T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FREN TEST TAMBURU RULMAN TİTREŞİM DEĞERLERİNİN ZAMANA BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ

YEKDA ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. SUAT SARIDEMİR

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FREN TEST TAMBURU RULMAN TİTREŞİM DEĞERLERİNİN ZAMANA BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ

Yekda ŞAHİN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Suat SARIDEMİR
Düzce Üniversitesi _____

Doç Dr. Ali Etem GÜREL
Düzce Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KARAGÖZ
Karabük Üniversitesi _____

Tez Savunma Tarihi: 26/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

26 Temmuz 2019

Yekda ŞAHİN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Suat SARIDEMİR'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca değerli katkılarını esirgemeyen TÜVTÜRK Düzce Araç Muayene İstasyonu çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2017.07.04.648 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

26 Temmuz 2019 **Yekda ŞAHİN**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ viii

ÇİZELGE LİSTESİ x

KISALTMALAR xi

SİMGELER xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xiv

1. GİRİŞ 1

1.1. TEZİN AMACI 2
1.2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI 2

2. KESTİRİMCİ BAKIM VE KESTİRİMCİ BAKIM YÖNTEMLERİ 5

2.1. BAKIM YAKLAŞIMLARI 6
2.1.1. Arıza Çıktıkça Bakım Yaklaşımı 6
2.1.2. Periyodik Koruyucu Bakım Yaklaşımı 6
2.1.2.1. Araç Muayene İstasyonu Hafif Araç Fren Test Cihazı Periyodik Koruyucu Bakım Talimatı 6
2.1.3. Kestirimci Bakım Yaklaşımı 10
2.1.4. Pro-Aktif Bakım Yaklaşımı 11
2.2. KESTİRİMCİ BAKIM 11
2.2.1. Kestirimci Bakım Aşamaları 13
2.2.1.1. Tespit (Ölçüm) 13
2.2.1.2. Teşhis (Analiz) 13
2.2.1.3. Bakım Onarım 13
2.2.2. Kestirimci Bakım Yöntemleri 13
2.2.2.1. Kızıl Ötesi Termografik (Termal Kamera İle İzleme) 14
2.2.2.2. Yağ Analizi 14
2.2.2.3. Ultrasonik İzleme 14
2.2.2.4. Titreşim Analizi 15
2.2.3. Titreşim Ölçümünde Spektral Analiz 15
2.2.4. Titreşim Analizi ve Ölçümleri Tanımı 17
2.2.4.1. Titreşim ile İlgili Temel Kavramlar 17

3. RULMAN 21

3.1. RULMAN ELEMANLARI 22
3.1.1. İç Bilezik 22
3.1.2. Dış Bilezik 22
3.1.3. Yuvarlanma Elemanı (Bilye) 22

3.1.4. Kafes **23**
3.2. RULMAN HASARLARI **23**
3.2.1. Rulman Hasar Aşamaları **24**
3.2.1.1. Birinci Aşama *24*
3.2.1.2. İkinci Aşaması *25*
3.2.1.3. Üçüncü Aşaması *25*
3.2.1.4. Dördüncü Aşama *26*
3.2.2. Rulman Hasar Frekansları **27**
3.2.2.1. Dış Bilezik Bilye Geçiş Titreşim Frekansı *28*
3.2.2.2. İç Bilezik Bilye Geçiş Titreşim Frekansı *28*
3.2.2.3. Bilye Geçiş Titreşim Frekansı *28*
3.2.2.4. Kafes Bilye Geçiş Titreşim Frekansı *28*
3.3. ÇALIŞMADA KULLANILAN RULMAN VE YATAĞI **29**
3.3.1. Rulman Teknik Özellikleri **29**
3.3.1.1. Görseller *29*
3.3.1.2. Rulman Tanımı *30*
3.3.1.3. Rulman Performansı *30*
3.3.1.4. Rulman Diğer Özellikleri *31*
4. BİNEK ARAÇ RULO FREN TEST CİHAZI **32**
4.1. MAHA IW 2 FREN TEST CİHAZI **33**
4.1.1. Fren Test Hakkında Genel Bilgi **33**
4.1.1.1. Tek Tahrikli Akisli Araçlar *34*
4.1.2. Fren Test Cihazı Özellikleri **35**
4.1.2.1. Rulo Seti *35*
4.1.2.2. Gösterge Ünitesi *35*
4.1.3. Fren Test Cihaz Aksesuarları **35**
4.2. FREN TEST CİHAZI ÇALIŞTIRMA **36**
4.2.1. Gösterge **37**
4.2.2. Gösterge Sembolleri **37**
4.2.3. RECO 1 Uzaktan Kumanda **38**
4.2.4. Uzaktan Kumandasız Test İşlemi **38**
4.2.4.1. Cihazı Açmak *38*
4.2.4.2. Test Cihazına Sürüş *39*
4.2.4.3. Ölçümü Gerçekleştirmek *39*
4.2.5. Uzaktan Kumanda İle Test İşlemi **39**
4.2.5.1. Test Cihazını Açmak *39*
4.2.5.2. Test Cihazına Sürmek *39*
4.2.5.3. Uzaktan Kumandayı Aktif Etmek *40*
4.2.5.4. Ölçümü Gerçekleştirmek *40*
4.2.5.5. Araç Ağırlığı Girişi ve Ölçüm Değeri Raporu *40*
4.2.5.6. Ölçüm Silme ve Yeniden Gösterim *41*
4.2.6. Tek Teker Test (İsteğe Bağlı) **41**
4.2.6.1. Uzaktan Kumandasız *41*
4.2.6.2. Uzaktan Kumanda İle *42*
4.3. BAKIM, ARIZA BULMA **42**
4.3.1. Bakım **42**
4.3.2. Arıza Bulma **43**
5. DENEYSEL ÇALIŞMA **46**
5.1. ÇALIŞMA DÜZENEĞİ **46**
5.2. VERİ ANALİZLERİ **52**
5.2.1. 01.02.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi **52**
5.2.2. 01.03.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi **53**

5.2.3. 01.04.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi 53
5.2.4. 01.05.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi 54
5.2.5. 01.06.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi 54
5.2.6. 01.07.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi 55
5.2.7. 01.08.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi 55

6. BULGULAR VE TARTIŞMA 57

6.1. BULGULAR 57
6.2. TARTIŞMA 58

7. SONUÇ VE ÖNERİLER 59

8. KAYNAKLAR 61

ÖZGEÇMİŞ 65

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. a) Ana şalter b) Motor koruma şalteri. 7
Şekil 2.2. a) Binek fren test cihaz rulo kapakları b) Rulo temizlik noktaları c) Rulo temizlik noktaları. 7
Şekil 2.3. Binek araç fren test cihaz DMS (Fren kuvvet ölçer). 8
Şekil 2.4. Orta rulo devir algılama delikleri ve meşgul sensörü. 8
Şekil 2.5. Binek fren test cihaz denge kontrolü yapılacak noktalar. 9
Şekil 2.6. a) ve b) Binek fren test cihaz kasası zemin ile kontrol noktaları. 9
Şekil 2.7. Binek araç fren test cihaz temizliğinde dikkate edilecek yer kartı. 10
Şekil 2.8. Binek araç fren test cihaz ayar cıvatası ve rulman. 10
Şekil 2.9. Kestirimci bakım yöntemi akış şeması. 12
Şekil 2.10. Kestirimci bakım yöntemlerinin tercih edilme oranları. 14
Şekil 2.11. Örnek bir frekans spektrum grafiği. 16
Şekil 2.12. Titreşim seviyeleri ve uyarı-durdurma emniyet sistemi. 17
Şekil 2.13. Genlik ve frekans grafiği. 19
Şekil 3.1. Rulman elemanları genel görünüşü. 22
Şekil 3.2. a) Sabit bilyeli rulman iç bileziğinde soyulma b) İç bileziğin malzeme yorulması sonucu kırılması. 23
Şekil 3.3. Rulman hasar birinci aşaması. 24
Şekil 3.4. Rulman hasar ikinci aşaması. 25
Şekil 3.5. Rulman hasar üçüncü aşaması. 26
Şekil 3.6. Rulman hasar dördüncü aşaması. 26
Şekil 3.7. Rulman geometrisi. 27
Şekil 3.8. SNR Yataklı rulman üç boyutlu kesit. 29
Şekil 3.9. SNR Yataklı rulman teknik resmi. 30
Şekil 4.1. Düz zeminli fren test cihazı şematik görünüşü. 33
Şekil 4.2. Fren test cihazı göstergesi. 37
Şekil 4.3. Dot matriks gösterge sembolleri. 38
Şekil 4.4. RECO1 uzaktan kumanda. 38
Şekil 4.5. Gösterge ekranı. 40
Şekil 4.6. Gösterge ekranı. 40
Şekil 4.7. Gösterge ekranı. 41
Şekil 4.8. Gösterge ekranı. 41
Şekil 4.9. Gösterge ekranı. 41
Şekil 4.10. Fren test cihazı bakım noktaları. 42
Şekil 5.1. Titreşim ölçüm düzeneği genel görünüşü. 46
Şekil 5.2. Titreşim ölçüm düzeneği genel görünüşü. 47
Şekil 5.3. Elektro – mekanik fren test cihazın görünüşü ve parçaları. 48
Şekil 5.4. Motor koruma şalteri. 48
Şekil 5.5. SNR US205G2 rulmana ait geometrik özellikler. 49
Şekil 5.6. Vibrotest 80 titreşim ölçme cihazı. 50
Şekil 5.7. Brüel & Kjaer 4527 ivmeölçer. 51
Şekil 5.8. 01.02.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri. 53

Şekil 5.9. 01.03.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri. 53
Şekil 5.10. 01.04.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri. 54
Şekil 5.11. 01.05.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri. 54
Şekil 5.12. 01.06.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri. 55
Şekil 5.13. 01.07.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri. 55
Şekil 5.14. 01.08.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri. 56
Şekil 6.1. Tarihe bağlı olarak hesaplanan a_{toplam} değerleri. 58

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Rulman tanımı. 30
Çizelge 3.2. Rulman performansı. 31
Çizelge 3.3. Rulman performansı. 31
Çizelge 4.1. Rulo seti teknik özellikleri. 35
Çizelge 4.2. Rulo seti teknik özellikleri. 35
Çizelge 4.3. Rulo seti aksesuarları. 36
Çizelge 4.4. Fren test cihazı gösterge panosu açıklamaları. 37
Çizelge 4.5. Arıza tespit hata kodları. 43
Çizelge 4.6. (devam) Arıza tespit hata kodları. 44
Çizelge 5.1. Üç eksenli ivmeölçerin özellikleri. 50
Çizelge 6.1. Tüm kanallardan elde edilen verilere göre hesaplanan a_{rms} titreşim değerleri. 57

KISALTMALAR

ABC	Pareto Analizi
ABS	Anti Blokaj Sistem
CM	Condition Monitoring (Durum İzleme)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Alman Genel Norm Komitesi)
DMS	Fren Kuvvet Ölçer
FFT	Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
H	Hour (Saat)
HZ	Hertz (Saniyedeki Devir Sayısı)
kHz	Kilo Hertz
Km	Kilometre
LED	Light Emitting Diode (Işık Yayan Diyot)
Mm	Mili Metre
MS	Milattan Sonra
RMS	Root Mean Square (Karekök Ortalama)
RPM	Revolution Per Minute (Dakikadaki Devir Sayısı)
S	Saniye
UK	Uzaktan Kumanda
yy	Yüz Yıl

SİMGELER

a	İvme
a_{max}	Maksimum İvme Değeri
B	Rulman Genişliği
c	Sönüm
D_d	Dış Bilezik Dış Çap
d_d	Dış Bilezik İç Çap
D_i	İç Bilezik İç Çap
d_i	İç Bilezik Dış Çap
f	Frekans
f_{bilye}	Bilye Geçiş Titreşim Frekansı
$f_{dış}$	Dış Bilezik Bilye Geçiş Titreşim Frekansı
$f_{iç}$	İç Bilezik Bilye Geçiş Titreşim Frekansı
f_{kafes}	Kafes Bilye Geçiş Titreşim Frekansı
f_n	Doğal Frekans
f_r	Devir Frekansı
k	Rijitlik
m	Kütle
n	Bilye Sayısı
t	Zaman
T	Periyot
ω	Açısal Frekans
x	Yer Değiştirme
V	Hız
V_{max}	Maksimum Hız Değeri
$\hat{a}$	Titreşim İvmesinin Genliği
$\hat{s}$	Titreşim Hareketinin Genliği
$\tilde{v}$	Titreşim Hızının Genliği
X_0	Genlik
X_{RMS}	Genlik RMS Değeri
β	Temas Açısı

ÖZET

FREN TEST TAMBURU RULMAN TİTREŞİM DEĞERLERİNİN ZAMANA BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ

Yekda ŞAHİN
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Suat SARIDEMİR
Temmuz 2019, 64 sayfa

Rulmanlar geniş yükleme kapasiteleri, düşük sürtünme katsayıları ve güvenirlikleri sebebiyle döner makinelerde tercih edilen ve çok sıklıkla kullanılan elemanlardır. Rulmanların çalışma ömrü, makinenin ömrünü, yapılan işin hassasiyetini, zaman kaybını ve bakım masraflarını doğrudan etkilediği için önemli bir parametredir. Söz konusu aksaklıkların oluşmaması için, rulman arızalarının önceden belirlenmesi önemlidir. En etkili, en güvenilir ve en ekonomik bakım stratejilerinden biri olan "Condition-Based Monitoring", bakım işlemini minimize etmek ve maliyeti azaltmak etmek için yaygın bir şekilde kullanılır. Ulaşılabilir pek çok Condition Monitoring (CM) metotları içerisinde, titreşim tabanlı metotlar, diğer metotlarla karşılaştırıldığında pek çok avantaj sunmakta ve bu nedenle de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında TÜVTÜRK Düzce araç muayene istasyonunda bulunan ve binek araçların fren testlerinin yapılmasında kullanılan fren test cihazının rulman titreşim genlik değerleri 1'er aylık periyotlarda 7 ay boyunca ölçülmüştür. Vibrotest 80 model titreşim ölçüm cihazı ile düzenli olarak aylık periyotlarda, fren test cihazı tamburunun bir rulman (SNR US205GG2) bağlantı yatağının üzerinden titreşim verileri alınmıştır. Aynı zamanda ölçüm yapılan tarihler arasındaki, fren test cihazında test yapılan araç sayısı da kayıt altında tutulmuştur. Elde edilen verilere uygulanacak FFT (fast fourier transform) ve zarf analizi ile rulman durumu zamana bağlı olarak incelenmiştir. Böylece fren test cihazı rulmanlarının kullanım ömrü zamana ve taşıt sayısına bağlı olarak belirlenmiştir. Rulman titreşim verileri fren test cihazının yüklü ve yüksüz çalışma koşullarında ölçülerek karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Rulman titreşim genliklerinin zamana bağlı olarak arttığı görülmüştür. Fren test cihazında kullanılan araç sayısı arttıkça rulmanda titreşim genlik değerlerinin arttığı görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Fren test cihazı, Bilyalı rulman, Arıza teşhisi, Titreşim analizi.

ABSTRACT

DETERMINATION OF BEARING VIBRATION VALUES OF BRAKE TEST DRUM DEPENDING ON TIME

Yekda ŞAHİN
Düzce University
Institute Of Science And Technology, Department of Manufacturing Engineering
Master's Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Suat SARIDEMİR
July 2019, 64 pages

Ball bearings are frequently used and preferred elements in rotating devices due to their expansive loading capacity, low friction modulus and reliability. The operating lifespan of ball bearings is an important parameter, as it directly affects the lifespan of machine, work senstivity, time loss and maintentance costs. It is crucial to detect ball bearing defects beforehand in order to prevent relevant malfunctions. Condition –based monitoring that is the most efficient, reliable and economic maintenance strategy is widely used to minimize the maintenance process and reduce the costs. Among the most available Condition Monitoring (CM) methods, vibration based methods present a number of advantages as compared to other methods, therefore they are widely applied.
Within the scope of this study, ball bearing vibration magnitude values of the brake tester device used for testing the brakes of the passenger cars in Düzce Vehicle Inspection Station (TÜVTÜRK) was measured in one-month periods during 7 months. Regularly in monthly periods, vibration data was obtained over a ball bearing link of brake tester rollers (SNPUS205GGL) by means of Vibrotest 80 model vibration meter. Also, the number of the vehicles tested with brake tester device was recorded during the months when measurement was performed. Ball bearing status was analysed regarding time by means of FFT (Fast Fourier Transform) and envelope analysis to be applied on the data obtained. As a result, lifespan of brake tester ball bearings was determined depending on the time and the number of the vehicles. Ball bearing vibration data was analysed correlatively regarding the loaded and unloaded working conditions. Ball bearing vibration magnitude was observed to increase depending on the time. It was also observed that the more the number of the vehicles tested in the brake tester device, the more the ball bearing vibration magnitude increases.

