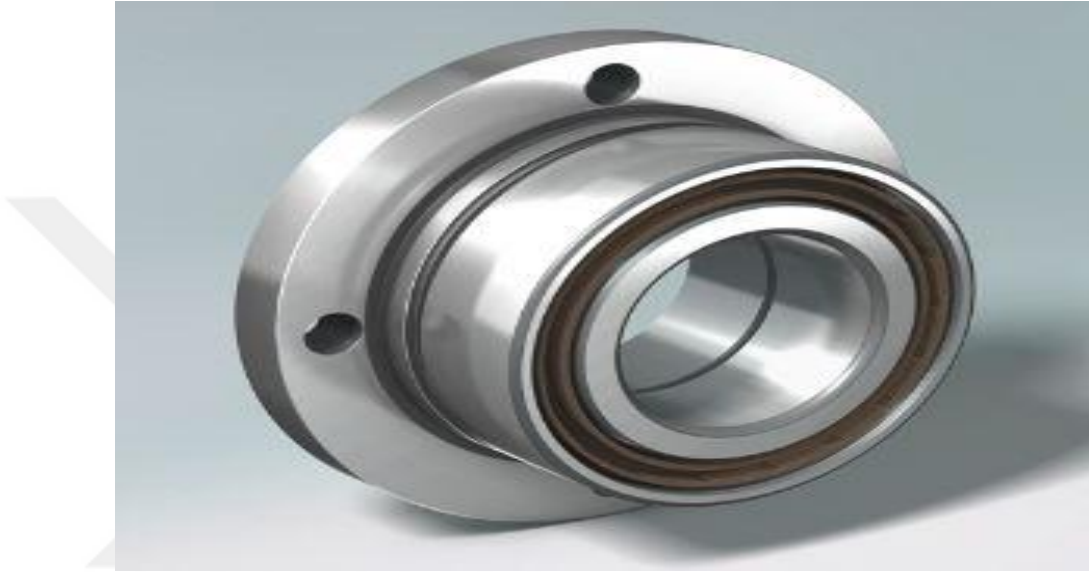
Segman kanallı silindirik rulmanlarda sık dizili, faturalı masif iç ve dış sıralı bileziklerden oluşmaktadır. Dış bileziklerin segmanlar için oyuklar bulunur. Dış bileziklerin üzerinde 1 mm genişliğinde aksenal olarak iki parçadan ve çelik şerit ile bir arada bulunur. Segman kanallı silindirik makaralı rulmanlar sabittir. Rijit olan bu yataklar yüksek radyal yüklerin yanında her iki taraftan gelen aksenal yükler karşılanır. Şekil 3.6 de segman kanallı silindirik rulman örneği vardır.



Şekil 3.6. Segman Kanallı Silindirik rulmanlar

3.2.4. Flanşlı Rulmanlar

Birleşik özelliklere sahip bu rulmanlar mil sızdırmazlık özelliğine sahiptir. Bu tip rulmanlar yağlamalı diş kutularında kullanımına uygundur. Kolay montaj olması sayesinde normal rulmanlara göre daha düşük maliyete sahiptir.Şekil 3.7 de Flanşlı Rulman örneği vardır.



Şekil 3.7. Flanşlı rulman

3.2.5. Bilyalı Rulmanlar

Bilyalı rulman türleri en çok kullanılan rulman türleridir. Açık ve kapalı olmak üzere iki çeşit rulman türü vardır. Bu rulman türünde en önemli şey yağlamanın ihmal edilmeden yapılmasıdır. Yüzey aşınmaları azaldıkça makine verimliliği artar.



Şekil 3.8. Bilyalı rulman

3.3. Rulmanların Depolanması

Büyük çaplı ve ağır rulmanlar, sarsıntıdan oluşacak zararı en az hasara indirmek için yatay olarak depolanır. Bulunduğu ortamın sıcaklığı +6 derece ile +25 derece arasında olmalıdır. Sıcaklık farkı 8 dereceyi geçmemelidir. Ortamın nem oranı %65 seviyesinden az olmalıdır. Açık olarak ısıya ve asit gibi korozyon yapacak kimyasallarla temas etmemelidir. Kapalı rulmanlar en fazla 2 yıl, açık rulmanlar 5 yıl depolanır.

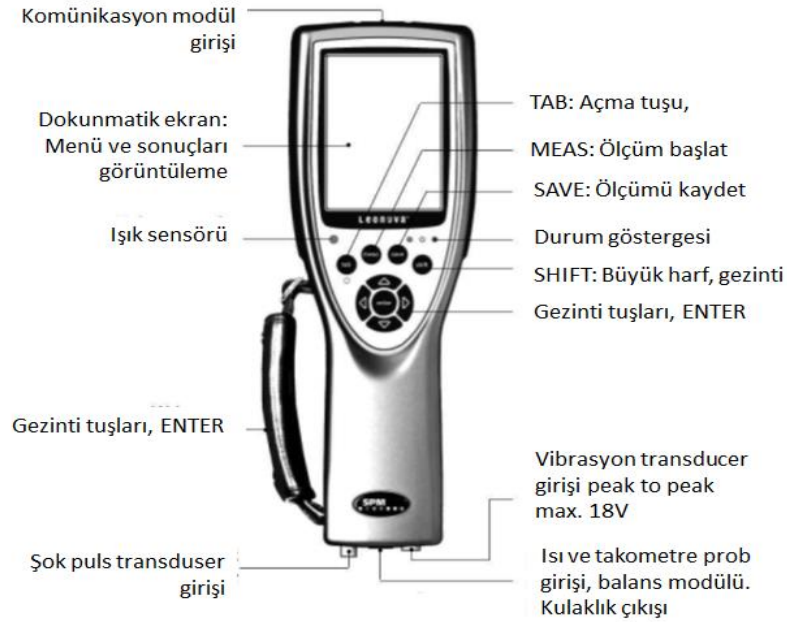


4. BÖLÜM

KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMA ÇALIŞMASI

4.1. Uygulamada Kullanılan Ölçüm Cihazının Tanıtımı

Yapılan bakım uygulamalarında Leonova cihazı kullanılmıştır. Windows işletim sistemi tabanlı çalışan dokunmatik ekranlı elle kullanılan analiz ve veri toplama aletidir. Cihaz ani titreşimler, vibrasyon, hız, sıcaklık ve voltaj ölçümleri yapılır. Cihaz bu işlemlerle beraber balans (rotor dengeleneme) ve şaft hizalama ayarlarında kullanılır. Şekil 4.1.'de cihazın örnek gösterimi verilmiştir. Cihazın bölümleri belirtilmiştir.



Şekil 4.1. Leonova ölçüm cihazı

4.1.1. Kumanda

Cihaz ekranı üç ana bölümden oluşur;

- Menü sekmesi (1)
- Görüntü ekranı (2)

- Aktif çubuk sekmesi (3)

Menü kısmındaki fonksiyonlar görüntü ekranını aktif hale getirir. Aktif çubukta bulunan sekmeler işlemlerin gerçekleştirilmesini sağlar.