Keywords: Brake tester device, Ball bearing, İdentification of the malfunction, Vibration analysis.

1. GİRİŞ

Titreşim kısaca, dengede olan bir sistemin bu konum çevresinde yaptığı salınım hareketi olarak tanım yapılabilir. Bazen istenen bir durum olan titreşim, içerisinde bir müzik enstrümanından ses çıkması, konuşmamızı sağlayan ses tellerinin hareketi olsa da, mekanik sistemlerde genellikle istenmeyen olumsuz bir durumdur. Titreşim, makineler için boşa harcanan enerji, istenmeyen ses ve gürültü, yüksek gerilmeler, malzeme yorulması ile aşınması ve hatta büyük salınım durumunda makinenin tahribatı gibi olumsuz durumlara sebebiyet verebilmektedir [1].

İşletmelerde arıza yapan makinaların bakım ve onarımı hem çok zor hem de çok maliyetlidir. Hiç olmadık bir anda meydana gelen arızanın giderilmesi uzun zaman sürer, yedek parça temini güçleşir, bu arada da üretim kayıpları artar, hizmet aksar, maliyetlerde artar. Bir makinadan yüksek verim almak için ve bakımdan kaynaklı üretim kayıplarını en aza indirmek için bugüne kadar değişik yaklaşımlar benimsenmiştir. Bunlardan biri de "Durum İzlemeye Dayalı Bakım" veya "Kestirimci Bakım" dediğimiz bakım anlayışıdır. Bu anlayışın benimsediği uygulamalarda, bakım maliyetlerinde çok önemli azalmalar görülmüştür. Bu azalmaların genel ortalamaları; arıza bakım ve yedek parça maliyetlerinde %27, koruyucu bakım maliyetlerinde %74, toplam duruş sürelerinde %40'dır. Bu yöntemle arıza tahminleri yapılırken titreşim analizi metotları temel olarak kullanılır [2].

Araç muayene istasyonlarında makine ve ekipman ile ilgili istenmeyen durum yaşamamak değişik bakım metotları sınanmakta, bir plan dahilinde periyodik olarak yapılan parça ve yağ değişimler ile kısmi bir çözüm elde edilse de anlık, habersiz oluşan arızaların önüne geçilememektedir.

Gözleme metotlu kestirimci bakım yöntemi ile makine ve ekipmanlarda arıza meydana gelmeden önce müdahale edilerek arızanın oluşmasının önlenmesi her işletmenin kabul edeceği bir anlayıştır. Teknolojik gelişmelerin ilerlemesiyle kestirimci bakım yöntemi ile fren test cihazlarında meydana gelecek ani ve plansız duruşların önüne geçileceği için yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

Gözleme dayalı bakım yöntemi ile döner makinelerde istenmeyen, olumsuz durumlar ile karşılaşmamak için rulmanların çalışma esnasında titreşimleri cihazlar ile gözlemlenerek, rulmanda ileri düzeyde bir arıza meydana gelmeden müdahale edilmesi, rulmanın değişmesi ile plansız duruşların engellenmesi sağlanabilecektir.

1.1. TEZİN AMACI

Yapılan çalışmada amaç fren test cihazının rulman arızaları, titreşim analiz yöntemi ile incelenerek, fren test cihaz rulmanlarının kullanım ömrünü zamana ve taşıt sayısına bağlı duruma bağlı izleme yöntemi benimsenerek belirlenecektir.

Bu çalışmada hedeflenen rulmanlardaki meydana gelen erken rulman hasarları içerisinde %34'lük büyük orana sahip yorulma sonucu oluşan hasarlara neden olan titreşim değerlerinin analiz edilmesi araştırılacaktır [2].

Fren test cihazının rulman arızaları, titreşim analiz yöntemi Vibrotest 80 model titreşim ölçüm cihazı ile düzenli olarak aylık periyotlarda, fren test cihazı tamburunun bir rulman bağlantı yatağının üzerinden titreşim verileri alındı, elde edilen verilere uygulanacak FFT (fast fourier transform) ve zarf analizi ile rulman durumu zamana bağlı olarak incelenerek fren test cihaz rulmanlarının kullanım ömrü zamana ve taşıt sayısına bağlı olarak belirlenmiştir.

1.2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Teknolojik gelişmelerin ilerlemesiyle rulmanlardaki titreşim analiz çalışmaları 1960 yılından itibaren artarak devam etmiştir. Rulmanlardaki hata analizi ve teşhis çalışmaları birçok araştırmacının araştırma konusu olmuştur [3].

Rulman titreşimleri üzerine birçok araştırmacı tarafından çalışma yapılmıştır.

Hakan Arslan vd. deneysel olarak bilyeli rulman üzerinde bölgesel kusurlar incelenerek bilyeli rulman elemanı olan iç ve dış bilezikte bölgesel ve yapay kusurlar oluşturulmuştur. Radyal eksende milin titreşim ölçümleri kaydedilmiştir. Hatasız rulmanda bilyeler yüksüz bölgede hareket ederken kendi doğal frekansta titreştiği elde edilmiştir. Ön yük fazlalaştıkça bilyeler daha fazla yüke maruz kaldıkça daha fazla deformasyona uğramakta ve titreşim genlikler artmaktadır. Yapılan benzetim sistemi ile deney sonuçlarının uyum içerisinde olduğu söylenebilir [3].

Aktürk vd. matematiksel model oluşturularak, açısal temaslı iki rulman ile yataklanmış mil-rulman eksenel ve radyal titreşimler incelenmiştir. İnceleme sonucunda milin ve yatakların titreşim özelliklerinin, yatakların doğrusal olmayan yüke maruz kalmaları nedeniyle değiştiği elde edilmiştir [4].

McFadden ve Smith yapılan benzetim ile deneysel sonuçlar karşılaştırılan bu çalışmada rulman iç bileziğindeki bir ve birden fazla kusurların meydana geldiği modellenen düzenekte öngörülen ve elde edilen spektrumlarının karşılaştırılması deneysel sonuçlarla gerçekliğin sonuçları doğrulanmışlardır [5], [6].

Taylor, rulman elemanları olan iç ve dış bilezik, yuvarlanma elemanlarında oluşan tek hasarın ve birden fazla elemanında oluşan tek hasar frekansları incelemiştir. Rulman yatağın yuvarlanma yollarında, kafeste veya bilyelerde meydana gelen hataların yanı sıra şaftı ve gevşek muhafazadaki aşırı boşluk, benzersiz titreşim sinyallerine neden olur [7].

Su vd. rulman elemanlarından silindirik yapıdaki rulmanlarda yüzey pürüzlülüğünün meydana getirdiği titreşim benzetim yöntemi ve deneysel neticelerle doğruluğu ortaya konulmuştur [8].

Mete Kalyoncu, makine ve makine elemanlarında meydana gelen arıza tespitinde titreşim analiz yöntemi ile teşhis yapılarak kestirimci bakım yöntemi uygulanarak arızanın oluşumunun gözlenmesi sonucu arızanın daha ekonomik bir şekilde giderilmesi sağlanmıştır [2].

Ali Ustaoğlu vd. bir elektrik motoruna bağlı bir mil üzerindeki rulmanda yapay kusurlar oluşturularak, kestirimci bakım teknolojisine dayalı olarak rulmanda hata tespiti titreşim sinyalleri alınarak, hasarlı rulmanın hata durumu ve gelişimi tahmin edilmeye çalışılmıştır [9].

Engür içerisinde belli devirde dönen makine elemanlarının arızalarını önceden tespit edebiliriz. İnsan hastalandığında, hastalığının belirtileri önceden ortaya çıkmaktadır. Makinelerde de arızalı parçalar arızalanmadan önce haber verirler. Bu çalışmasında makinelerin önceden arızalanmadan titreşim analizi konusunda grafik inceleme sonucu titreşim analizi ile bulunabilecek arıza üzerinde çalışma yapılmıştır [10].

Orhan ve diğerleri sürekli üretim sistemlerinde hareketin iletiminde kullanılan aktarma organlarının arızaların zamanında tespit edilmesi ve üretimi engellemeyecek tarzda oluşturulması önem arz etmektedir. Çalışma içerisinde aktarma organı dişlilerinde

arızadan kaynaklı meydana gelen titreşimlerin analizi yapılarak erken uyarı bakım sistemi konusunda bilgilendirmede bulunularak dişli hasarlarının alınan titreşimlerin bu hasarları tespit etmede kullanılan bir önemli yöntem olduğu belirlenmiştir [11].

Arslan ve diğerleri bilyeli rulmanlardaki bölgesel yüzey hataları titreşim analiz yöntemi kullanılarak kütle–yay sistemi olarak modellenen test düzeneğinde incelenmiştir. Düzenlenen modellenmiş mil rulman deney düzeneğinde kusurlu ve sağlam rulman titreşimleri kaydetmişlerdir. Ayrıca sistem için teorik bir model oluşturularak sağlam ve kusurlu rulmanları analiz yapmak için bir benzetim programı geliştirilmiştir. Geliştirilen programdan çıkan sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında bir uyum içerinde olduğu gözlemlenmiştir [12].

Karaçay ve diğerleri döner makinelerde sıklıkla kullanılan rulmanlarda asıl önemli olması gerekenin rulmanda arıza çıkmadan önlemini alabilmenin en kritik noktanın tespit edilebilmesidir. Bu kapsamda arızanın önceden tespiti için açısal temaslı rulmanın dış bileziği, iç bileziği ve yuvarlanma elemanının titreşim ölçümleri ile rulmanda oluşacak kusurların tespiti ve iç kuvvet analizi için bölgesel kusurlar modellenerek çalışma yapılmıştır [13].

Orhan bu çalışmasında dönme hareketi ile çalışan makinelerde ortaya çıkan gevşeklik, eksen kaçıklığı, dengesizlik ve rulman arızalarının genel özellikleri üzerinde durulmuştur. Çalışmasında bir fabrikada bulunan makinelerdeki arızanın oluşuna neden olan titreşim hareketleri gözlemlenerek çalışma ortay konulmuştur. Titreşim analiz yöntemi ile döner makinelerde arıza tespitinin kolayca tespit edileceği görülmüştür [14].

Yaman ve diğerleri bu çalışmalarında ABC (Pareto) analizi ile belirlenen problemli pompa makinelerinde meydana gelen arızaların titreşim ölçümleri yapılarak, kestirimci bakım yöntemiyle arıza nedeniyle makinelerin çalışmamasına neden olmadan önce arızanın tespitinin yapılabileceği ve arızalar arasında birbiriyle ilişkisi olabileceğini uygulamalar ile göstermişlerdir. Bu çalışmada FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) spektrum analizi de yapılmıştır [15].

Baykara (2009)'da, çalışmasında vites kutularında titreşim analizi ile arıza teşhisi ve durum izlemeye dayalı bakım uygulamalarını ele almıştır. Sistem üzerine çalışan belirlediği bir vites kutusundan titreşim ölçüleri alarak, bu ölçümler sonucunda bir dişli hasarı tespit etmiştir. Duruma dayalı izleme bakım uygulayarak şanzımanın ciddi bir şekilde arızalanarak plansız duruşa neden olmasının önüne geçilmiştir [16].

2. KESTİRİMCİ BAKIM VE KESTİRİMCİ BAKIM YÖNTEMLERİ

Araç muayene istasyonları yasal bir zorunluluk olan araç muayene hizmetini gerçekleştirmektedir. Bu hizmeti ise belirli yasal mevzuatlar çerçevesine gerçekleştirmektedir. Araç muayene istasyonlarının öncelikli amacı trafik ve araç güvenliğinin arttırılması ve müşterilerin memnuniyetinin sağlanması temel görevidir.

Araç muayenesinin belirli bir standarda kavuşması, araç kusurlarından kaynaklanan trafik kazalarının azalmasına ve trafik güvenliğinin aratmasına katkı sağlamaktadır. Araç muayene istasyonlarında kullanılan cihazların ve ekipmanların belirli periyotlarda bakım ve kalibrasyonlarının yapılması gerekmektedir. Ne kadar bakım yapılmış olsa da cihaz ve ekipmanlarda anlık arıza durumlar meydana gelmektedir.

Teknolojik gelişmelerinde artmasıyla endüstri alanında yaşadığımızda çağda özellikle gelişmekte olan ülkemizde birçok alanda iyi eğitilmiş ve yetenekli işçi yetersizliği ile karşılaşılmaktadır. İşletme sahipler ve yöneticiler bakım işlerinin sorunsuz yürütülebilmesi için yeteri miktarda bu alanda personel istihdam etmemektedir. Üretimde daha fazla işçi daha bir o kadar üretim düşüncesiyle bir yetenekli işçinin on yeteneksiz işçisinden daha iyi olduğu gerçeğini maalesef unutmaktadırlar [17].

Günümüzde, çok çeşitli bakım metotları her bir işletmede farklı uygulanan, bakım yaklaşımlarını 4 ana başlıkta toplayabiliriz.

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

Farklı bakış açıları ile bakım üzerindeki yapılan çalışma ve araştırmalar, bakım verimliliği konusunda elde edilen bulgularda, bakım için yapılan harcamaların 1/3'ünün gerek olmayan yedek parça değişimleri veya zamanında yapılmayan bakımdan kaynaklı meydana gelen israf göstermiştir [18]-[20].

2.1. BAKIM YAKLAŞIMLARI

2.1.1. Arıza Çıktıkça Bakım Yaklaşımı

Bu yaklaşımda makinelerde herhangi bir arıza durumunda müdahale edilen bakım yaklaşımıdır. Arıza çıkan makine parçasının bakımı yapıldıktan sonra arıza yapana kadar bakım yapılmayacağı için makinenin başka parçaları da arıza yapabilir. Bakım yaklaşımları içerinde en verimsiz yaklaşımdır [15].

Arıza çıktıkça yapılan bakım aslında arıza yapan parçanın daha önce bakım yapılmadan değişimi yapıldığı için bu yaklaşım bakım kapsamı dışında değerlendirmek daha doğru olur. Bakımdan ziyade arızalı parça değişimi yapılan bir uygulamadır.

2.1.2. Periyodik Koruyucu Bakım Yaklaşımı

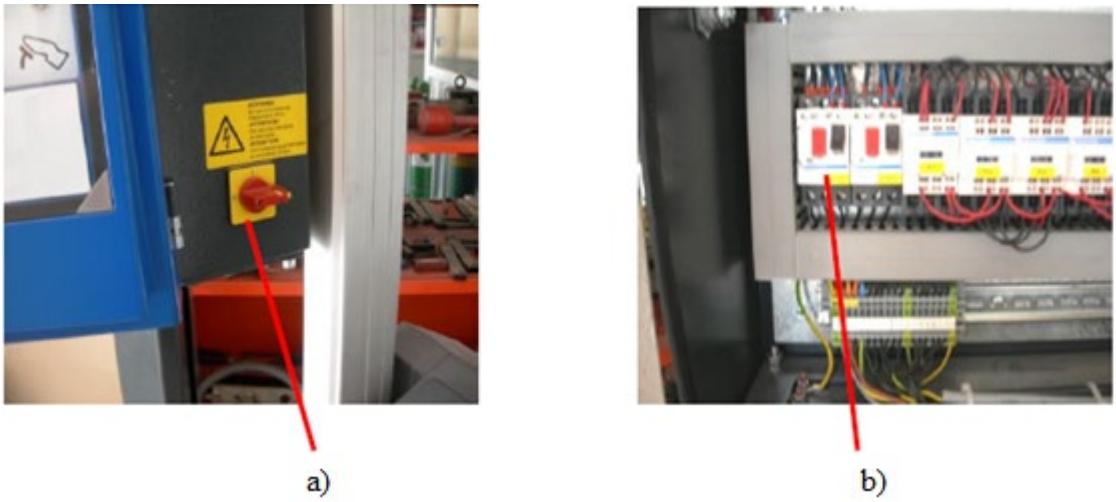
Makine parçalarının belirli periyotlarda bakımları yapılarak parçaların arızalandığında parça değişimi yapılarak uygulanan bir yaklaşımdır. Araç muayene istasyonlarda genellikle periyodik - koruyucu bakım yaklaşımı uygulanmaktadır. Fren test cihazlarının günlük ve aylık periyodik bakımları yapılması gerekmektedir.

Makine ve ekipmanların ne zaman periyodik olarak bakım yapılacağı, makine ve ekipmanları satan firmalar tarafından verilen kılavuz/kitapçıklardaki bilgilendirmenin yönlendirilmesi ile planlanmaktadır. Arıza ile karşılaşma olasılığını en aza indirmek için bakım periyotları kısa tutulmaktadır. Bu bakım yaklaşımının olumsuz tarafları ise ömrünü tamamlamamış parçaların gereksiz değişimi, bakım için makinelerin sıkça durdurulması, bakım esnasında kendiliğinden oluşan bazı ayarlar ve parçaların arızalanması veya yapılan bir ayarlama veya montajın bir sonraki bakım tarihinden önce arızaya neden olması. Meydana gelen bu olumsuz durumlar zaman kaybı yanında bakım maliyetlerini arttırmakta, hizmet ve iş gücü kaybına neden olduğundan işletmelerde, araç muayene istasyonlarında önceden programlanan çalışmaların aksamasına sebep olmaktadır [1].

2.1.2.1. Araç Muayene İstasyonu Hafif Araç Fren Test Cihazı Periyodik Koruyucu Bakım Talimatı

Bakıma başlamadan önce analog gösterge panosu üzerine cihazda bakım yapıldığını gösteren uyarı levhasını koyunuz. Analog gösterge üzerindeki Şekil 2.1'de ki ana şalteri kapalı konuma, motor koruma şalterlerini stop konumuna getiriniz [52].

Şekil 2.1’a da ana şalter, gösterge paneli yan tarafındadır. Şekil 2.1’ b de motor koruma şalteri analog gösterge panosunun iç bölümündedir [52].



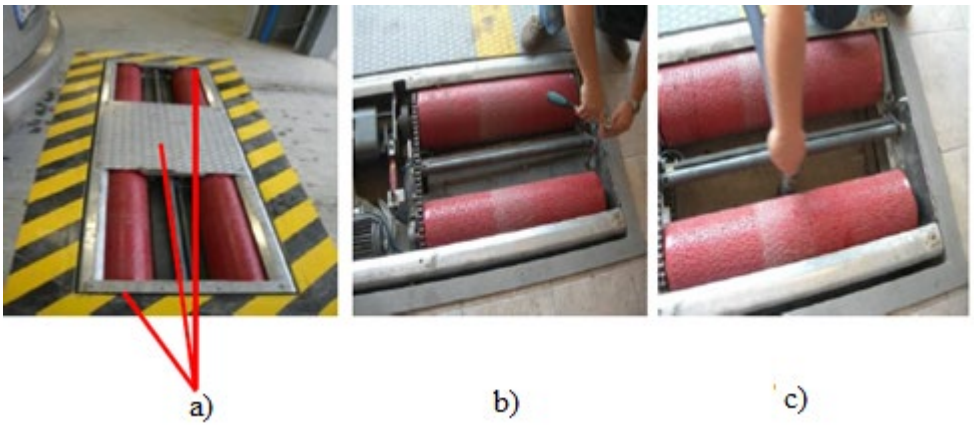
Şekil 2.1. a) Ana şalter b) Motor koruma şalteri.

Günlük bakım

- Ekipmanlarının genel kontrolü ve gerekli ise temizliği yapılır.
- Rulo seti üzerinde toz, toprak kalıntısı varsa çizmeyen fırça ile temizlenir.

Haftalık bakım

- Ruloların alt bölümlerinin temizliği yapılır. Üst bölümdeki kapaklar ve ruloların ortasındaki kapak 13 açıkağız anahtar ile açılır, zemin üzerindeki toz, toprak vb. kalıntılar basınçlı hava ile temizlenir [52].

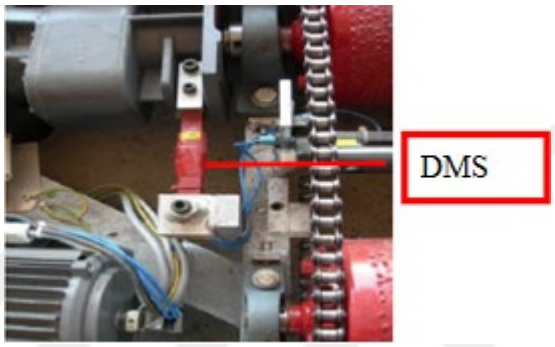


Şekil 2.2. a) Binek fren test cihaz rulo kapakları b) Rulo temizlik noktaları c) Rulo temizlik noktaları.

Bu temizlik esnasında kesinlikle su kullanmayınız, sac plakanın altındaki elektrik ve elektronik devrelere dokunmayınız [52].

- Zincirin yağ durumu ve gerginliği kontrol edilir (parmak ile basıldığında 1-2 cm esneme payı olmalı), gerekli ise yağlama ve gerginlik ayarı yapılır [52].

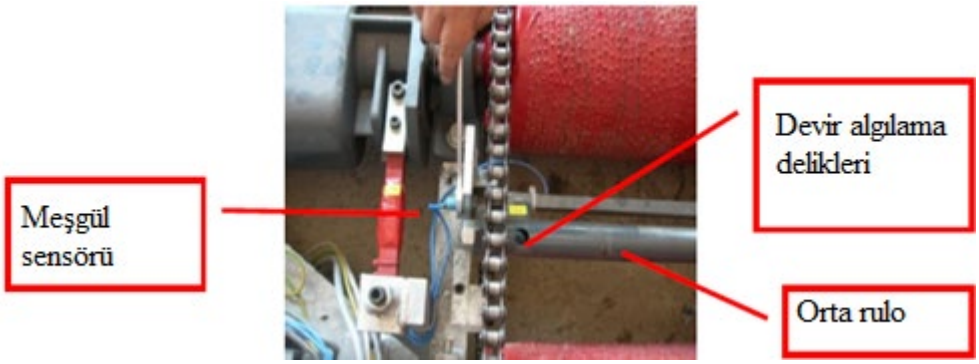
- Şekil 2.3'te gösterilen DMS (Fren Kuvvet Ölçer) in bağlantısı yukarı aşağı sallanarak kontrol edilir (1-2 mm'lik boşluk olmalı), fazla boşluk varsa veya hiç boşluk yoksa 24 kombine anahtar ve 8 altı köşe anahtar ile gerekli ayarlama yapılır [52].



Şekil 2.3. Binek araç fren test cihaz DMS (Fren kuvvet ölçer).

- Ruloların üzerine araç bindiğini algılayan sensörün (meşgul sensörü) orta ruloya olan mesafesi (1-2 mm olmalı) kontrol edilir. Mesafe fazla ise 17 açıkağız anahtar ile ayarlama yapılır. Sensör ayar cıvataları plastik olduğundan fazla sıkıştırılmamalıdır [52].

- Şekil 2.4'te orta rulonun üzeri, devir algılama deliklerinin altında bulunan sensör ve meşgul sensörü temizleme spreyi ile temizlenir [52].



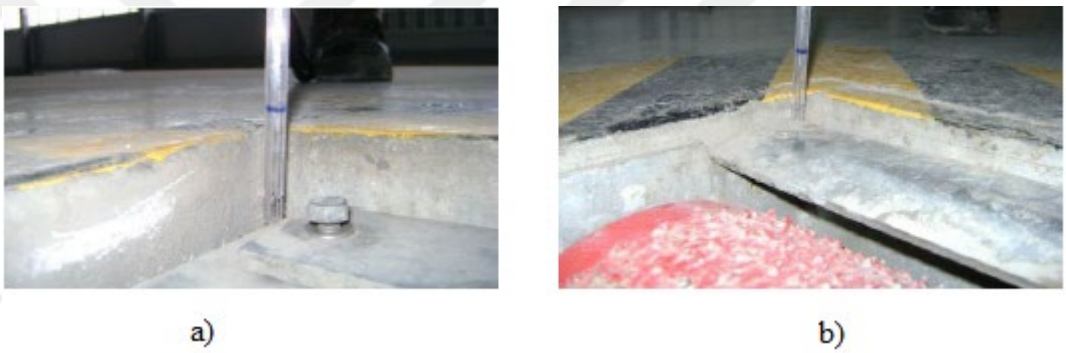
Şekil 2.4. Orta rulo devir algılama delikleri ve meşgul sensörü.

- Temizlik sonrasında ruloların ortasındaki su gideri kontrol edilir. Kemirgen hayvanların içeri girmemesi için tel kapak koyunuz.

- Şekil 2.5'de cihazın üzerine ayak ile basarak dengesizlik olup olmadığı kontrol edilir.

Şekil 2.5. Binek fren test cihaz denge kontrolü yapılacak noktalar.

- Şekil 2.6'da cihazın zemin ile olan mesafesi kontrol edilir. Aşırı çökme varsa müdahale edilmelidir [52].



Şekil 2.6. a) ve b) Binek fren test cihaz kasası zemin ile kontrol noktaları.

Temizlik ve yağlama

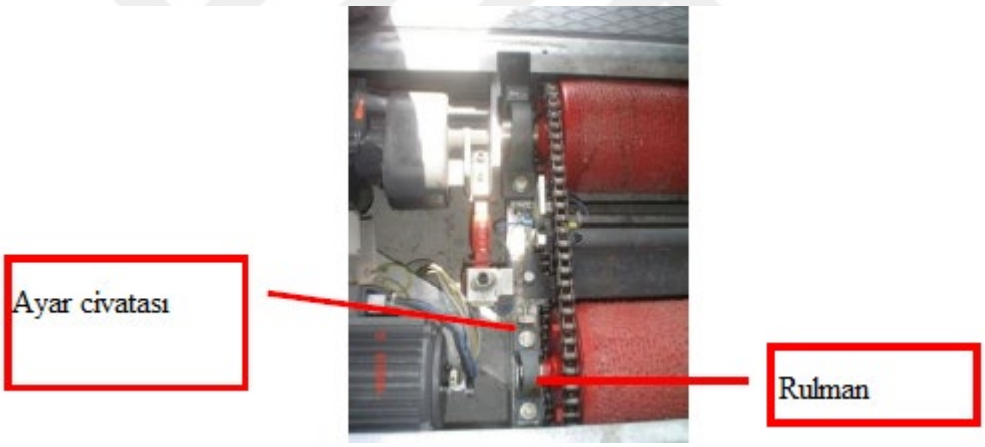
a. Cihazın üst bölümündeki kapak 13 açıkağız anahtar ile açılır.
b. Diğer ekipmanlara zarar vermemek için zincirin altına karton, bez vb. malzeme ile koruma önlemi alınır.
c. Zincire yağsız temizleme spreyi sıkılır ve 10 dk. beklenir.
d. Temiz bir bez ile zincir temizlenir.
e. Sprey gres ile zincir yağlanır. Gresi zincire iyice yedirmek için rulolar el ile birkaç tur çevrilerek yağlanır. Şekil 2.7'de temizlik ve yağlamada dikkat edilecek yer kartı gösterilmiştir [52].

Şekil 2.7. Binek araç fren test cihaz temizliğinde dikkate edilecek yer kartı.

Temizleme spreyinin ve sprey gresin diğer ekipmanlara (özellikle yer kartına) temas etmemesine Şekil 2.8'de gösterildiği şekilde özen gösteriniz [52].

Tambur zincir gergi ayarı

a. Ayar cıvatasının bulunduğu rulman 17 kombine anahtar ile gevşetilir.
b. Ayar cıvatası, zincir uygun gerginliğe ulaşana kadar 17 açıkağız anahtar ile sıkılır [52].



Şekil 2.8. Binek araç fren test cihaz ayar cıvatası ve rulman.

2.1.3. Kestirimci Bakım Yaklaşımı

Bu yaklaşımda çalışır halde iken makinelerin duruma dayalı gözleme yöntemi yapılarak makinelerdeki durum izlemeleri düzenli ve planlı bir şekilde kayıt altına alınarak makinelerin ne zaman arıza yapabileceği yapılan analizler sonucunda tahmin edilmektedir. Amaç makinelerin durumları izlenerek arıza oluşmadan sistem durmadan yapılan analizler sonucunda tespit edilen planlı bakım periyotları içerisinde yapılan bakımlardır.

2.1.4. Pro-Aktif Bakım Yaklaşımı

Makinelerde oluşan arızaların kök nedenleri tespit edilerek arızaya neden olan nedenleri ortaya konulması ile yapılan bakımdır. Örneğin arızayı oluşturan sebeplerden gerilme, dengesizlik, eksenel kaçıklık vb. problemlere uygun ekipman kullanılarak sürekli tekrarlayan bir problemi, sürekli tespit etmek ve tespit edilen arızayı gidermek arızanın meydana gelmesini önler. Dengesizlik makinelerde görülen an fazla titreşim durumudur. Bu bakıma örnek olarak balans alma işlemi ve lazerli kaplin ayarı verilebilir [22], [36].

2.2. KESTİRİMCİ BAKIM

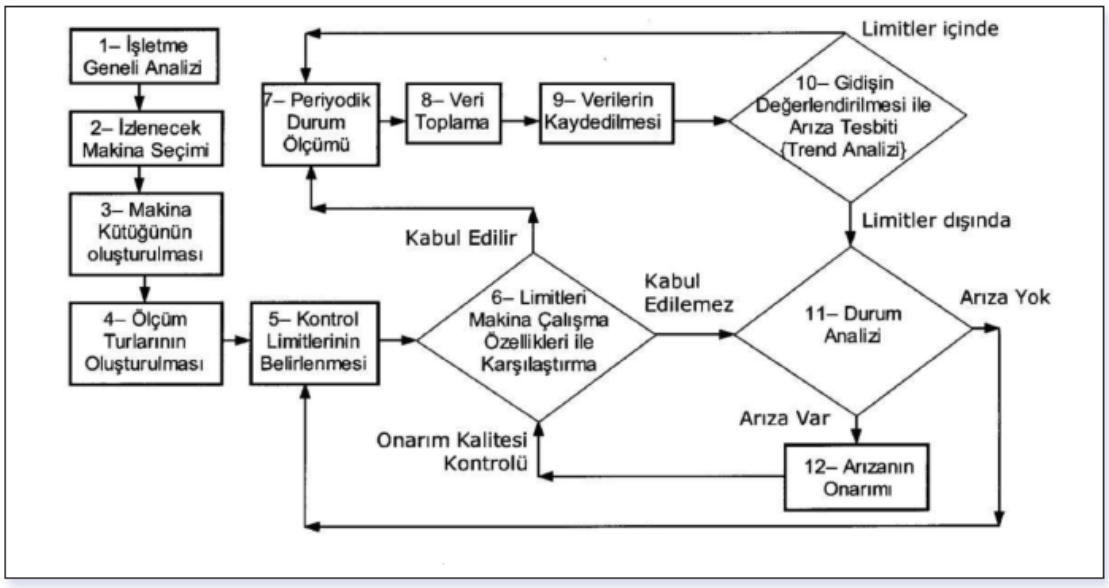
Bu yöntem, makine veya cihazların devamlı izlenmesi, işlem görme şartlarının ve bunların zamanla gelişiminin analiz edilmesini kapsar. Makine durumunun izlenmesi için başvurulan uygulamadır. Süreli ve belirli aralıklarla makine durumları gözlemlenerek devamlı ölçüm yapılarak tespit yapılır. Yapılan ölçüm ve kontrollerin neticesine göre hizmeti veya üretimi etkileyen arızanın meydana gelebileceği zaman öncesinde tahmin edilir. Bu verilere göre yapılacak plana göre makine veya cihazların bakım aralıkları belirlenir. Elde edilen veriler, analiz edilerek arızanın kaynağı ve gelişimi öğrenilir. Bu yöntem, üretimin ve hizmetin aksamaması için genellikle makinaların en yüksek verimlerde kullanılması, beklenmeyen arıza duruşlarının önlenmesi sağlanır.

Kestirimci bakımın diğer bakımlara göre birden fazla üstünlükleri vardır. Dünyada endüstri alanında gelişmiş ülkelerde bu bakım yönteminin önemli faydaları görülmüştür. Bu bakım faaliyetinin uygulandığı işletmelerde bakım onarım maliyetlerinde %50-80, yedek parçaya olan ihtiyacının %30 oranında azaldığı, sonuç olarak işletmelerin net karının %20-60 arasında arttığı tespit edilmiştir [23], [24]. Bu bakımın işletmeler nezdinde ekipman ve personel eğitimlerinin işletmelere mali bir yük getireceği düşünülürse kestirimci bakımın uygulandığı işletmelerde yapılan toplam yatırım oranın beş katını yaklaşık iki ya da üç senede işletmeye geri kazandırması beklenmektedir [25].