4.1.2. Dokunmatik Ekran Kumandası

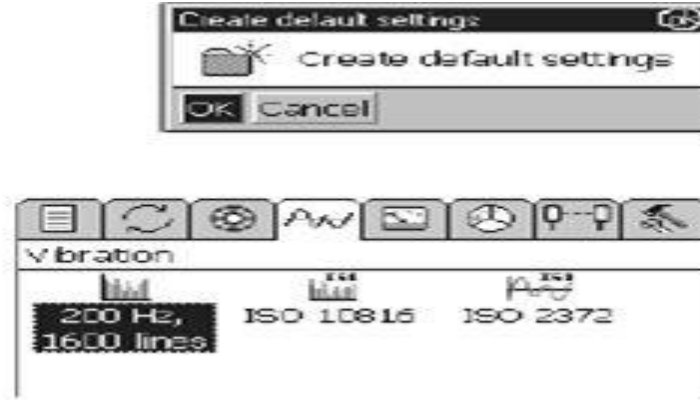
Leonova cihazı ekran dokunmatığı kullanılarak kumanda edilir. Herhangi bir komut kullanılması için kalem(iğne) kullanılır. Dosyayı açmak için komut seçildikten sonra aktif çubuk üzerindeki open(aç) butonuna tıklanarak komut aktif hale getirilir. Şekil 4.2’de komut açma şekli gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Dokunmatik Ekran Görünümü

4.1.3. Ölçüm dosyası oluşturma

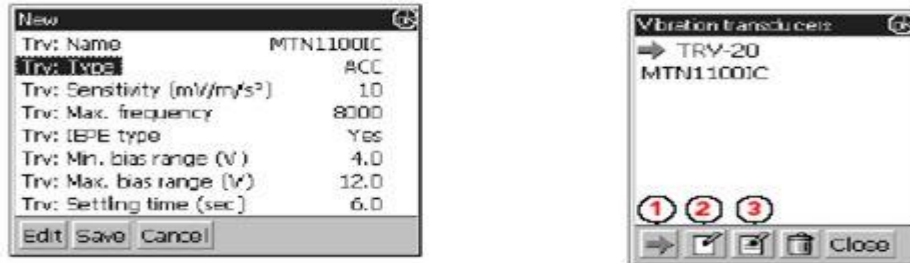
Leonova cihazının kullanılması için ‘ create default setting ‘ dosyası çok önemlidir. Bütün ölçüm teknikleri için ölçüm dosyaları oluşturulur ve bu dosyaları ölçüm teknikleri penceresi altında toplarız. Bu verilerin toplandığı dosyalar olmadan cihaz kullanılamaz.



Şekil 4.3. Dosya Oluşturma

4.1.4. Vibrasyon Transdüktörünü Tanıtma

Leonova cihazında vibrasyon transdüktörü TRV-20 olur. Leonova cihazımız başka IEPE donanımına sahip voltaj çıkışlı transdüktör ile bağlantı kurulabilir. Vibrasyon transdüktörü TOOLS sekmesi içerisinde bulunan ‘vibration transducers’ sekmesi altında konumlandırılmalıdır. Bu işlemi yapmak için kullanılan bağlantı elemanı seçilip devam edilmelidir.



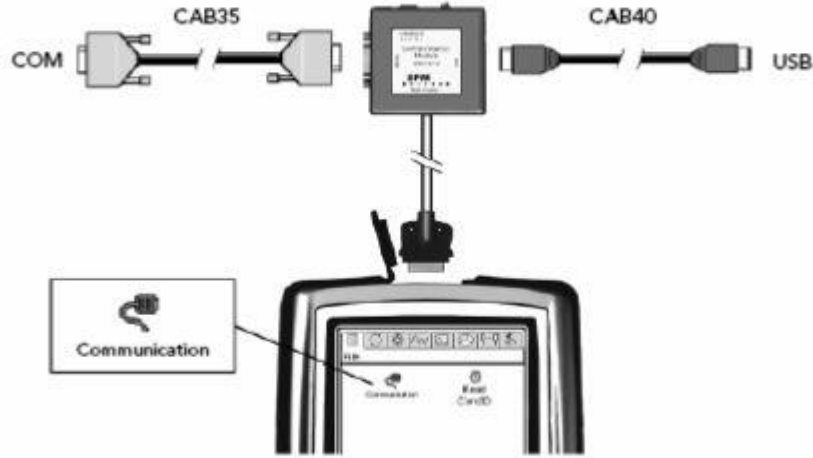
Şekil 4.4. Vibrasyon transdüktör tanıtma

4.1.5. Bilgisayarla İletişim

Cihazın bilgisayarlar iletişimi SPM 14710 modülü ile bağlanır. Cihaz bağlantısı CAB40 aktarım kablosu ile bağlanır. Bilgisayar bağlantısı 9 pin COM port bağlantısı CAB35 kullanılır. Leonova:

- Leonova Servis Programı
- Condmaster Pro 3 (MMI vers. 1)
- Condmaster Pro 4.5 (MMI vers 2,3) ile iletişim kurar

Yukarıdaki yazılımlar kullanılarak bilgisayar ile iletişime geçer. Bilgisayar ile entegre olarak çalışmak için cihazın 'file(dosya)' menüsüne gelinir ve 'communication' dosyası açılır. Kullanılacak program seçilir ve iletişimin başlayıp başlamadığı kontrolü yapılır.



Şekil 4.5. Leonova infinity ölçüm cihazı bilgisayar bağlantı gösterimi

4.1.6. Leonova Ölçüm Fonksiyonları

Leonova ölçüm cihazımız aşağıdaki kullanım özelliklerini defalarca tekrar eder;

- Hız ölçümü, rpm
- Sıcaklık değerlendirmesi
- Elektriksel sinyal ölçümü
- ISO değerlerinde titreşim ölçümü

Diğer ölçüm fonksiyonları limitli veya limitsiz kullanım olarak kullanıcı opsiyonludur.

- ISO 10816'ya göre RMS titreşim değeri ölçümü
- EVAM (Değerlendirmeli vibrasyon analizi)
- dBm/dBc, ani titreşim ölçümleri
- LR/HR, ani titreşim ölçümleri
- SPM Spectrum grafiği

Cihazımız bu işlemlerin yanı sıra rotor, balans ve shaft düzeltme özelliklerine sahiptir.

4.1.7. Toplam Titreşim Ölçümü

Titreşim ölçüm aralığı 10Hz ile 1000 Hz büyük bir kapasitesi vardır. Titreşim hızımız mm/s olup RMS (root mean square) değeridir. Alınan toplam verilerin makine üzerindeki etkileri ISO değerlerine göre değerlendirilip makine üzerindeki yıkıcı etkileri gözlemlenir.

4.1.8. Makine Durumunun Değerlendirilmesi

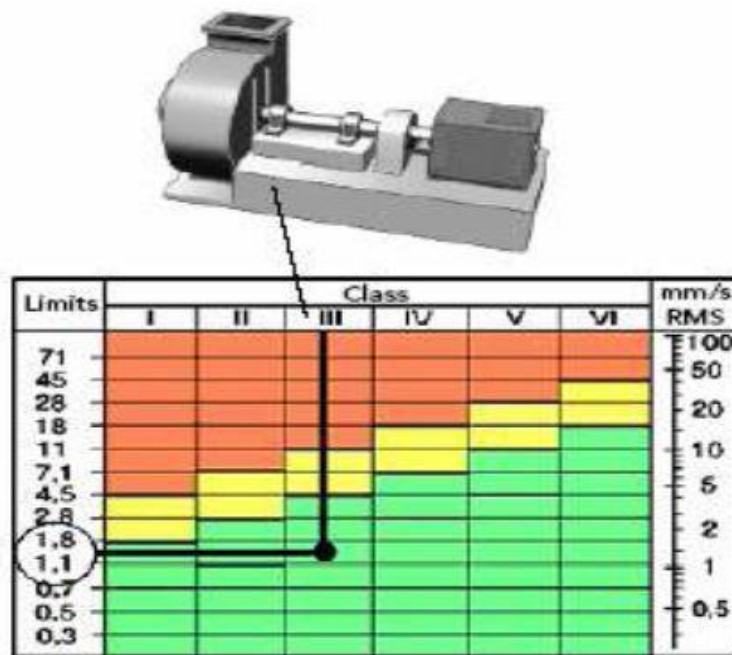
Makinelerin değerlendirilmesi ISO tarafından belirlenen makine sınıflarına göre incelenir. Endüstri alanında kullanılan makineler genel olarak 2,3 ve 4'üncü sınıf titreşimlere sahiptir.

2. Sınıf: Orta büyüklükteki normal özelliklere sahip makinalar

3. Sınıf: Büyük, rijit yapıdaki makineler

4. Sınıf: Büyük, rijit yapıda olmayan makinalar

Kabul edilebilir titreşim değerleri ISO limit aralığına göre belirlenir ve bu kabul edilen sınırlara göre incelenir. Yeşil değer bölgesinde çıkarsa makinemizin durumu iyi sarı bölgede çıkarsa tolere edilebilir ama kırmızı bölgede çıkarsa makinede bir sıkıntı olduğu anlaşılır.



Şekil 4.6. ISO limit değerleri

4.1.9. Makine sınıflarının ISO'ya göre tanımlanması

1. **Sınıf :** Makinenin küçük parçaları ile motorun bünyesinde bulunan parçalar
2. **Sınıf:** Orta büyüklükteki standart makineler
3. **Sınıf:** Titreşim ölçümü ile belirlenen rijit ve ağır yapı da bulunan dönme işlemleri yapan makinelerdir.
4. **Sınıf:** Titreşim ölçüm ile elde edilen verilere göre oldukça yumuşak olan dönen kütleli büyük makineler.
5. **Sınıf:** Titreşim ölçümüne göre sert olan ve atalet kuvvetleri kaçık makine ve mekanik sistemlerdir.
6. **Sınıf:** Titreşim ölçümüne göre yumuşak olan ve dengelenemez atalet etkili makine ve mekanik sistemlerdir.

4.1.10. Titreşim Ölçüm Noktaları

Ölçüm değerlerinin alındığı noktalar tüm makinenin özelliğini yansıtmalıdır. En çok kullanılan veri toplama noktaları rulman yataklarıdır. Üç ekseninde veri toplayarak yapılarak titreşimin artmasının nedeni gözlemlenir.

- Yatay ekseninde titreşimin büyük olması genellikle balans arızasının olduğunu gösterir
- Düşey ekseninde titreşim değerleri yapısal hasarların olduğu anlamına gelir
- Eksenel titreşim sorunlu şaft durumunu ve şaft yer değiştirmelerini gösterir

Karşılaştırma yapabilmek için veri alınan noktaları sabit olmalı ve ölçümler belirlenen sabit yerden yapılmalıdır.

4.1.11. Referans Alınan Değerler İle Ölçüm

Referans alınan değerler ile ölçüm, alınan sonuçların değerlendirilmesi için daha önceden kayıt alınan dosyalarla mukayese edilir. Mevcut dosyalar "TOOLS" altındaki 'create default settings' fonksiyonu kullanılarak çalıştırmaya hazır duruma getirilir.

- Değerlendirme yapılacak referans dosya seçilir.
- Seçili dosya açılır ve 'measuring point data' menüsüne gidilir
- Referans alınan nokta ölçüm tipine göre kullanılan metoda göre değişir. Makine kayıtlı ayarlara göre değerlendirme için gerekli bilgileri gösterir.
- Kıyaslanmak istenilen değerlerin olduğu alan seçilir. 'edit' sekmesi seçilir ve istenilen bilgi girilir.
- Açılan pencere kapatılır. Transdüktör bağlanır, ölçülür ve değerlendirme yapılır.

4.1.12. Condmaster Nova Programı

Condmaster Nova analiz programı kullanılmaktadır. Cihaz sayesinde alınan verilerin toplanıp depolandığı ve analiz için yardımcı olan yazılımdır. Program kullanılırken yapılması gereken tek şey ölçüm yapılan makinenin çalışma şartları ve bilgilerin girilmesidir. Şekil 4.7'de programın genel görünümü verilmiştir.

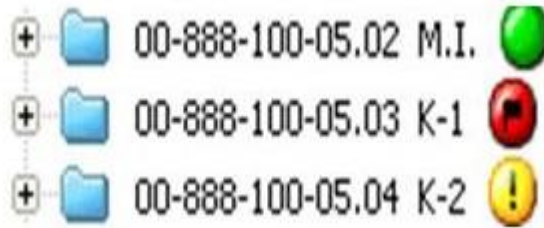


Şekil 4.7. Condmaster Nova Programı Genel Görünümü

Programın kullanılacağı şirketin (Boytaş) sekmesi açılır. Sonra alt sekmelerdeki Components sekmesi seçilir. Şekil 4.7 da gösterilmiştir. Ardından makineye ait veriler girilir kod ve isim numarası verilir. Measuring point sekmesi (Şekil 4.8 de) seçilerek cihazın ölçüm noktalarının ve ölçüm yapılacak nokta sayısının adeti girilir. Şekil 4.9 da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Ölçüm noktaları menüsü



Şekil 4.9. Cihazda ölçüm noktası belirleme

Ölçüm noktaları belirlendikten sonra Rounds menüsüne gidilir (Şekil4.10), makineye ait rulman bilgisi, mil çapı, yatak numaraları vb. makineye ait tüm özellikler girilir. Bu işlemleri yapmak tek başına yetmez makine hakkında detaylı bilgiye sahip olmak gerekmektedir.