Son 30 yılda kestirimci bakım faaliyetini uygulayan özellikle batılı gelişmiş ülkelerde çok fazla kullanıldığından üretim maliyetlerinde azalma, karlılıkta ise artışların olduğu ortaya konulmuştur. İşletmelerde bakımdan kaynaklı zaman kayıpları bile işletmelere uzun vadede ve sistemsel sakıncalar bakımından kullanılmasının gerekliliği ortaya

koyulmuştur. Örnek sektör olarak elektrik santralleri, çimento, kâğıt, cam ve petro-kimya gibi tesisler bu tip sektörlere örnek gösterilebilir. Genellikle bu yöntemin başlaması ve gelişmesi bu tip tesislerde olmuştur. Fakat kestirimci bakım günümüzde çoğu sektörde tercih edilmekte ve sıklıkla olarak kullanılmaktadır [26].

Bu bakım yönteminin dezavantajı, arızalı ekipmanın hatalı değerlendirilmesinden dolayı bakım işlerinin artması sayılsa bile bu durumda eğitimle ve tecrübe kazandıkça azalır ve zamanla ortadan kalkar [27].



Şekil 2.9. Kestirimci bakım yöntemi akış şeması.

Kestirimci bakımda yapılan duruma dayalı izleme ile elde edilen veriler devamlı bir önceki veriler ile karşılaştırılarak arızanın hangi durumda meydana geldiği konusunda bilgi vermektedir. Elde edilen bu bilgiler uygulayışının da tecrübesine göre veriler analiz edilerek makine ve cihaz için en ideal periyodik bakım aralığı belirlenmektedir. Titreşim analiz sonucu elde edilen veriler bilgisayara aktarılarak belirli ulusal veya uluslararası standart limit değerler ile karşılaştırılarak veya sistemde kurulmuş uyarı otomasyon sistemi ile takip edilebilir.

Kestirimci bakım üç aşamalı olarak uygulanmaktadır. Bunlar;

1. Tespit (Ölçüm),
2. Teşhis (Analiz),
3. Bakım-Onarım.

2.2.1. Kestirimci Bakım Aşamaları

2.2.1.1. Tespit (Ölçüm)

Bu aşamada analiz ve ölçme işleminin yapılacağı önemli noktalar belirlenir. Gerekli ölçümlerin yapıldığı aşamadır. Ölçüm almadan önce arıza yapabilecek makinelerin öncelik sırasına göre belirlenir. Durumu acil olmayan makineler aylık, haftalık ve günlük sürekli takip edilerek oluşan arızanın varlığı kestirimci bakımın ilk aşaması ile ortaya çıkarılır.

2.2.1.2. Teşhis (Analiz)

Titreşim ölçüm yeri belirlenerek veriler takibi yapıldıktan sonraki aşama olan teşhis aşamasında, makine veya cihazlardan alınan titreşim verileri analiz edilmesi aşamasıdır. Bu aşamada arızaya neden olan durumun keşfedildiği aşamadır. Önemli noktalardan alınan titreşim ölçülerinin frekans tabanındaki genlik grafikleri alınır ve titreşim genliğindeki artış nedeni, diğer bir ifadeyle arızanın sebebi (dengesizlik, balanssızlık, eksen kaçıklığı, kayış-kasnak mekanizması hasarları, rulman kusurları vb. arızalar) arızanın nereden kaynaklandığı incelenir.

2.2.1.3. Bakım Onarım

Makine veya cihazlarda arıza teşhisi yapıldıktan sonra yapılacak bakım/onarım planı uygulanır. Yapılan plan dahilinde bakım-onarım personeli planlı bir zaman içerisinde gerekli malzeme, teçhizat ve yedek parçalar ile birlikte ilgili makineye müdahalelerde bulunarak kısa sürede ve planlı bir şekilde arızayı gidermiş olurlar.

2.2.2. Kestirimci Bakım Yöntemleri

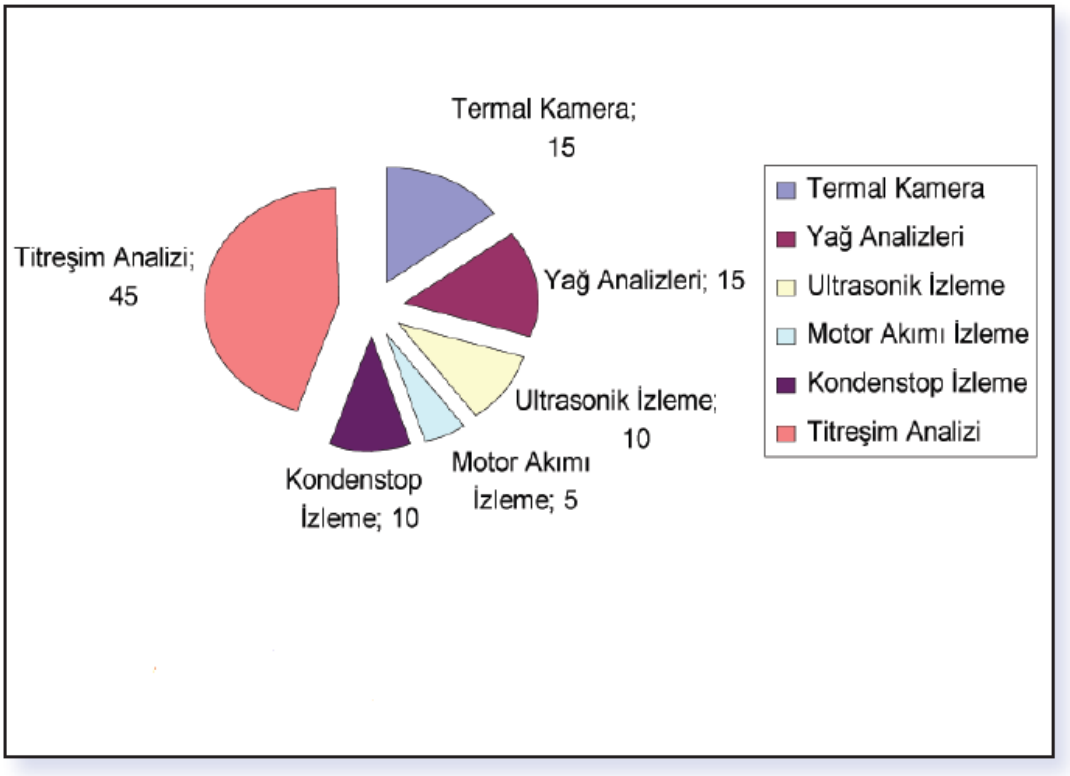
Kestirimci bakım işletmelerde uygulanabilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmalıdır. Bu yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz:

1. Kızıl Ötesi Termografik (Termal kamera ile izleme)
2. Yağ Analizleri
3. Ultrasonik İzleme
4. Motor Akımı İzleme
5. Kondenstop İzleme
6. Titreşim Analizi

Bu yöntemler arasında birini ve birkaçını işletmeye uygulayarak kestirimci bakım programı oluşturulabilir [28], [29].

2.2.2.1. Kızıl Ötesi Termografik (Termal Kamera İle İzleme)

Kestirimci bakım yöntemleri içinde önemli bir yer tutmaktadır. Birçok mekanik ve elektriksel arızanın önceden yakalanmasına yardımcı olur.



Şekil 2.10. Kestirimci bakım yöntemlerinin tercih edilme oranları.

2.2.2.2. Yağ Analizi

Bu yöntemde yağlamanın önem arz eden hareketli makine parçaları arasında sürtünen yüzeyler üzerindeki yağın analiz edilmesi ile yağın fiziksel ve kimyasal durumu kontrol edilerek makine arızaları hakkında yorum yapılan önemli bir duruma dayalı bakım yöntemidir.

2.2.2.3. Ultrasonik İzleme

İşletmelere kazanç sağlayan bu yöntem kestirimci bakım yöntemlerinde önemli bir yeri vardır. Bu yöntem kullanılarak basınçlı hava kaçakları tespit edilir, kondestopların (buhar kapanı) çalışma testleri yapılabilir, rulmanların yağlama ve hasar durumlarının kontrolleri yapılabilir, tesisatlar da kalınlık ölçülmesi, korozyonun tespiti yapılabilir [13].

2.2.2.4. Titreşim Analizi

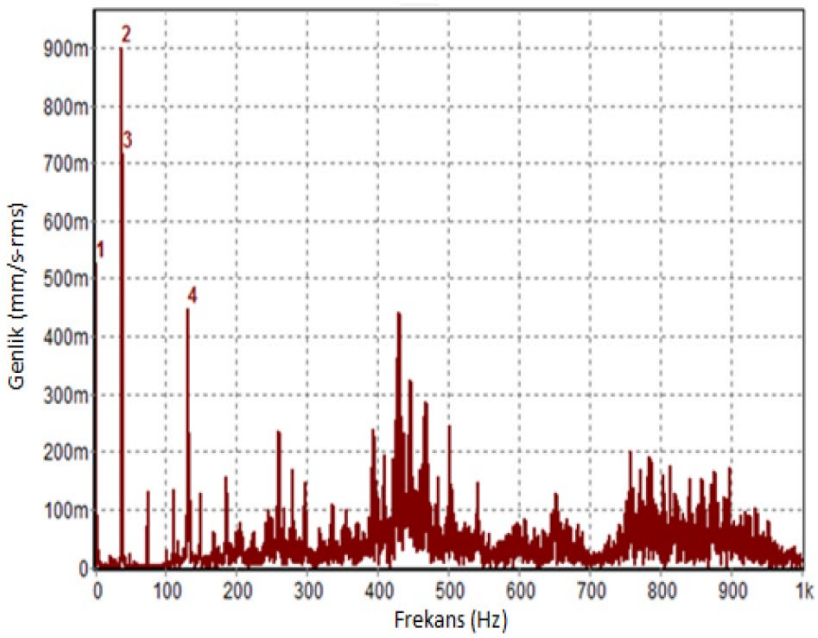
Kestirimci bakım yöntemlerinde en fazla kullanılan ve en hızlı sonuç alınabilen yöntemdir. Bu yöntemde, makine ve cihaz hakkında firma etiketinden çalışma bilgileri ve ortam durumları hakkında bilgi genel bilgileri edindikten sonra elde edilen titreşimleri elektrik sinyaline dönüştüren alıcı yardımı ile makine üzerinden dönen yatakların yakınından ölçümler alınır. Alınan bu ölçüm verileri elektrik sinyalini işleyen bir bilgisayara aktarılır. Daha sonra bu bilgiler grafiklerle bir analiz yazılımı ile bilgisayarda analiz edilerek, makineler hakkında bir neticeye ulaşılır.

Makinelerin dönen parçalarında arıza tespiti yaparak makinenin durumu hakkında bilgi toplanır. Makinelerin sürekli ve önem durumuna göre titreşim ölçümleri alınarak analiz yapılabilir.

Duruma dayalı izlemede titreşim analizi yaparken makinalarda birden çok arıza ile karışılabilir. Bunlar arasında balanssızlık problemleri, mekanik gevşeklik problemleri, eksenel ayarsızlık problemleri, rulman arızaları, kayış kasnak problemleri, dişli problemleri, mil eğrilikleri, yatak aşınmaları, kavitasyon, yağlama problemleri, şase ve ankraj zayıflıkları titreşim analizi ile bulunur. Makinelerde oluşan bu olumsuz durumların tespitinde alınan titreşim verilerinin analizini detaylı ve doğru yapılması doğru tespit yapılmasını sağlar. Bu nedenle bunun dışındaki bakım yöntemlerinden daha fazla tecrübenin istendiği bir bakım yöntemidir.

2.2.3. Titreşim Ölçümünde Spektral Analiz

Titreşim ölçümlerine dayalı hata tespitinde en fazla kullanılan yaklaşım frekans tanım bölgesi (spektral analiz) olup, spektral analizi yapmak için kullanılan frekans spektrumu, titreşim seviyelerini frekansın fonksiyonunu Şekil 2.11'deki gibi gösteren grafik olarak tanımlanmaktadır [30].



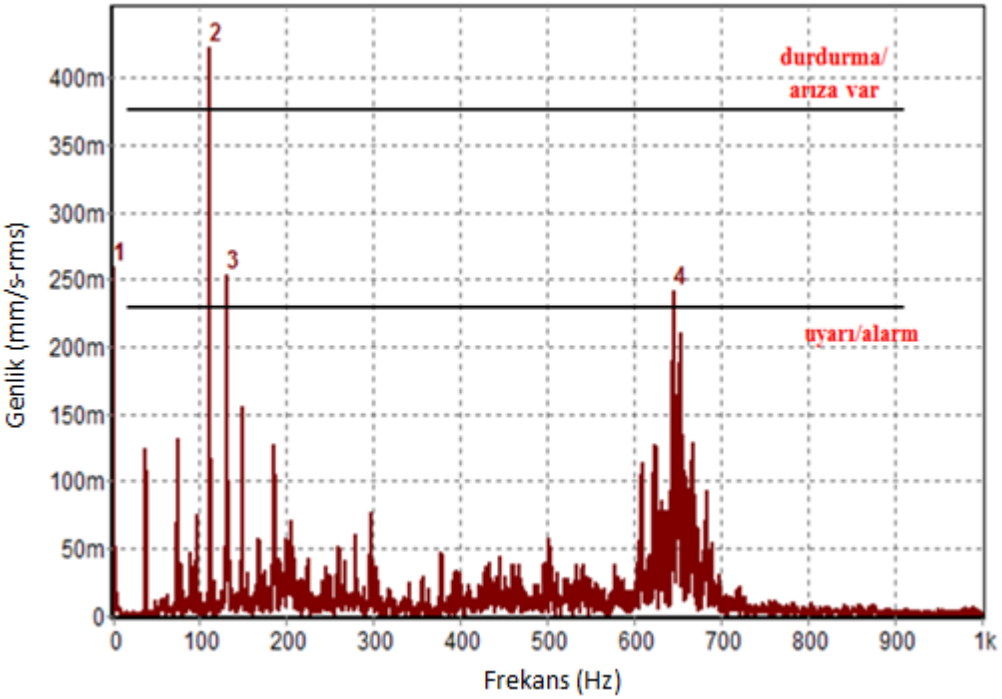
Şekil 2.11. Örnek bir frekans spektrum grafiği.

Analiz yaparken titreşim spektrumunu iyi bilmek gerekir. Frekans spektrumu makinenin veya mekanik bir sistemin parmak izini gösterir. Makinelerden alınan titreşimler makineye ait olağan ve olağan dışı titreşim spektrumlarını gösterebilir. Mekanik sistemin, makinelerin sorun olmadan çalışmaları için limit değerlerinin standartlarını belirlemede, frekans ve genlik değerlerinin takibinde bu titreşim spektrumlarının incelenmesi ile olacaktır.

Kestirimci bakımda makinelerde belirli periyotlarla sürekli izleme yapılarak veri alınmaktadır. Alınan veriler bir önce alınan spektrum verileri ile karşılaştırılır. Titreşimlerde artma, azalma var mı, bu artışlar kritik seviyelere ulaştı ise makine arıza vermeden makine planlı olarak akıma alınır. Bu şekilde makinelerin plansız duruşları önlenmiş ve erken önlem alınmış olunur.

İşletmelerin çalışma koşullarında ani, büyük değişimlerin beklendiği ve bulunduğu ortam için kritik risk seviyesi yüksek nitelendirilen makinelerin kontrolü için bilgisayar destekli sistemler ile sürekli izleme ve analiz sistemleri kullanılmalıdır. Bu sistemler işleyişi durduğunda büyük mali kayıplara neden olabilecek sektörlerde kullanımı yaygındır. Örnek sektörler içerisinde petrokimya, enerji ve demir çelik verilebilir. Gaz tribünü ile çalışan askeri gemilerde kullanılan sistemlerde makinelerden toplanan veriler anlık takibi yapılarak, bu veriler ulusal ve uluslararası standartlarda veya makine üreticisinin belirlediği limit değerlerin üzerine çıktığında sistem uyarı vererek sistem

kendiliğinde durdurma emniyetine almaktadır. Daha sonra makineye gerekli müdahalenin yapılması ile gerekli önlemin alınması sağlanmaktadır. Diğer makinelere zarar vermeden güvenli bir şekilde durdurulması sağlanır. Örnek olarak Şekil 2.12'de sistemin temsili gösterimi verilmiştir. Araç muayene istasyonlarında ise binek ve ağır vasıta fren test cihazlarının rulmanları için kullanılacaktır. Nedeni ise araç muayenede araçların fren testleri yapılırken beklenmedik, plansız bir şekilde fren test cihaz rulmanları hasar görebilmektedir.



Şekil 2.12. Titreşim seviyeleri ve uyarı-durdurma emniyet sistemi.

2.2.4. Titreşim Analizi ve Ölçümleri Tanımı

2.2.4.1. Titreşim ile İlgili Temel Kavramlar

Tanım olarak titreşim, bir nesnenin bir odak noktasına göre doğal pozisyonundan değişik genlik ve periyotlara geçerek, tekrar eden yer değiştirmelere denir. Titreşimi, hareketten ayıran ise sürekli ve bir çevrim şeklinde olmasıdır [15].

Hareketin kendini tekrar ettiği zaman aralığı periyot olarak adlandırılır. Verilen olayın bir birim zaman içindeki devir sayısına frekans denir. Bu iki kavram titreşim ölçümünde ve analizinde temel iki kavramı ifade eder [15].

Frekansı tanımı iki maddede ifade edebilir. Birincisi titreşimin saniyedeki tekrarladığı miktarıdır ve birimi hertz (Hz)'dir [19]. İkincisi ise titreşimin dakikada tekrarlama miktarıdır ve birimi RPM (revolution per minute) yani n(d/d) devir/dakika'dır. Frekans

ile periyod arasındaki bağıntı Denklem 2.1'de verilmiştir [15].

$$f = 1/T \tag{2.1}$$

n/60 = Hz eşitliği ile dönüşüm yapılabilir.

Basit Harmonik Salınım

Titreşimlerin içerisinde en basit olanı, harmonik titreşimdir [19]. Meydana gelen tüm harmonik hareketler tekrarlanan hareketlerdir fakat bunun zıttı her zaman geçerli değildir. Titreşim meydana gelmesi için ihtiyaç duyulan kuvvetlerin seviyesi, titreşimin şiddetini ifade eder. Bu kuvvetlerin büyüklüğü ne kadar seviyesi fazla olursa titreşimin yer değiştirme miktarı ya da titreşimin genliği o oranda seviyesi büyük olur [15].

Deplasman

Başlangıç noktasından devam ederek maksimum seviyesine ulaşan ve tekrar başlangıç seviyesine gelmesi ile meydana gelen yer değiştirme miktarına deplasman denir. Birimi mm ya da mikron şeklinde ifade edilir. Titreşim ve zaman arasındaki ilişki Denklem 2.2'de verilmiştir [15].

$$X = X_0 \, sin(\omega t) \tag{2.2}$$

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

Hız

Kütle hareket etmesi oluşan titreşim ile birlikte kütle seyir hızı sıfırdan maksimuma doğru değişiklik gösterir [13]. Burada kütlenin hızı, deplasman denkleminin zamana göre türevinin alınması ile elde edilebilir [15].

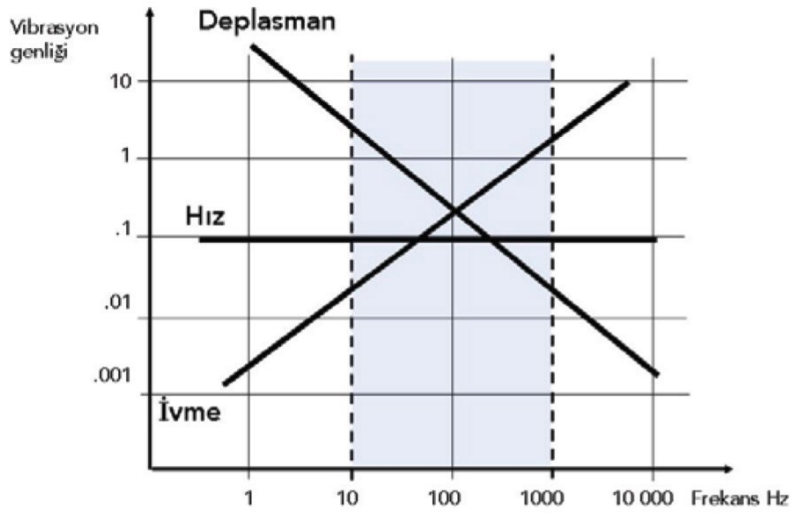
$$a = \frac{dV}{dt} = X_0 \, \omega^2 \, sin(\omega t) \tag{2.3}$$

Genlik; deplasman, hız ve ivme birimi olarak ifade edilir.

Ölçümlerde üç biriminden hangisinin kullanılması gerektiği önemlidir. Nedeni ise bu birimlerin kendi içerisinde artı ve eksileri mevcuttur [19]. Örnek olarak aşağıdaki durum gösterilebilir [15].

Şekil 2.13'de deplasman birimi düşük devirli makinelerde tercih edilebilir. Mesela 10

Hz'den küçük devirli (600 d/d) makinelerde kullanılmalıdır. Çünkü 10 Hz'den küçük devirli makinelerde titreşim enerjisinin çoğunluğu küçük frekansta görülür. Yüksek devirli makinelerde ise İvme birimi kullanılır [15].



Şekil 2.13. Genlik ve frekans grafiği.

İvme, 1000 Hz ve üzeri makinelerde kullanımında daha anlaşılır ve yorum yapılması kolaylaşır. Hız ise Şekil 2.13'de görüleceği üzere her türlü frekans aralığında kullanılabilir ve verimli sonuçlar elde edilir. Hız her türlü ölçümde çoğu kullanılan bir genlik birimidir. Yapacağımız ölçümlerin ve değerlerin sağlıklı olabilmesi için hangi birimi seçeceğimiz çok önemlidir. Doğru birimi kullanmazsak yapacağımız ölçümler sonucu analizlerimiz hatalı olabilir [15].

Titreşim Genlik Değerleri

Titreşimimin şiddeti olan genlik; tepe değer, tepeler arası değer, RMS ve ortalama şeklinde dört maddede ifade edilebilir [29].

Tepe Değer

Sıfırdan tepe noktasına olan mesafe veya titreşim sinyalinin bir noktada eriştiği en yüksek mesafe değeridir [29]. Bu değer X_0 değeridir. Titreşimin hızının veya ivmesinin genlik değerini ifade için kullanılır [19].

Tepeler Arası Değer

Titreşim sinyalinin en yüksek ve en düşük tepe noktaları arasındaki mesafenin aldığı değer olarak ifade edilir. $2X_0$ değeridir. Titreşimin deplasmanı ifade eder [29].

RMS (Root Mean Square)

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

Ortalama

Bir sinyalin t_1-t_2 zaman aralığında aldığı değerin aritmetik ortalamasıdır. Önceki konularda da bahsedildiği üzere genlik değerlerinin birimleri; yer değiştirme, hız, ivme birimlerinden herhangi biri olabilir. Genlik değerlerini kendi içlerinde birbirine dönüştürülebilir [29].

Ortalama = 0,637 x Tepe

Ortalama = 0,9 x RMS

Tepeden Tepeye = 2 x Tepe

Tepe = 1,414 x RMS

Tepe = 1,57 x Ortalama

RMS = 0,707 x Tepe

RMS = 1,11 x Ortalama

Kestirimci bakımın temelini oluşturan bu çalışmalar titreşim analizi ile yapılan analizlerin anlaşılır ve doğru olması hakkında tahminlerde bulunmamıza olanak tanır. Özellikle döner makinelerde; elektrik motorları, fanlar, pompalar, kompresörler, fren test cihaz tamburların gövdelerinden veya yatakların en yakın bölgelerinden elektronik algılayıcılar vasıtasıyla veriler elde edilir [13].

3. RULMAN

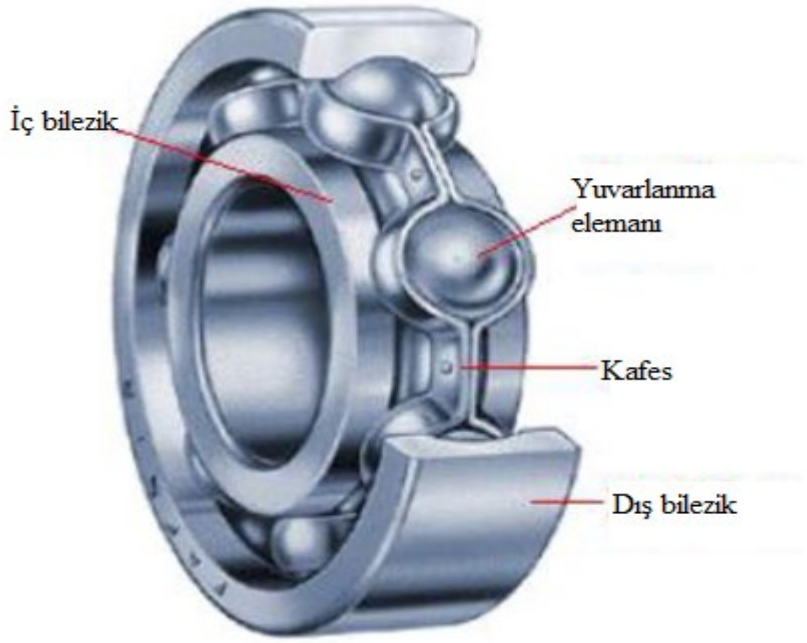
Rulmanların ihtiyaç haline gelmesi tekerleğin icadı sonucu ve geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır. Eski çağlarda tekerleğin icat edilmediği zamanlarda insanlar ağır cisimleri bir yerden bir yere taşıyacakları zaman silindirik ağaç vb. materyaller kullanıyorlardı. Böylece hayatı yuvarlanma hareketi kolaylaştırması ile enerji tasarrufu sağlamıştır. Tarihte bilinen ilk rulman kalıntıları 1930 yılında yapılan çalışmalarda Roma İmparator Caligula döneminden kalan Nemi Gölü (İtalya)'ndeki ve MS 40'lı yıllara ait olduğu belirlenen gemi kalıntılarında rastlanmıştır [32]. Daha sonraki tarihlerde, Leonardo da Vinci'nin MS 1500'lü yıllarda helikopter dizaynı için kullandığı bir rulmanın resmine de rastlanmakta olup, ilk rulman patenti Philipe Vaughen tarafından 1794 yılında alınmıştır. Tarihsel süreçte teknolojinin de gelişimi ile rulmanlar insanoğlunun kullanıma başlasa da 20. yy'a kadar rulmanlar çok da verimli olarak kullanılmamışlardır.

Rulmanlar iç ve dış bileziklerin arasındaki yuvarlanma elemanının (bilye) dönmesiyle en az sürtünme ve enerji kaybı ile iş yapabilen dönerli makine elemanıdır. Rulmanlarda meydana gelebilecek hasarlar işletmelerin üretim ve hizmetinin aksamasına bazen de durmasına neden olabilmektedir. İşletmelerin üretim ve hizmetinin aksaması veya durması işletmeler için istenmeyen bakım – onarım maliyetlerin artmasına, zaman kaybına ve hizmet sektöründe müşteri memnuniyetsizliğine neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayıdır ki rulman arızalarının arızalanmadan önce tahmin edilmesi üretim veya hizmetin aksamasının veya durmasının önüne geçile bilinmektedir. Rulmanlardaki hatalar üretimden kaynaklı hatalarda meydana gelmektedir.

Rulmanların çalışma sürelerini çalışma esnasında maruz kaldıkları titreşimler belirlemektedir. Rulmanlar üzerinde yapılacak titreşim ölçümlerinde, rulmanın çalışma örü, bakım periyodu ve rulmanın değişip değişmeyeceği tahmin edilerek karar verilebilir. Her ne kadar rulmanlara iyi bakım tutum ile rulmanların kullanım ömürlerine ulaşabilecekleri hedeflense de, çalışan rulmanların sadece %10-20'lik tasarımda planlanan çalışma ömrüne ulaşabildiği gerçeği ile karşılaşılmaktadır [31].

3.1. RULMAN ELEMANLARI

Şekil 3.1'de gösterildiği üzere rulman temel 4 elemandan oluşmaktadır [33].



Şekil 3.1. Rulman elemanları genel görünüşü.

3.1.1. İç Bilezik

Rulmanda dönme hareketini yapan, mil üzerinde bulunan elemanıdır. Rulman çeşitlerine göre konik veya silindirik olabilmektedir. İç bilezik milin döndüğü hızda dönmektedir. Yuvarlanma elemanı (bilye), yataklık ettiği kısım bilyenin yapısına göre değişik tiplerde tasarım yapılmaktadır [1].

3.1.2. Dış Bilezik

Rulmanın dönme hareketi yapmayan, milin yatağına monte edilen elemanıdır. Bilyeye yataklık eden kısmı değişik yuvarlanma elemanı (bilye) tasarımlarına göre yatak tasarımları olabilmektedir [1].

3.1.3. Yuvarlanma Elemanı (Bilye)

İç ve dış bilezik arasında bulunan asıl dönmeyi sağlayan elemandır [1].

3.1.4. Kafes

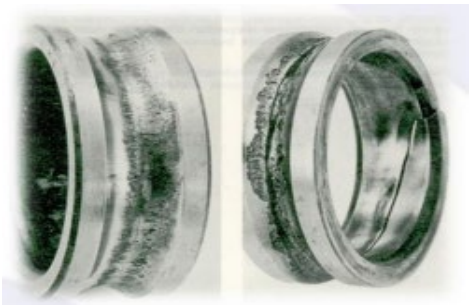
Yuvarlanma elemanlarını beraber eşit mesafelerde, birbirlerine dokunmadan etmeden ve bir arada tutan elemandır [1].

3.2. RULMAN HASARLARI

Rulmanların uzun ömürlü, kullanım sürelerinin fazla olması istenmekle birlikte karşı karşıya kaldıkları yük, ortam sıcaklığı, yetersiz ve aşırı yağlama, çalışma yerinin temizlik durumu, eksenel bozukluklar, hatalı depolama ve montaj, yorulma ve kirlenme gibi etkenler rulman ömrünün azalmasına etki etmektedir [29]. Sayılan bu etkenler rulmanın ömrünün azalmasında en önemli etkenlerdir. Rulman ömrünün uzaması ve olası ani durmaların önüne geçebilmek adına duruma dayalı izleme yöntem kullanılarak rulmanların uzun ömürlü kullanılmaları sağlayacaktır.

Rulman hasarları ilk belirtileri bilezik yüzeylerinde ve yüke maruza kalan bölgelerde görülmektedir. Bu belirtiler aşınma ve oyuklar şeklinde olmaktadır. İlk etapta bu belirtiler rulman çalışmasını olumsuz etkilemese de hasarın başlangıcı olmasının sinyalini vermektedir. Rulmanlarda dalgalılık, düngünsüzlük, pürüzlülük, dengesizlik, eksen kaçıklığı, radyal boşluk vb. dağınık kusurlara rastlanıldığı gibi, bilye ve yuvarlanma yüzeylerinde oluşan çentik, çatlak, çukur ve metal parçacıkları gibi bölgesel kusurlara da rastlanmaktadır [25].

Şekil 3.2'de sabit bilyeli rulmanın iç bileziğinde soyulma (pitting) ve sabit bilyeli bir rulmanın iç bileziğinin normal malzeme yorulmasının son durumunda kırılması görünmektedir [34].



a) b)

Şekil 3.2. a) Sabit bilyeli rulman iç bileziğinde soyulma b) İç bileziğin malzeme yorulması sonucu kırılması.