Şekil 4.10. Rounds menüsü

dBm / dBc şok titreşim menüsü seçilir (şekil 4.11) , program içerisindeki standart rulman tablosundan rulman değerleri hiçbir değer unutulmadan tam olarak eksiksiz tanımlanır. Motorun standart çalışma şartları ve mil çapı girilip kayıt edilir. Makine rulman ölçümüne hazırdır.

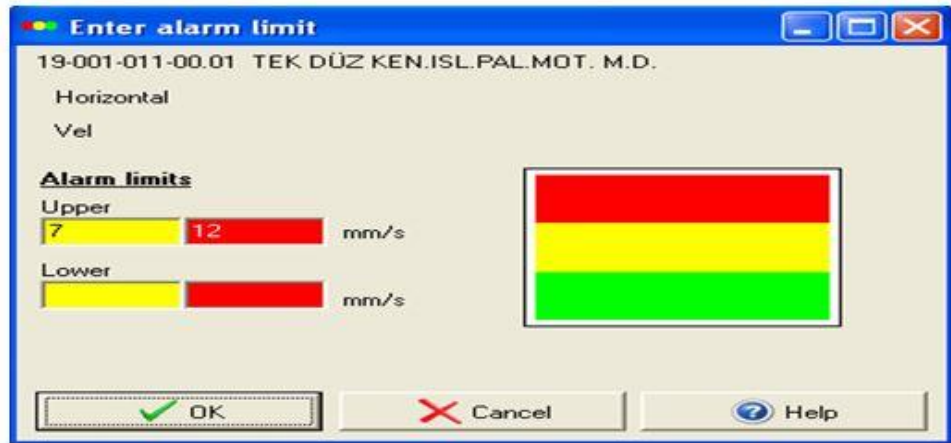


Şekil 4.11. dBm/dBc değerlerinin kayıt yapıldığı menü

Sıradaki işlem evam menüsü seçilerek ölçüm esnasında otomatik olarak değerleri belirlenir. Otomatik değerler yerleştirildikten sonra ölçüm yapılan değerler adlandırılarak girilir. Yatay eksen ve dikey eksen olarak yine devir sayısı tanımlanır, ölçüm değeri Hertz(Hz) olarak belirlenir. Fabrikamızda işletmesinde referans alınan aralık genel olarak, 2 Hz ile 1000 Hz aralığıdır.

Evam özelliğinde elde edilen ölçümler VelRms, AccRms, Accpeak ve Crest verileri olarak 4 adet ana başlık altında değerlendirilir. Alınan veriler, makinenin titreşimin hızı, boyutu, yer değişimi ve vuruş boyutunu belirtmektedir. Alınan veriler incelenerek arızalar kolayca tespit edilebilir.

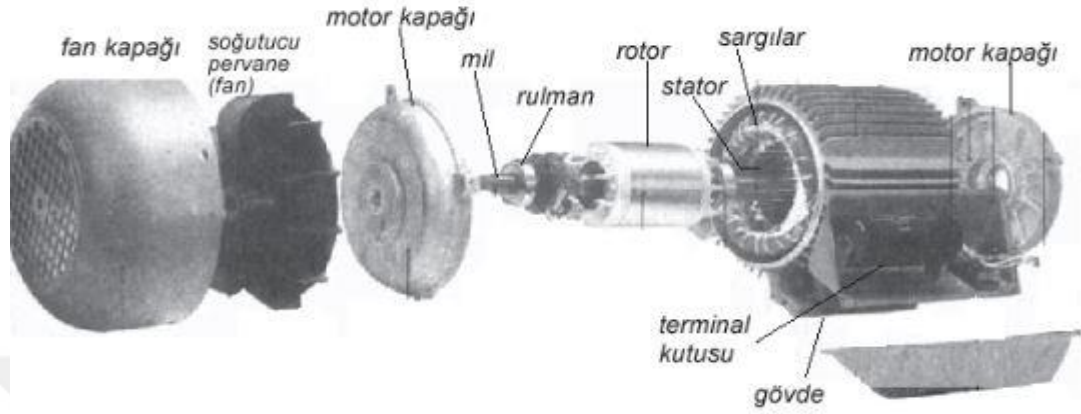
Evam menüsünde limit değerler şirketin makineyi çalıştırdığı şartlara ve ortama göre belirlendiği durma göre girilir.



Şekil 4.12. Ölçüm programı limit ekranı

4.2. Kestirimci Bakım Uygulamasında Kullanılan Motor Hakkında Genel Bilgiler

Uygulama çalışmasında Boytaş-1 A.Ş. tek düz kenar işleme palet motoru kullanılmıştır.



Şekil 4.13. Motor yapısı ve ana parçaları.

Bakım yapılan motorun örnek şematik gösterimi Şekil 4.13 de gösterilmiştir. Motorun kısımları hakkında genel bilgiler aşağıda verimiştir.

- 1.Gövde:** Üzerinde motor kapağı, terminal kutusu, rotor, rulman vb. parçaların bulunduğu kısımdır.
- 2.Motor kapağı:** Motor içerisindeki parçaların dış etkilerden gelen zararlara karşı korunması görevini üstlenir.
- 3.Stator:** Dönel makinelerde dönmeyen sabit kısımlara verilen genel isimdir.
- 4.Rotor:** Makinelerin dönen bölümleri olarak tanımlanır. Mil ve aks etrafına yayılmış olan düzenekleri anlatır.
- 5.Mil:** Dişli, çark, volan vb. parçaları üzerinde taşıyan bu parçalarla beraber dönebilen makine parçalarıdır.
- 6.Rulman yatağı:** Rulmanların bulunduğu kısımdır.
- 7.Rulman yağ keçesi:** Rulman yatağı içerisindeki yağın etrafa dağılmasını engeller. Rulman içerisine girecek olan partikül, kir, toz vb. çalışmasını olumsuz etkileyecek faktörlerden korur.

8.Fan kapağı: Fanı dış etkilerden koruyarak hasar almasını engeller.

4.3. Tek Düz Kenar İşleminde Kullanılan Motorda Yapılan Ölçümler Ve Analizler

Bakım yapılan motor görseli aşağıda verilmiştir (Şekil 4.14 'de). Periyodik alınan ölçümler sırasında motorda yaşanan duraklamalar yıllara göre gözlemlenmiştir. İlk yıl motor bakımı yapılırken veriler toplanmıştır. 2020 yılındaki aylık toplam duruş sürelerine ait çizelge Şekil 4.15'de verilmiştir. 2021 yılındaki duruş Şekil 4.16'de 2022 yılındaki duruşta Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Kestirimci bakım uygulaması yapılan motor