3.2.1. Rulman Hasar Aşamaları

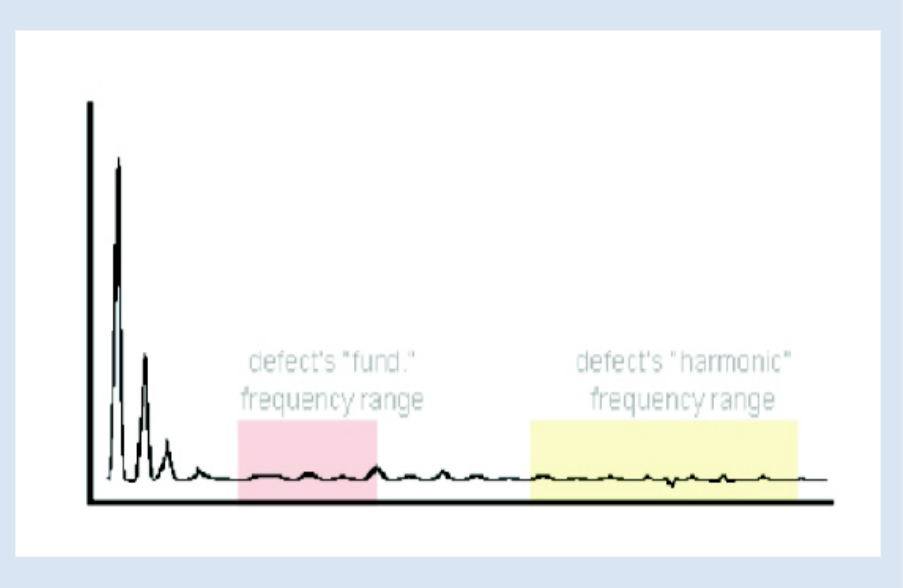
Rulmanların arızalarının tespitinde, sağlam rulman değerleri ile arızalı rulmanın titreşim değerleri izlenerek, analiz edilerek arızanın boyutu hakkında tahminlerde bulunulabilecektir. Yapılan deneysel çalışmalarda sistemin modellemesi yapılarak arızalı rulman ve sağlam rulmandan alınan verilerin kıyaslanarak analiz edilmesi ile sağlam rulman arıza oluşuncaya kadar çalıştırılacak ya da rulmanda yapay kusurlar oluşturularak titreşimlerdeki değişimler izlenecektir.

Rulmanın üretimi ve montajı doğru yapılmış ise çalışma şartları önceden belirlenmiş olan yük, devir ve sıcaklıklara uygun olarak sağlanmış ev yağlaması da doğru bir şekilde yapılmışsa böyle bir rulmanda yuvarlanma elemanı (bilye) temas yüzeylerinde en çok metal yorulmasına bağlı kabarma, çatlak ve çukur sebebiyle arızalanma beklenir. Yorulma, yüzey altında ince çatlaklar olarak başlar ve zamanla yüzeye ilerleyerek küçük dökülmelere, kabacıklara yol açar ve erken tespit edilmez ise ciddi arızalara sebep olur [25].

Rulman hasarları dört aşaması vardır [35]. Bu aşamalar aşağıdaki gibidir.

3.2.1.1. Birinci Aşama

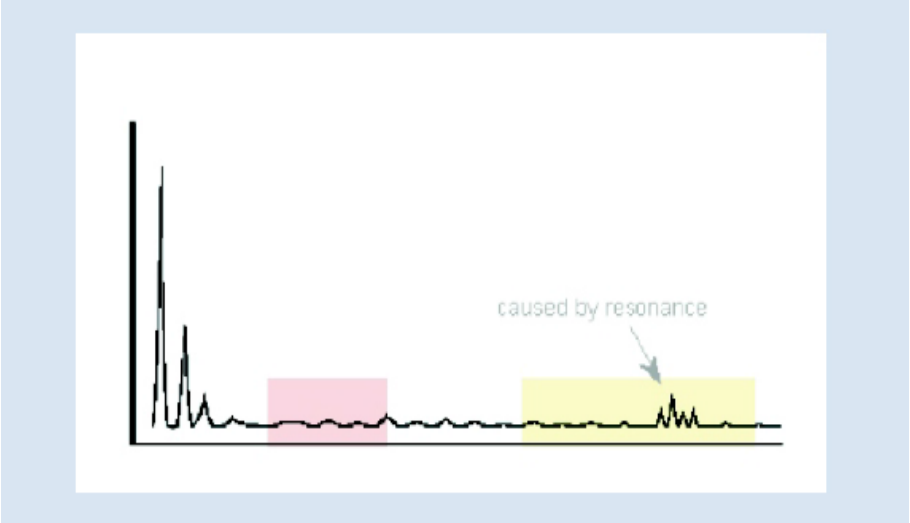
Hasar oluşumunun başlangıç aşamasıdır. Mevcut halinin iyi derecede olduğu ve hasar frekansı spektrum da görünmez fakat zamanla hasar frekans spektrumları oluşmaya başlayan aşamadır. Şekil 3.3'de birinci aşama grafiği görülmektedir [2].



Şekil 3.3. Rulman hasar birinci aşaması.

3.2.1.2. İkinci Aşaması

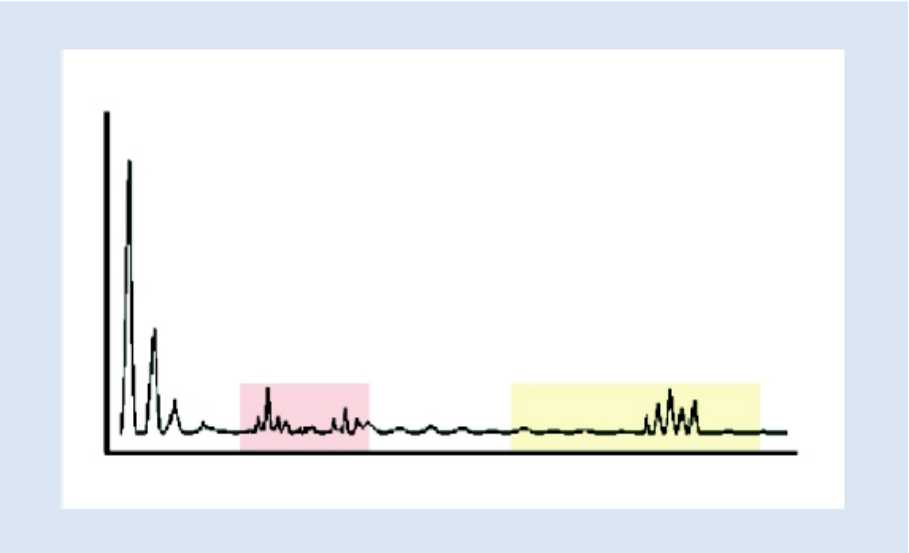
Rulmanın değişmesine gerek olmayan bu aşamada spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansları artar. Temel hasar frekanslarda artış beklenmez. Hasar devam ettiğinde hasar titreşim frekansları mil dönme hızı ile modülasyona uğrar ve yan bantlar meydana gelir. Yan bantların genliği merkez frekans genliğini geçerse hasarın dikkate alınması gerektiği anlaşılmalıdır. Şekil 3.4'de ikinci aşama grafiği görülmektedir [2].



Şekil 3.4. Rulman hasar ikinci aşaması.

3.2.1.3. Üçüncü Aşaması

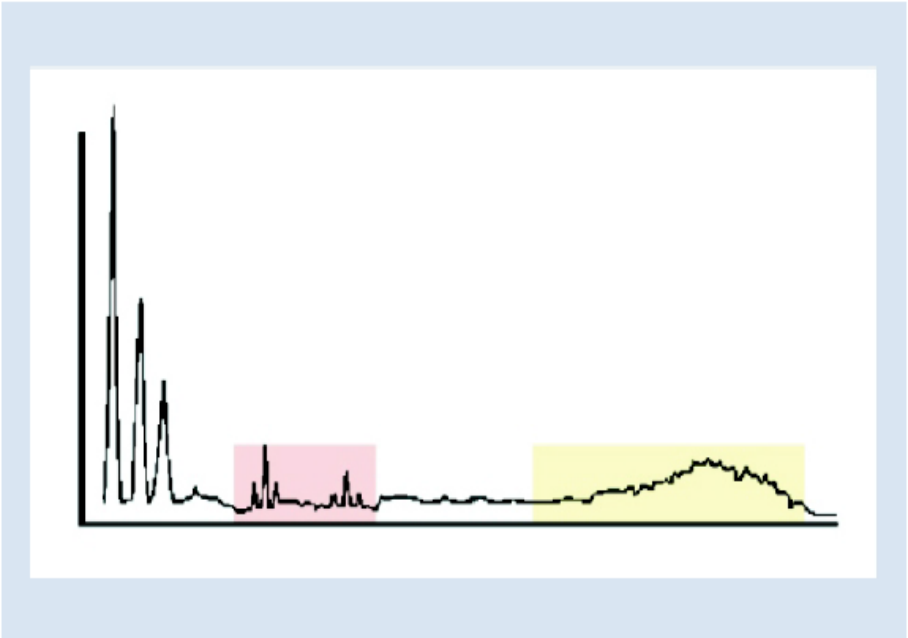
Spektrum grafiğinde hasar frekansları çıkmaya başlar. Rulman devrine göre yan bantlarla beraber temel hasar frekansları da oluşmaya başlar. Hasarın belirtileri artık göz ile görülecek seviyelere geldiği ve rulmanın değişmesi gerektiği aşamadır. Şekil 3.5'de üçüncü aşama grafiği görülmektedir [2].



Şekil 3.5. Rulman hasar üçüncü aşaması.

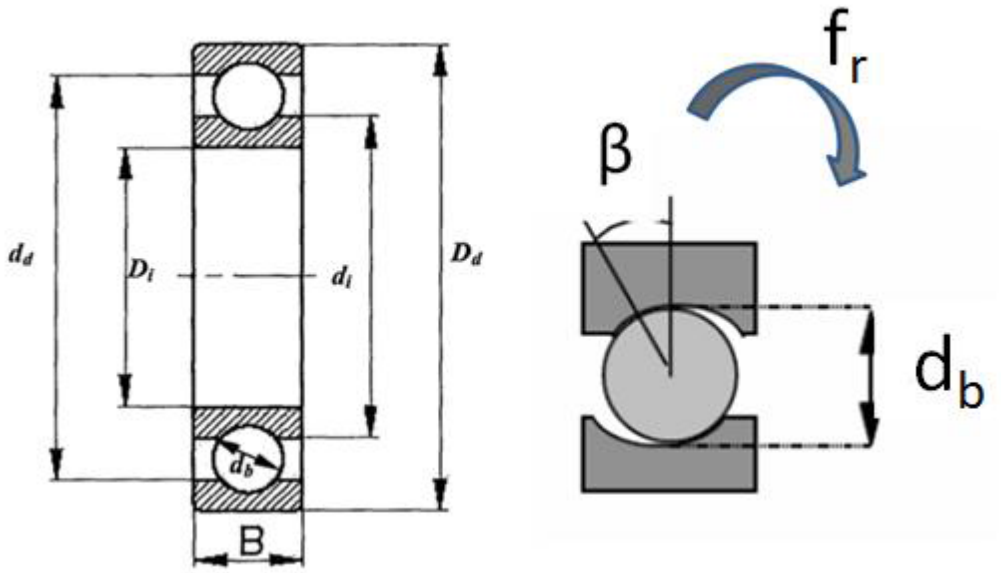
3.2.1.4. Dördüncü Aşama

Rulmanın kullanımının bittiği aşamadır. Titreşim genliklerinde aşırı derecede yükselmelerin olduğu bu aşamada, sistemin çalışmasını engellememesi için rulman değişiminin acilen yapılması gerekmektedir. Şekil 3.6'de dördüncü aşama grafiği görülmektedir [2].



Şekil 3.6. Rulman hasar dördüncü aşaması.

3.2.2. Rulman Hasar Frekansları



Şekil 3.7. Rulman geometrisi.

Burada;

N : bilye sayısı,

PD : $(d_i+d_d) / 2$

D_d : Dış bilezik dış çapı

d_d : Dış bilezik iç çapı

d_b : Bilye çapı

D_i : İç bilezik dış çapı

f_r : Devir frekansı

D_i : İç bilezik dış çapı

β : Temas açısı

B : Rulman genişliği

Rulmanların durumları hakkında hesaplamalarda rulman hasar görmediği sürece herhangi bir olumsuzluk görülmez. Rulmanda arıza durumunda frekanslar belirgin şekilde görülmeye başlar. Şekil 3.7'de rulman geometrisi görülmektedir [1].

İmalattan yeni çıkan bir rulmanın dış yüzeyinde pürüzlülük olmaktadır. Bu rulmanlarda daha düşük genlikli hasar frekansları görülmektedir. Genel olarak; hasarın rulmanda

oluşması ile rulman hasar frekansını etkileyecek ve frekansları bunlara ait harmonikler ve yan bantlar, hasarın kademesine göre, frekans spektrumlarında kendilerini göstermesi beklenecektir [1].

3.2.2.1. Dış Bilezik Bilye Geçiş Titreşim Frekansı

Bilyenin, hasarlı dış bilezik yuvarlanma yolu üzerinden geçerken meydana getirdikleri titreşim frekansıdır. Denklem 3.1'de gösterilen formül ile hesaplama yapılır [1].

$$f_{DIŞ} = \frac{n}{2} f_r \left[1 - \frac{d_b}{PD} cos\,\beta\right] \tag{3.1}$$

3.2.2.2. İç Bilezik Bilye Geçiş Titreşim Frekansı

Bilyenin, hasarlı iç bilezik yuvarlanma yolundan geçerken meydana gelen titreşim frekansıdır. Denklem 3.2'de gösterilen formül ile hesaplanır [1].

$$f_{İÇ} = \frac{n}{2} f_r \left[1 + \frac{d_b}{PD} cos\,\beta\right] \tag{3.2}$$

İç ve dış bileziğinde hasar bulunan rulmanın yapılan titreşim ölçümlerinde iç bileziğin titreşim genlik ölçüsü, dış bilezik genlik ölçüsünden daha düşük olacaktır. Bunu sebebi ise iç bilezik titreşim sinyali bilyeden ve dış bilezikten geçene kadar absorbe edilecektir.

Rulman hasarlarının %90'ını genellikle iç ve dış bilezik kusurlarından oluştuğu için bu kısımlara rulmanın zayıf kısımları denilebilir. Bu kısımlara gerekli durumlarda önlem alınmazsa daha büyük hasarlara neden olur [35].

3.2.2.3. Bilye Geçiş Titreşim Frekansı

Bilyenin dönüşü esnasında iç ve dış bileziklerin dönme yolu üzerinde yaptığı frekanslardır. Bilyenin kendi etrafında dönmesi ile iç ve dış bilezik üzerine yaptığı hasarın titreşim frekansı Denklem 3.3'de gösterilen formül ile hesaplanır [1].

$$f_{BİLYE} = \frac{1}{2} f_r \frac{PD}{d_b} \left[1 - \left(\frac{d_b}{PD} cos\,\beta\right)^2\right] \tag{3.3}$$

3.2.2.4. Kafes Bilye Geçiş Titreşim Frekansı

Bilyeleri iç ve dış bileziklerden aynı aralıklarda, temas etmeden ve birlikte tutan kafeste

bir hasar olması anında meydana gelen frekanstır. Titreşim frekansı Denklem 3.4'de gösterilen formül ile hesaplanır [1].

$$f_{KAFES} = \frac{1}{2} f_r \left[1 - \frac{d_b}{PD} cos\,\beta\right] \tag{3.4}$$

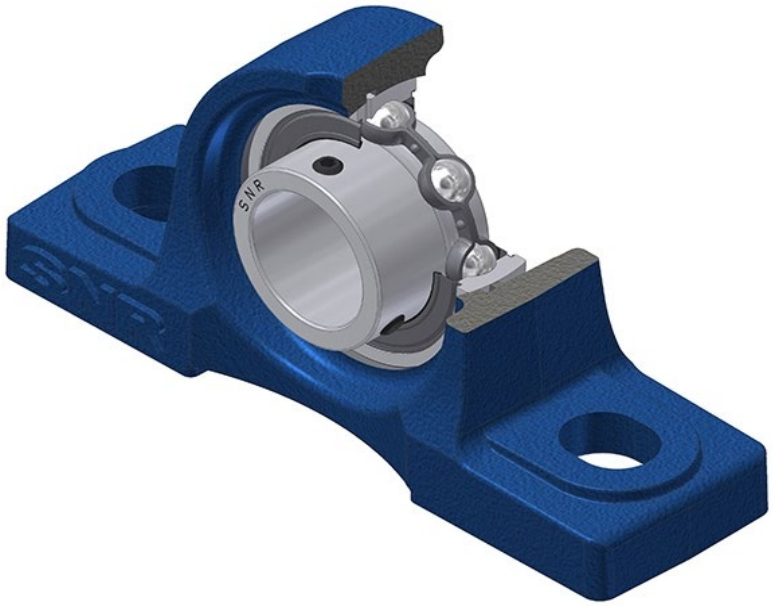
3.3. ÇALIŞMADA KULLANILAN RULMAN VE YATAĞI

Bu çalışmada binek araçların fren testleri yapılmasında kullanılan fren test cihazının rulmanda oluşan arızaların, titreşim analiz yöntemi ile incelenmiştir. Kullanılan P205 kodlu rulman yatağında bulunan US205G2 kodlu rulman kullanılmıştır. Kullanılan rulmana ait teknik özellikler ve ürün bilgileri aşağıdaki gibidir.