BOYTAŞ-1- TEK SOFT KENAR İŞLEME TRAŞLAMA VE FREZE MOTORLARI 2020 RULMAN ARIZALARI														
Seri No	Çağrı No	Bild.Tarihi	Başlama Zamanı	Bitiş Zamanı	Açıklama	Sip	0900 Per.	0915 Arıza	0920 Arıza	0925 Y.P.B	0930 Y.P.B	940 Gözlem	Toplam	Bakım
04-061/01	120002342	13.09.2020 03:23	13.09.2020 03:26	13.09.2020 04:25	RULMAN ARIZASI	2	0	0	0,98	0	0	0	0,98	84
04-061/01	130000021	5.01.2020 09:32	5.01.2020 09:35	5.01.2020 10:10	RULMAN ARIZASI	2	0	0	0,42	0	0	0,17	0,59	81
04-061/01	130000044	8.01.2020 17:56	8.01.2020 18:05	8.01.2020 18:25	RULMAN ARIZASI	2	0	0	0,33	0	0	0	0,33	3500
04-061/01	130000885	21.05.2020 16:38	21.05.2020 16:40	21.05.2020 18:00	RULMAN ARIZASI	2	0	0	1,33	0	0	0	1,33	80
04-061/01	130001222	15.07.2020 02:32	15.07.2020 02:35	15.07.2020 02:45	RULMAN ARIZASI	2	0	0,17	0	0	0	0	0,17	4230
04-061/01	130001230	18.07.2020 08:42	18.07.2020 08:47	18.07.2020 11:20	RULMAN ARIZASI	1	0	0	2,3	0	0	0,25	2,55	84
04-061/01	130001311	28.07.2020 00:10	28.07.2020 00:15	28.07.2020 00:35	RULMAN ARIZASI	2	0	0	0,33	0	0	0	0,33	3500
04-061/01	130001370	3.08.2020 10:36	3.08.2020 10:40	3.08.2020 11:40	RULMAN ARIZASI	2	0	0	1	0	0	0	1	4230
04-061/01	130001470	16.08.2020 14:46	16.08.2020 14:47	16.08.2020 15:46	RULMAN ARIZASI	2	0	0	1	0	0	0	1	4230
04-061/02	130001753	31.10.2020 08:45	31.10.2020 08:50	31.10.2020 09:30	RULMAN ARIZASI	1	0	0,83	0	0	0	0	0,83	61
									7,69	450 DAKIKA				

Şekil 4.15. Periyodik bakım yapılırken toplam duruş süresi 2020 yılı

Periyodik bakımlar sırasında alınan verilere göre sonraki yıllarda kestirimci bakım uygulaması yapılmış ve duruşlarda ciddi düşüşler gözlemlenmiştir. 2020 yılında duruş süresi 450 dakika olmuştur. Kestirimci bakım uygulaması sonrası 2021 yılında 65 dakika 2022 yılında 45 dakika olmuştur.

BOYTAŞ-1- TEK SOFT KENAR İŞLEME TRAŞLAMA VE FREZE MOTORLARI 2021 MOTOR RULMAN ARIZALARI														
04-061/01	1300002424	16.02.2021 14:51	16.02.2021 14:55	16.02.2021 17:22	RULMAN ARIZASI	1	0	0	1,03	0	1,42	0	2,45	64
									1,03	65 DAKİKA				

Şekil 4.16. Kestirimci bakım sonrası 2021 yılı toplam duruş

BOYTAŞ-1- TEK SOFT KENAR İŞLEME TRAŞLAMA VE FREZE MOTORLARI 2022 MOTOR RULMAN ARIZALARI														
04-061/01	130000172	24.01.2022 10:41	24.01.2022 10:55	24.01.2022 11:33	RULMAN ARIZASI	2	0	0	0,64	0	0	0	0,64	4230
									0,64	40 DAKİKA				

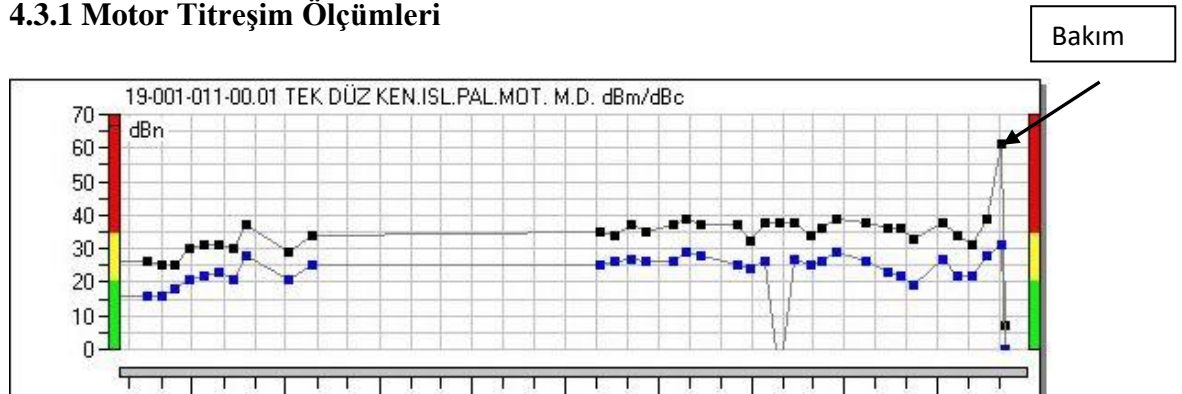
Şekil 4.17. Kestirimci bakım sonrası 2022 yılı toplam duruş

Yapılan çalışmadaki toplam dusuşlar tablo olarak aşağıda verilmiştir. Şekil 4.18.' de verilmiştir.

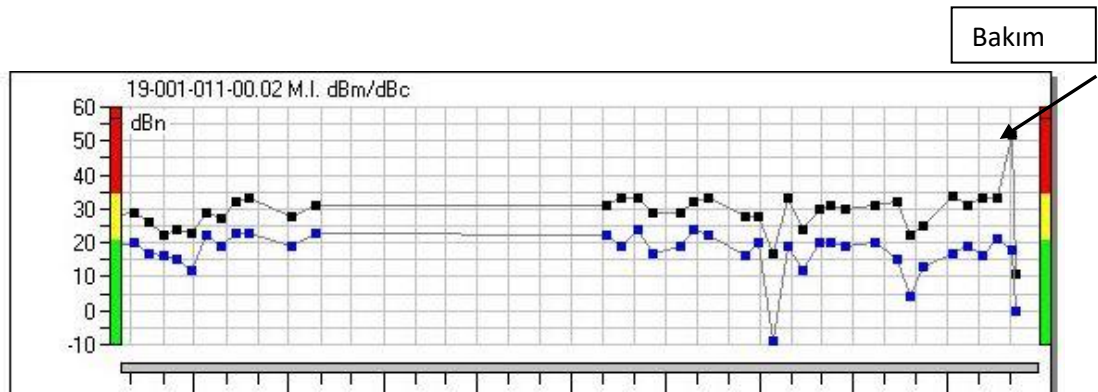
TEK SOFT KENAR İŞLEME HATTINDA RULMAN ARIZA SAYILARI VE SÜRELERİ						
			ARIZA ADETİ	ARIZA SÜRESİ		
2020 YILI MOTOR ARIZASI	:		10	450 Dk.		
2021 YILI MOTOR ARIZASI	:		1	65 Dk.		
2022 YILI MOTOR ARIZASI	:		1	40 dk.		