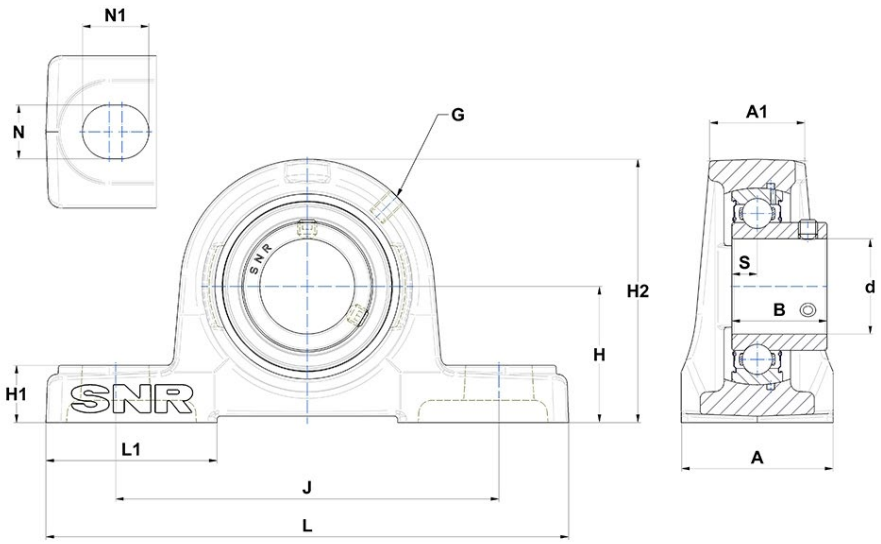
3.3.1. Rulman Teknik Özellikleri

3.3.1.1. Görseller

Çalışmada kullanılan rulmanın görselleri Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir [48].



Şekil 3.8. SNR Yataklı rulman üç boyutlu kesit.



Şekil 3.9. SNR Yataklı rulman teknik resmi.

3.3.1.2. Rulman Tanımı

Çalışmada kullanılan rulmanın ölçüleri Çizelge 3.1'de verilmiştir [48].

Çizelge 3.1. Rulman tanımı.

A	38 mm
A1	26 mm
B	27 mm
d	25 mm
G	M6x1
H	36.5 mm
H1	16 mm
H2	70 mm
J	105 mm
L	140 mm
L1	42 mm
N	13mm
N1	19 mm
s1	13.5 mm
S	7.5 mm

3.3.1.3. Rulman Performansı

Çalışmada kullanılan rulmanın ürün performansı Çizelge 3.2'de verilmiştir [48].

Çizelge 3.2. Rulman performansı.

C	14 kN
C0	7.88 kN
T min.	-20 °C
T max.	100 °C

3.3.1.4. Rulman Diğer Özellikleri

Çalışmada kullanılan rulmanın diğer özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir [48].

Çizelge 3.3. Rulman performansı.

Ağırlık	0.77 kg
Ayar vidası için önerilen sıkma torku	5.5 Nm
Rulman Yatak Tanımı	P205
Rulman Tanımı	US205G2

4. BİNEK ARAÇ RULO FREN TEST CİHAZI

Frenlemenin iyi sonuç vermesi için fren sisteminin etkili çalışmasının bir sonucudur. İyi bir frenleme sonucu elde edilmek için taşıtın kütlesi, kampana veya disk yapıları, merkez ve tekerlek silindirleri, fren hidrolik devresi ve fren hidroliği, lastikler, süspansiyon sistemi, fren sistemi mekanik aksamı, taşıt üzerindeki yük, yol şartları gibi birçok etken direkt etkilemektedir. Fren kuvvetlerine etki eden faktörlerin etkilerini araştırmak için ve düzgün bir analiz yapabilmek için teorik ve uygulamalı çalışmalar yapılmıştır [37]- [40].

Fren kuvvetleri farklılaşması, frenleme anında lineer kaymaya endekslidir. Lastik tekerlek ve zemin koşullarının tutunma ölçüsü, frenlemede önemli katkısı vardır [41].

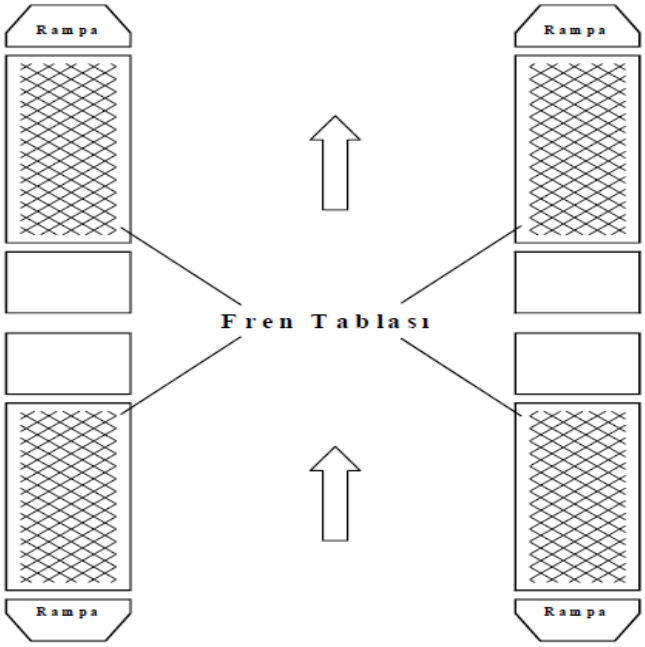
Aracın hareketi ve frenlemesi esnasında meydana gelen üç kuvvet sonucu momentler, birçok çalışma sonucu araştırılarak ortaya konulmaktadır. Oluşan kuvvetler doğrusal, yanal ve düşey kuvvet adı verilmektedir [42].

Lastiğin yere bastığı alanda ve manevra yönünde bir kuvvet meydana gelmesi için biraz kayma olması muhtemeldir. Oluşan kayma miktarı lastiğin, yolun durumu ve aracın üzerindeki yüke ve frenleme sırasında oluşan kuvvete bağlıdır. Frenleme esnasında tekerleğin hızı, aracın hızına miktarla daha az olacaktır. Taşıtın frenleri kilitlenmiş ise kayma miktarı %100 oluşurken frenleme olmadan hiçbir etki altında kalmadan dönen tekerde ise kayma miktarı %0'dır [43], [44].

Taşıtlardan fren testleri yol testi olarak da yapılmaktadır fakat özel teçhizatlı fren test cihazları daha kısa sürede frenleme testi yapılarak bu cihazlar ile yapılan ölçümler daha uygun olmaktadır [45], [46].

Zemini düz olan fren test cihazlarında, taşıt fren test cihaz üzerine çıkarak belirli bir hızda frenleme yapılmaktadır. Şekil 4.1'de düz zeminli fren test cihazı şematik görünüşü mevcuttur. Fren test cihazın algılayıcılarından elde edilen değerler göstergede okunmaktadır. Fren test cihazında tamburlar belirli devirle dönmeye başladıktan sonra tamburlar tekerleği durdurmaya çalışarak kuvvet oluşmasını sağlamaktadırlar. Meydana gelen bu kuvvet elektronik hidrolik algılayıcı sensörler yardımı ile fren test cihaz

gösterge paneline aktarmaktadır. Fren test cihazları içerisinde tamburlu fren test cihazları fazla yer kaplamaması, çok çeşitli veri alınabildiği için bu cihazlar daha fazla tercih edilmektedir [47].



Şekil 4.1. Düz zeminli fren test cihazı şematik görünüşü.

Bu çalışmada fren test cihazı rulman arızalarının titreşim analizi yöntemi ile belirlenmesi için MAHA marka IW2 model rulo fren test cihazı kullanılmıştır.

4.1. MAHA IW 2 FREN TEST CİHAZI

IW 2 rulo fren test cihazları alt grubun bir üyesidir. Bu gruptaki cihazlarda iki farklı fren kuvveti kayıt ölçümü bulunur:

- Fren kuvveti sürüş farkına göre
- Fren kuvveti sürüş gücüne göre

IW 2 fren test cihazı bir rulo seti ve açık sonlu elektronik sistem prensibi ile çalışan bütünleşik işletim sistemine sahip işlemci borduna sahiptir.

Standart test cihazı çeşitli Maha aksesuarları ile zenginleştirilebilir [21].

4.1.1. Fren Test Hakkında Genel Bilgi

Bir aksta bulunan her tekerin fren kuvvetleri birbirine eşit olmaz ise kayma oluşur.

Araç fren sistemine aşırı yüklenmeden fren yapıldığında her tekerde minimum fren

farkı oluşması önemlidir. Bundan dolayı her tekerlek fren test cihazında ölçülmelidir [21].

Fren kuvveti ölçümü statik ve dinamik metotla yapılabilir. Statik metotla fren kuvvetinin belirlenebilmesi için tekerleğin ruloda çevrilerek fren uygulaması gerekir. Dinamik metot daha çok deneme esaslı olup önceden belirlenmiş bir tekerlek hızına ulaşıldığında rulolar tarafından ayarlanan fren uygulanır. Orta rulolar tekerlek devrini ölçer. Orta rulo ile ana rulolar arasındaki devir farkı kaymayı belirler. Güvenlik nedeni ile tüm Maha fren test cihazları en çok %30 kayma oranına ulaşıldığında otomatik olarak rulolar durur [21].

Ölçüm prensibi her iki ölçüm metodunda aynıdır. Ruloları hareket ettiren elektrik motorları yük altında mukavim desteksiz bir şaft mekanizması ile bağlantılı dizayna sahiptir. İlave desteği esnek bir metal hücre ile gerçekleştirilir. Bu çelik hücre motor tarafından oluşturulan tork ile eğilerek üzerine gerilim toplar. Statik testte başlangıçta tork sıfırdır. Dinamik test metodunda rulolar tekerlekleri döndürürken fren uygulanmadan tork değeri belli bir miktara kadar çıkar [21].

Kuvvetölçer, çelik hücre (DMS) üzerinde oluşan bu gerilmeleri elektrik sinyallerine çevirerek fren kuvvetlerini ölçmeye yeter [21].

IW 2 fren test cihazında dinamik test metodu kullanılır. Bu metot en hassas test metodudur. 4 çeker fren testinde başka bir ölçüm metodu alternatifi yoktur [21].

4.1.1.1. Tek Tahrikli Akisli Araçlar

Test edilecek aks rulo setine sürülür. Tekerlerin devrini ölçen orta rulolar aşağı doğru basılarak ruloların çalışması sağlanmış olur. Ruloların hızı ile tekerleklerin hızı eş değer düzeye geldiğinde test cihazı ölçüme hazırdır. Bu noktadan sonra iki hız arasındaki fark %30'a ulaştığında (kayma) ruloları çeviren motorlar otomatik olarak durur. (Bu hem motorları aşırı yüke karşı korumak için hem de lastik hasarlarını önlemeye yöneliktir.) Ready (hazır) ışığı yanarak test cihazının ölçüme hazır olduğu duruma geçilir. Fren testteki araçla yavaşlamaya belli bir noktaya kadar, devir farkı %30'a ulaşana dek sürer ve motorlar otomatik olarak kapanır [21].

MAHA IW 2[1] LON fren test cihazında sürekli dört çeker araçlar ile test yapılması

[1] Sürekli 4 çeker konumundan 2 çekere ayarlanabilen araçlar normal test işlemi yapılarak standart test cihazında ölçüm yapmak mümkündür.

mümkün değildir.

4.1.2. Fren Test Cihazı Özellikleri

4.1.2.1. Rulo Seti

Binek araç fren test cihaz rulo seti teknik özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir [21].

Çizelge 4.1. Rulo seti teknik özellikleri.

			IW 2 RS 2
Aks yükü			3,5 t / 4 t*
Motor gücü			2 x 3 kW / 2 x 4 kW*
Test hızı			5 km/h
İz genişliği			780…2200 mm
Rulo çapı			202 mm
Rulolar arası mesafe			400 mm
Boyutlar (H x W x D)			280 x 680 x 2320 mm
Besleme gerilimi			400 V; 50 Hz; 3~ + N + E
Sigorta koruması			25 A time-delay
Rulo sürtünme katsayısı	Çelik	Kuru	Yaklaşık 0.9
		Islak	Yaklaşık. 0.7
	Plastik		Yaklaşık. 0.9

4.1.2.2. Gösterge Ünitesi

Binek araç fren test cihaz rulo seti teknik özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir [21].

Çizelge 4.2. Rulo seti teknik özellikleri.

Analog gösterge(W x H x D)	630 / 910 x 870 x 240 / 300 mm; dial Ø 2 x 350 mm
Gösterme aralığı	0…100 mm / %; –20…+20 m/km; 0…8 kN
Ara birim	RS 232 ile DIN A 4 yazıcı ya da PC

4.1.3. Fren Test Cihaz Aksesuarları

Binek araç fren test cihaz rulo seti aksesuarları Çizelge 4.3'de verilmiştir [21].

O = Standart

X = Opsiyonel (isteğe bağlı)

Çizelge 4.3. Rulo seti aksesuarları.

Fark göstergesi	X
Gösterge modülü	X
IW 2 LON için ikincil gösterge	X
Kumanda kabini	X
Veri yazıcısı	X
İğne uçlu yazıcı	X
Gösterge kabin ayağı	X
Duvar monte kiti	X
Rulo yüzeyi plastik kaplama	X
RECO 1 radyolu uzaktan kumanda	X
IFB 3 kızılötesi uzaktan kumanda	X
Pedal kuvveti ölçer UK ile	X
Çalışma saati sayacı	X
Elle ters döndürme	X
UK ile ters döndürme	X
4 çeker kontrol seti	X
Özel gerilim	X
RS 5 rulo seti 5 ton 4 Kw	X
RS 2 kuvvetlendirilmiş rulo seti	X
Bölünmüş rulo seti kanal uygulaması	X
Su sıçrama korumalı motorlar	X
Otomatik liftli orta rulolar	X
Rulo üzerinden geçmek için kapak	X
Motosiklet testi için rulo kapağı	X
Ruloya çıkma rampa seti	X
RS2 için kontor dinamik	X
RS2 bölünmüş için kontor	X
Kontora hazırlık	X
Bölünmüş rulo seti kontora hazırlık	X
Rulo seti ısıtma	X
Ölçüm doğrulamam cihazı	X

4.2. FREN TEST CİHAZI ÇALIŞTIRMA

Fren test cihazı 400 V şebeke elektriği ile çalışmaktadır. Cihazın açılışı gösterge panosunun sağ yan tarafında bulunan elektrik şalterinin 1 konumuna alınması ile çalışmaya hazır hale getirilmiş olur.

4.2.1. Gösterge

Binek araç fren test cihaz gösterge panosu Şekil 4.2'de verilmiştir [21].

Şekil 4.2. Fren test cihazı göstergesi.

Fren test cihaz gösterge panosu açıklamaları Çizelge 4.4'de verilmiştir [21].

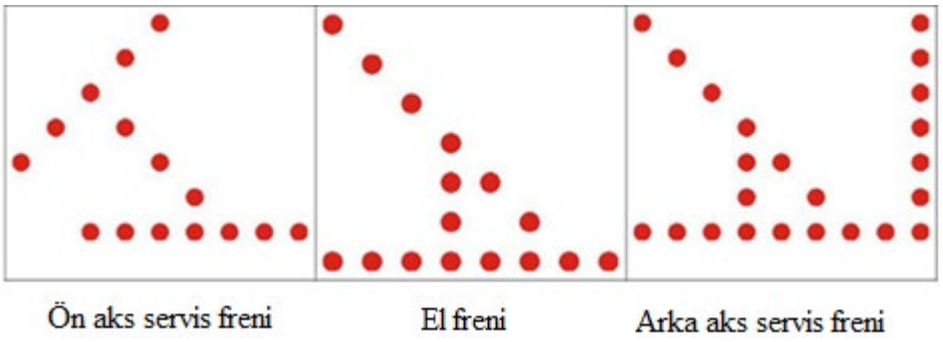
Çizelge 4.4. Fren test cihazı gösterge panosu açıklamaları.

A	Güç lambası	**J**	Ön ayak freni
B	Arıza onay butonu	**K**	El freni
C	Arıza lambası	**L**	Arka ayak freni
D	Tek teker ölçüm anahtarı	**M**	Yazıcı
E	Teste hazır lambası	**N**	Ölçüm silme
F	Sol analog gösterge	**O**	Kapalı rot
G	Sağ analog gösterge	**P**	Açık rot
H	Fark ve ağırlık LED göstergesi	**Q**	Amortisör test
I	Kullanım rehberi LED göstergesi	**R**	Uzaktan kumanda

4.2.2. Gösterge Sembolleri

Binek fren test cihazında ön aks servis freni, arka aks servis freni ve el freni dot matriks

gösterge sembolleri Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Dot matriks gösterge sembolleri.