Şekil 4.18. Toplam Duruşlar

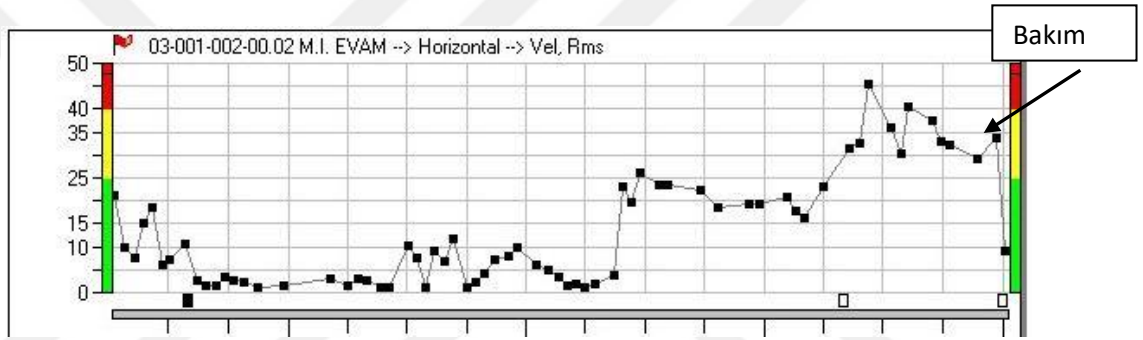
4.3.1 Motor Titreşim Ölçümleri



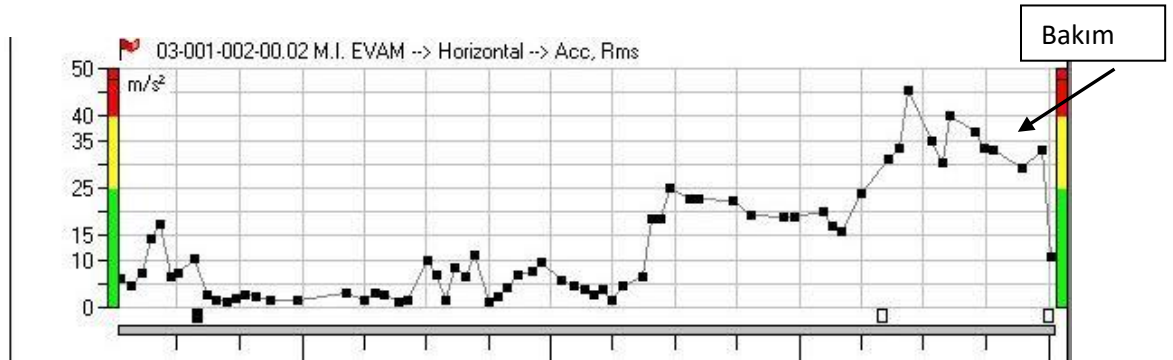
Şekil 4.19. Dış rulmanı dBm-dBc (şok puls) trend grafiği ve bakım sonrası düşüş



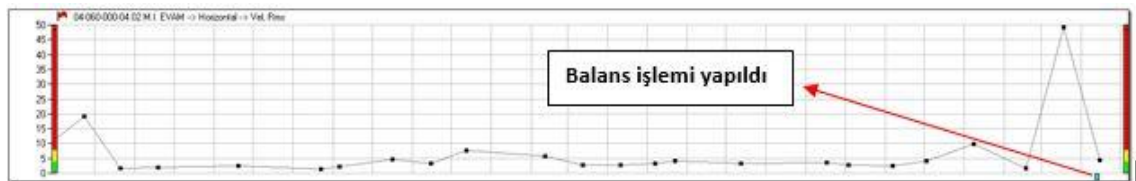
Şekil 4.20. İç rulmanı dBm-dBc (şok puls) trend grafiği ve bakım sonrası düşüş



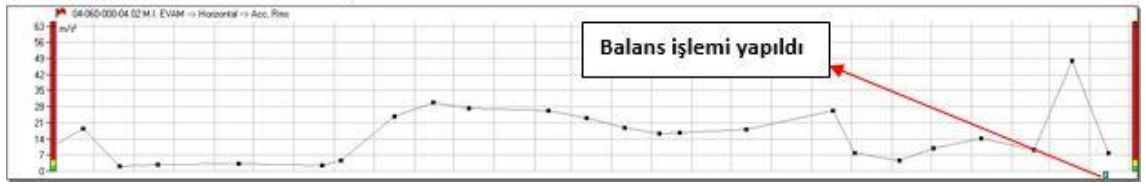
Şekil 4.21. Rulman yatay titreşim hız trend grafiği



Şekil 4.22. Rulman yatay titreşim ivme trend grafiği



Şekil 4.23. Motor hız trend grafiği



Şekil 4.24. Motor ivme trend grafiği

Motor sökölüp rulmanlar çıkarıldı ve rulmanların kitlenmiş olduğu görüldü. Hatta rulmanın bir tanesinin mile kaynamış vaziyette olduğu görülmüştür. Rulman değişimi sonrası ciddi grafiksel düşüş gözlemlenmiştir.(Şekil 4.25)



Şekil 4.25. Hatalı rulmanın görseli

5. BÖLÜM

TARTIŞMA – SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Tartışma

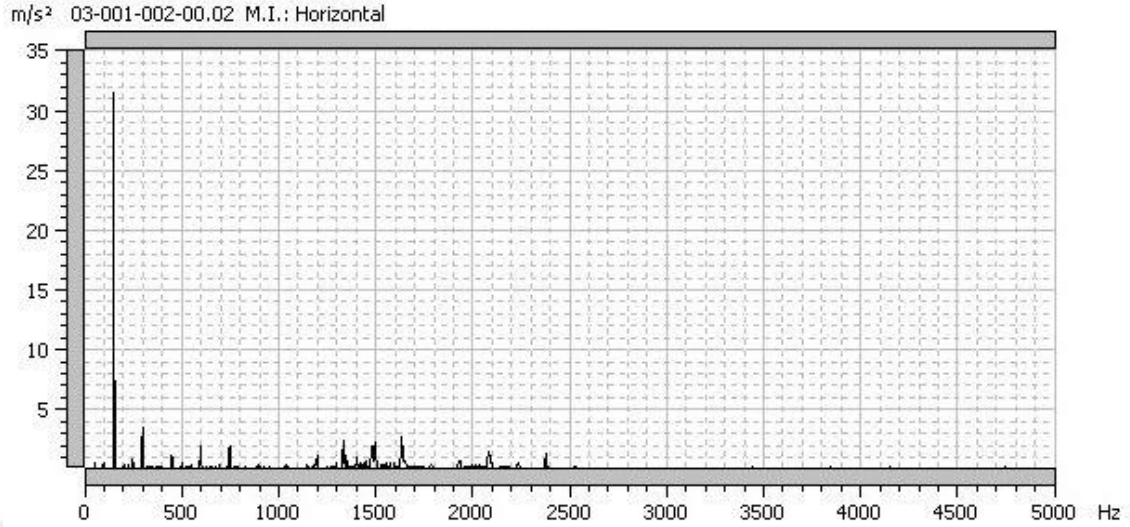
Üretimde meydana gelecek olan plansız arızalar ve ani duruşlar üretimi sekteye uğratar. Verimlilik azalarak siparişlerin zamanında yetişmemesinden dolayı prestij ve zaman kaybına sebep olur. Makinelerde meydana gelen arızalar yedek parçaların temini sırasında büyük zaman ve iş gücü kaybına neden olur. Bu istenmeyen durumların önüne geçebilmek için kestirimci bakım uygulamaları büyük önem arz etmektedir. Kestirimci bakım uygulamaları aynı zamanda gereksiz stok maliyetinide azaltacaktır. Makinelerde oluşacak olan arızalar daha önceden ön görüldüğü için Büyük duruşların ve kayıpların önüne geçilir.

Kestirimci bakım uygulamaları en başta pahalı ekipman ve kalifiye eleman gerektirsede zaman içerisinde yaşanacak olumsuzlukları engellediği için kendi maliyetinden daha fazla fayda sağlayacaktır.

5.2. Sonuç ve Öneriler

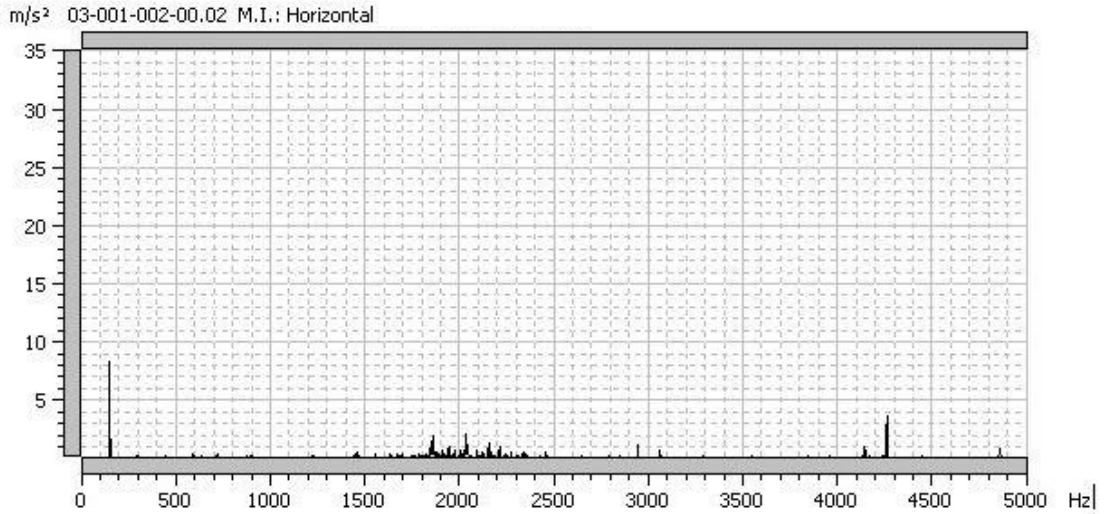
Yapılan çalışmada motor üzerinde kestirimci bakım sayesinde duruşlar azalmış ve makinede oluşan gereksiz titreşimler normal seviyelere indirgenmiştir. Yapılan analizler incelenmiş ve titreşim değerleri en az seviyeye indirmek hedeflenmiştir.

İlk kısımda 2021 yılında kestirimci bakım sayesinde ölçümler ile kestirimci bakım çalışması yapılmıştır.Şekil 5.1’de görüldüğü gibi bakım öncesi oluşan FFT spektrum grafiğinde Gözlenen değer 32 mm/s iken bakım sonrası Şekil 5.2 de görüldüğü gibi 8mm/s seviyelerine indirilmiştir. Büyük arızalar başlamadan önce bu grafikler sayesinde alınan sonuçlara dayanarak bakım yapılmış ve arıza oluşmadan önlenmiştir.



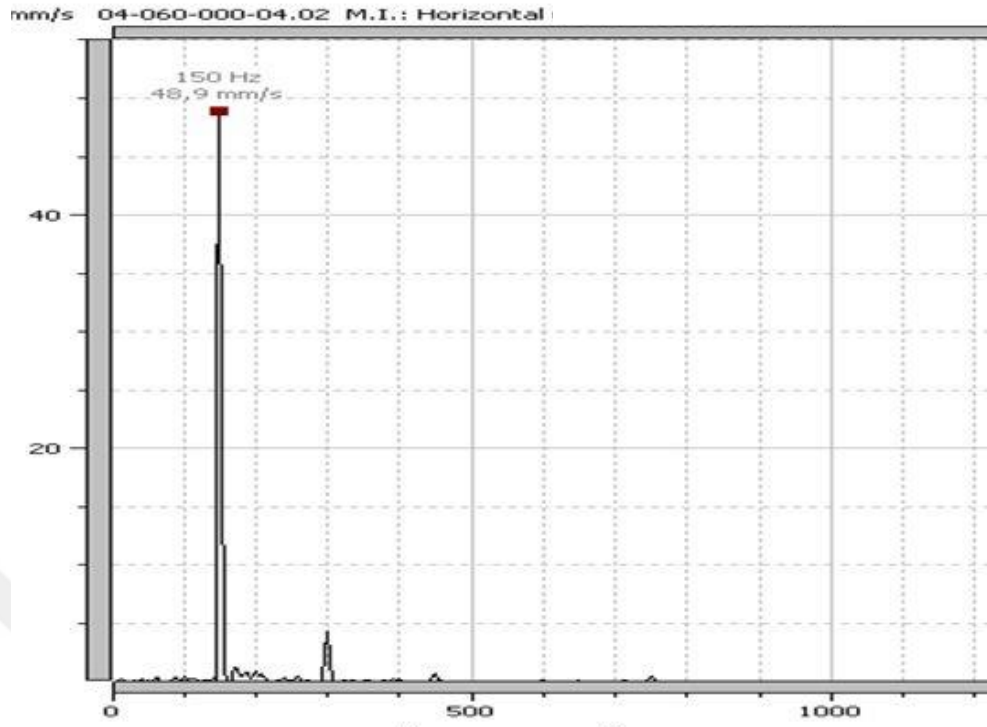
Şekil 5.1. 2021 yılı bakım öncesi FFT spektum grafiği

BAKIM SONRASI FFT SPEKTRUM GRAFİĞİ

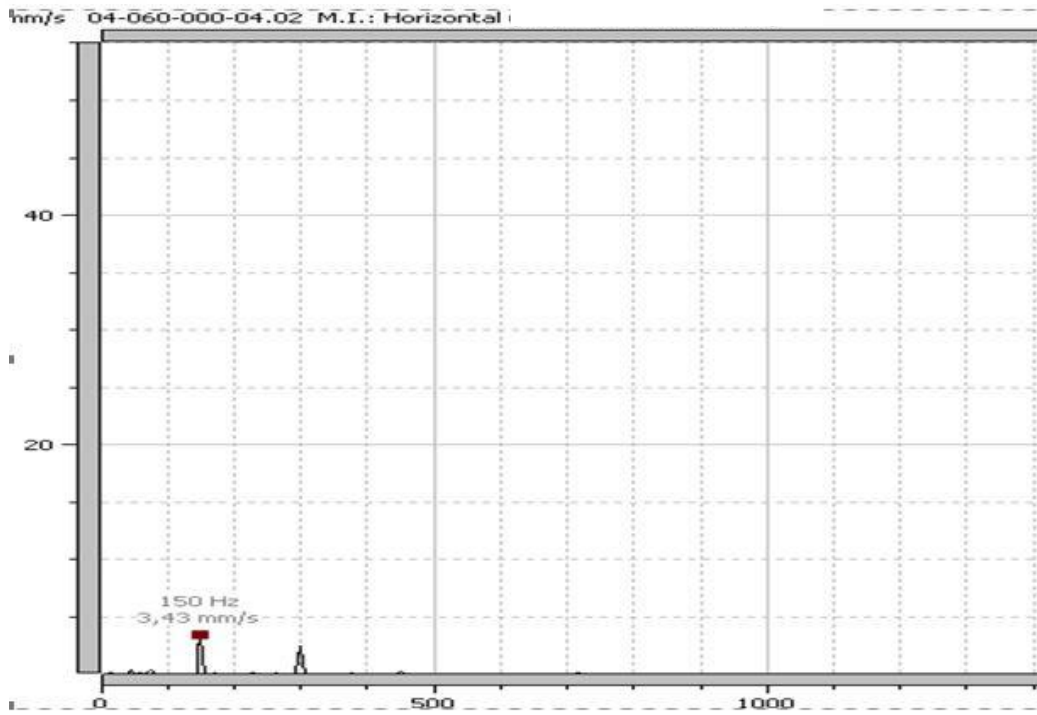


Şekil 5.2. 2021 yılı bakım sonrası FFT spektum grafiği

İkinci kısımda 2022 yılında kestirimci bakım sayesinde ölçümler ile kestirimci bakım çalışması yapılmıştır. Şekil 5.3’de görüldüğü gibi bakım öncesi oluşan FFT spektum grafiğinde Gözlenen değer 48,9 mm/s iken bakım sonrası Şekil 5.4 de görüldüğü gibi 3,42 mm/s seviyelerine indirilmiştir. Büyük arızalar başlamadan önce bu grafikler sayesinde alınan sonuçlara dayanarak bakım yapılmış ve arıza oluşmadan önlenmiştir.



Şekil 5.3. 2022 yılı bakım öncesi FFT spektum grafiği



Şekil 5.4. 2022 yılı bakım sonrası FFT spektum grafiği

Yapılan bu çalımlar sayesinde işletmede kullanılan makinelerin duruş sürelerinin yaklaşık olarak %85 oranında azaldığı erken bakımlar sayesinde büyük arızaların önüne geçildiği görülmüştür. Kestirimci bakım uygulamalarında en önemli olan iki faktör iyi bir cihaz ve kalifiye elemandır. Kalifiye elemanlar tecrübe ve birikimleri sayesinde arızalara karşı hızlı reaksiyon alırlar. Cihazın iyi olması da alınan değerlerin sağlıklı olmasını etkileyeceği için doğru sonuca ulaşmada çok önemlidir.

Kestirimci bakım yöntemi sayesinde beklenmedik arızaların ortaya çıkması engelleneceği gibi gereksiz stok maliyetlerinin ve üretim verimliliğinin azalmasının da önüne geçer. Arızaların önceden tespiti üretimin aksamasını engeller zamanında doğru bakım yapılmasını sağlar. Titreşim analizi ile kestirimci bakım oluşabilecek arızaların önüne geçilmesinde çok etkili ve yetkin bir yöntemdir. İşletmelerin gereksiz bakım maliyetleri ve prestij kayıpları yaşamaması için dikkat etmesi gereken bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

1. Duyar, A., Merrill, W.C. 1992. "Fault Diagnosis For the Space Shuttle Main Engine," **AIAA Journal of Guidance, Control and Dynamics**, vol. 15, no.2, pp. 384-389.)
2. Understanding Maintenance Strategies, <http://www.plantweb.emersonprocess.com> (05.07.2012)
3. URL-1 (2004) <http://www.resonans.com.tr/dökümanlar>, Kestirimci Bakım, (01.09.2012)
4. Orhan, S. 2002. Rulmanlarla Yataklanmış Dinamik Sistemlerin Analizi ile Kestirimci Bakım. Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kırıkkale, 190 s.
5. Karahan, M. 2005. Titreşim Analizi İle Makinelerde Arıza Teşhisi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa, 71 s.
6. Uysal, V., 2019. Enerji Santrallerinde Titreşim Analizi ile Kestirimci Bakım Uygulamaları, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 135 s.
7. Gücek, A. 2019. Rendering Tesisinde Kullanılan Kestirimci Bakım Uygulamaları, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 61 s.
8. Göçülü, G. 2015. İşletmelerde Kestirimci Bakım Uygulamaları, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 143 s.
9. Hafızoğlu, M.A. 2015. Kompresör Titreşimlerinin Analizi ve Modellenmesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sivas, 94 s.
10. Yıldırım, E. 2014. Makinelerde Titreşim Analizi ile Kestirimci Bakım, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa, 178 s.
11. Arslan, S. 2010. Titreşim Analizi İle Fanlarda Arıza Teşhisi ve Kestirimci Bakım, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, 101 s.

12. Hancı, G. 2009. Lastik Endüstrisinde Kullanılan Kestirimci Bakım Uygulamaları, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 113 s.
13. Köse, K. Makine Sağlığı Yönetim Platformu, <http://www.bilesim.com.Tr/tr/index.nsf?lf=/tr/leftbarfuarcilik.html&rf=http://www.bilesim.com.tr/mi-stoportal/showmakale.nsf?xd=2024.xml> (06.11.2012)
14. SKF TÜRK 2010. **İş ve Teknoloji dergisi 35** (1): 20-30
15. Dimoragonas, A., 1996. Vibration for engineers, Prentice-Hall International, New Jersey, A.B.D.
16. Thomson, T. W. 1993. Theory of vibration with application, Prentice-Hall International, New Jersey, A.B.D.
17. Technion, S.B., 2001. "Transform methods," *Encyclopedia of Vibration* (Ed: Braun, S.), Academic Pres., Haifa, Israil, 1406-1419.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Abdulkadir ÖZÇELİK

Uyruğu: Türkiye (TC)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Makine Mühendisliği Bölümü	2016
Lise	Beydağı Anadolu Lisesi / Malatya	2010

İŞDENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2017- Halen	İstikbal A.Ş.(Özel Sektör)	Ar-Ge uzmanı

YABANCI DİL

İngilizce