4.2.3. RECO 1 Uzaktan Kumanda[2]

Binek fren test cihaz uzaktan kumandası Şekil 4.4'de verilmiştir.

Şekil 4.4. RECO1 uzaktan kumanda.

4.2.4. Uzaktan Kumandasız Test İşlemi

4.2.4.1. Cihazı Açmak

- Ana şalterden cihazı seçin. Güç lambası yandıktan sonra ibreler sıfır pozisyonu için ayarlanır.

[2] Bu uzaktan kumanda lityum pille çalışır. En çok 10 kanalı bulunur. Bu cihaz ile birlikte termal yazıcıda kontrol edilebilir [21].

4.2.4.2. Test Cihazına Sürüş

- Araç rulo içine sürülür, vites boşa alınır. Rulolar çalışmaya başlar. Tekerlerin yuvarlanma direncine göre fren basmadan göstergede görülebilir. Aşırı değerler tekerde sıkılık olduğunu gösterir.
- Hazır lambası yanana dek bekleyin. Eğer motorlar aniden durursa, kalkış kontrolü devreye girmiş demektir. Bunun sebebi çoğunlukla fren pabuçlarının yapışması, kaliperin takılı kalmasıdır.

4.2.4.3. Ölçümü Gerçekleştirmek

- Fren pedalına yavaş ve sürekli olarak basın. Gösterge ibreleri uygulanan pedal kuvvetine bağlı olarak hareket ederler.
- Kayma oranı % 30'a ulaşıldığında rulolar durur. En fazla verimli fren kuvvetine ulaşılmıştır. Hasar tehlikesi oluşmaması için rulodan tahrik aksı ile asla rulolar çalışmadan ve hazır lambası yanmadan çıkmayın.
- Aynı işlemi başka bir fren tipine veya diğer aksa gerçeklemek için öne hareket edin.
- Ölçüm tamamlandıktan sonra araç rulolardan dışarı alınmalıdır.

4.2.5. Uzaktan Kumanda İle Test İşlemi

4.2.5.1. Test Cihazını Açmak

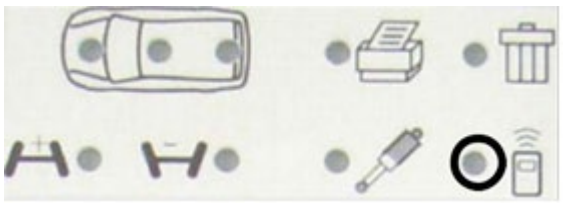
- Ana şalterden cihazı açın. Güç lambası yanar. İbreler sıfır pozisyonu için hareket eder ve durur.

4.2.5.2. Test Cihazına Sürmek

- Aracın aksını rulo içine getirin ve boşa alın. Rulolar çalışmaya başlar. Tekerlerin yuvarlanma direncine göre fren basmadan göstergede görülebilir. Aşırı değerler tekerde sıkılık olduğunu gösterir.
- Hazır lambası yanana dek bekle. Eğer motorlar aniden durursa, kalkış kontrolü devreye girmiş demektir. Bunun sebebi çoğunlukla fren pabuçlarının yapışması, kaliperin takılı kalmasıdır.

4.2.5.3. Uzaktan Kumandayı Aktif Etmek

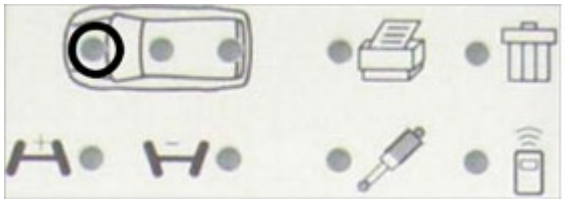
- Herhangi bir tuşla uzaktan kumandayı açın. Şekil 4.5'de görüleceği gibi uzaktan kumanda LED'i yanar. Uzaktan kumanda aktif olur.



Şekil 4.5. Gösterge ekranı.

4.2.5.4. Ölçümü Gerçekleştirmek

Şekil 4.6'da görüleceği gibi Ön aks LED'i yanak, frene basılır. Fren pedalına yavaş ve sürekli sonuna kadar basılır.



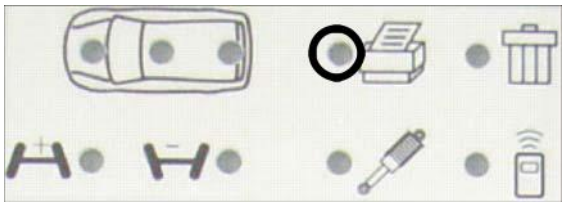
Şekil 4.6. Gösterge ekranı.

Gösterge ibreleri uygulanan pedal kuvvetine bağlı olarak hareket ederler. Kayma oranı % 30'a ulaşıldığında rulolar durur. En fazla verimli fren kuvvetine ulaşılmıştır.
Eğer fren kuvveti çok zayıfsa blokaj (kayma) öncesi en çok fren kuvveti kayıt edilmelidir.

- Enter tuşuna basılır, ölçüm değeri kayıt edilir. Ön aks LED' i sürekli yanar. Hasar tehlikesi oluşmaması için rulodan tahrik aksı ile asla rulolar çalışmadan ve hazır lambası yanmadan çıkmayın.
- Aynı işlemi başka bir fren tipine veya diğer aksa gerçeklemek için öne hareket edin. Aks değişimi nedeni ile geçersiz fren değeri ile sonraki aksın değeri olarak görülebilir. Aşağı butonuna basarak çöpe atıp enter ile onaylanır. Sonucunda LED sonraki aks için ölçüme hazır olduğu söylenir.
- Ölçüm tamamlandıktan sonra araç rulolardan dışarı alınmalıdır.

4.2.5.5. Araç Ağırlığı Girişi ve Ölçüm Değeri Raporu

Şekil 4.7'de görüleceği gibi yazıcı ışığı yanar.



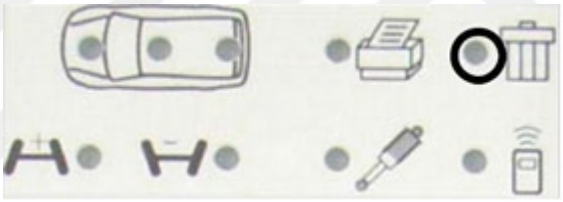
Şekil 4.7. Gösterge ekranı.

- Rapor istenirse Enter tuşuna basılır. LED yanıp sönmeye başlar.
- Yukarı butonu ile ağırlığın binler hanesine gelinir.
- Enter ile yüzler hanesine ve daha sonra onlar ve birler hanesine gelinir.

Kırmızı LED ağırlık girişi için yanar. Ağırlık girişi tamamlanınca sol ibre toplam ağırlığı gösterir ve sol yeşil LED yanıp söner. Eğer sürekli yanarsa rapor yazmaya başlanır.

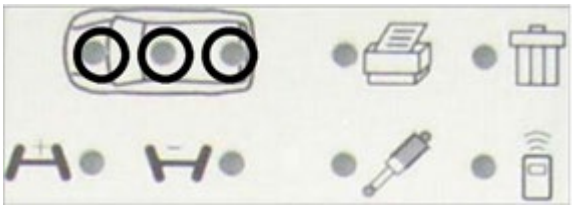
4.2.5.6. Ölçüm Silme ve Yeniden Gösterim

Şekil 4.8'de görüleceği gibi rapordan sonra çöp kutusu LED' i yanar.



Şekil 4.8. Gösterge ekranı.

- Ölçümü silmek için Enter tuşuna basılır veya ölçüme bakmak için şekil 4.9'da görüleceği gibi ilgili aksın kısımlarına yukarı butonuna basılarak Enter ile onaylanır.



Şekil 4.9. Gösterge ekranı.

4.2.6. Tek Teker Test (İsteğe Bağlı)

4.2.6.1. Uzaktan Kumandasız

İstenen modda çalışmak için anahtarı konumlandırın. Yukarıda açıklandığı şekilde ölçüm gerçekleştirilir.

4.2.6.2. Uzaktan Kumanda İle

- Motorlar çalıştıktan sonra 0 butonuna basarak her iki motorda durdurulur.
- İstenen motor sol-sağ ok tuşlarından birine basılarak çalıştırılır. Ölçüm yukarıda belirtilen şekilde gerçekleştirilir.
- Eğer tekerlek ölçümü yapıldıysa en son tekerden sonra ölçüm kaydedilecektir. Hasar tehlikesi oluşmaması için rulodan çıkmadan her iki motor da çalıştırılmalıdır.

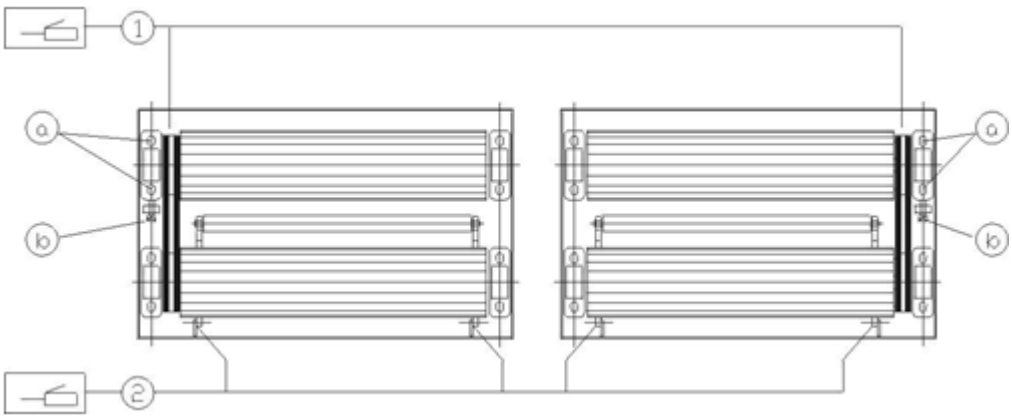
4.3. BAKIM, ARIZA BULMA

Cihazın kurulum ve değişim işlemleri üreticinin ehil teknisyeni veya bu konuda eğitim görmüş yetkili satıcının teknisyeni tarafından yapılması zorunludur. Ölçüm doğrulama işlemi de aynı personel tarafından yapılır.

Ehil olmayan yetkisiz kişilerce yapılan tamir ve ölçüm doğrulama işlemlerden kaynaklanacak hasarlar garantiyi ortadan kaldırır.

4.3.1. Bakım

Rulo seti her 200 saatte veya yılda bir kontrolden geçirilmelidir. Kontrol bünyesinde rulo seti yere bağlantıları da bulunmalıdır. Cihaz devreye alındıktan 14 gün sonra zincir gerginlikleri kontrol edilmeli ve aylık kontroller de devam ettirilmelidir.



Şekil 4.10. Fren test cihazı bakım noktaları.

Rulo setin ortasında kapak sökülür. Zincir boyunca tüm zincir evrensel tip gresle yağlanır. Elle ruloyu döndürmek gereklidir.

Zincir her iki yönde 5 mm boşluğa sahip olmalıdır. Yeterli gerilme sağlanmıyorsa şekil 4.10'daki (a) cıvataları gevşetilir, (b) cıvatası ayarlanarak gerekli gerginlik kazandırılır, (a) cıvataları tekrar sıkılarak gerginlik sabitlenir.

Rulo setlerindeki Şekil 4.10'daki 2 nolu askılar her 200 saatte bir ya da yılda en az bir kere yağlanmalıdır.

4.3.2. Arıza Bulma

Bu cihazdaki tüm elektrikli aletler ehil bir elektrikçi veya yetkili servis teknisyeni tarafından tamir ve bakım işlemleri gerçekleştirilir.

Test cihazı bir hata olduğunda hata kodu üretir. Bu kodlar ana göstergedeki skalalar tarafından belirtilir. Tüm hata kodları (33 hariç) hata butonuna basılarak silinebilir.

Çizelge 4.5. Arıza tespit hata kodları.

Hata kodu	Sebep	Yapılacaklar
01	Yanal kayma düğüm hatası	Servis çağırın
02	Amortisör düğüm hatası	Servis çağırın
03	LON MOREG hatası	Servis çağırın
11	LON BPLKW düğüm hatası	LON ağı kontrol edin. Servis çağırın
12	Çok fonksiyonlu gösterge kayıp	Servis çağırın
22	Sol veya sağ taraf motor koruma kontaktörü aşırı yük koruma anahtar hatası	Motor koruma kontaktörlerini 1 konuma getirin, cihazı kapatıp açın
	Motor hasarı oluşabilir.	
32	Sol devir algılayıcı hatası	Orta rulodaki deliklerle algılayıcının arasında engel varsa ortadan kaldırın Servis çağırın
	Güvenlik elemanı çıkış yardımı devre dışı kalmıştır!	
33	Her iki sağ-sol devir algılayıcısı	Algılayıcı pozisyonlarını kontrol edin. Servis çağırın
	Yön anahtarı 0 da kalmış	Aracı rulodan çıkartıp 1 veya 2 yönünde anahtarı çevirin
	L2 veya L3 sigortası atık	Cihazı kapatıp sigortaları değiştirin
	Eğer hata giderilemiyorsa ilgili bilgiler servise aktarılıp çağırılmalıdır.	

Çizelge 4.6. (devam) Arıza tespit hata kodları.

<table>
<tr><th>Hata kodu</th><th>Sebep</th><th>Yapılacaklar</th></tr>
<tr><td rowspan="2">34 [3]</td><td>Sağ taraf devir algılayıcı hatası</td><td>Orta rulodaki deliklerle algılayıcının arasında engel varsa çıkartın.

Sevis çağırın</td></tr>
<tr><td colspan="2">Güvenlik elemanı çıkış yardımı devre dışı kalmıştır.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">40</td><td>Sıfır noktası ayar gösterge hatası</td><td>Rulodan çıkın, cihazı kapatıp açın.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Hata devam ederse servis çağırın!</td></tr>
<tr><td>41</td><td>Sol taraf rulo meşgul.</td><td rowspan="2">Test cihazı açıldıktan sonra bu hata ile karşılaşılmış ise algılayıcı arızalı olabilir.
Araç rulo setinden geçtikten sonra hata oluşmuş ise muhtemelen araç ruloya tam oturmadı, tek taraf oturdu. Aracı tekrar pozisyonlayın ve Power On tuşuna basın.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">42</td><td>Sağ taraf rulo meşgul.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Aşırı dikkat edin! Eğer hata devam ederse servis çağırın.</td></tr>
<tr><td>43[4]</td><td>MOREG hatası (genel)</td><td>Servis çağırın</td></tr>
<tr><td>44[4]</td><td>Sol ışın diskinden sinyal gelmiyorsa.</td><td rowspan="3">Yansıtıcı etiketi tekere doğru konumlayın. Işın diski arızalı olabilir.
Kırmız ı lamba yanıp sönüyorsa:
Yavaş Î sol

Hızlı Î sağ

Yavaş/Hızlı Î her ikisi de, demektir</td></tr>
<tr><td>45[4]</td><td>Sağ ışın diskinden sinyal gelmiyorsa.</td></tr>
<tr><td>46[4]</td><td>Her iki ışın diskinden sinyal gelmiyorsa.</td></tr>
<tr><td>50</td><td>Kontor sıfır noktası tolerans dışında.</td><td>Servis çağırın</td></tr>
<tr><td>51</td><td>Araç ruloda iken cihaz açılırsa.</td><td>Eğer tahrik aksı ruloda ise uzaktan

kumanda ile ruloyu çalıştırın ve çıkın.</td></tr>
<tr><td>61</td><td>Dahili yığın hatası.</td><td></td></tr>
<tr><td>62</td><td>Aşırı fren kuvveti nedeni ile acil kapanma.</td><td></td></tr>
</table>

[3] Hata giderme butonuna basılarak hata onaylanır. Göstergeler 0’ a hareket eder. Test cihazı işleme hazır olur. Bu durum rulo çıkış yardımı ile devre dışı olur.

[4] Sadece 4 çeker fren test cihazı içindir.

Eğer otomatik çalışmaya evet olarak seçili ise, rulolar araç içine girince otomatik olarak dönmeye başlar.

Cihaz açılması ile aracın ruloya alınması arasında birkaç saniye olmalıdır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Binek (hafif) fren test cihazı tamburu rulman titreşim değerlerinin zamana bağlı olarak belirlenmesi üzerine deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

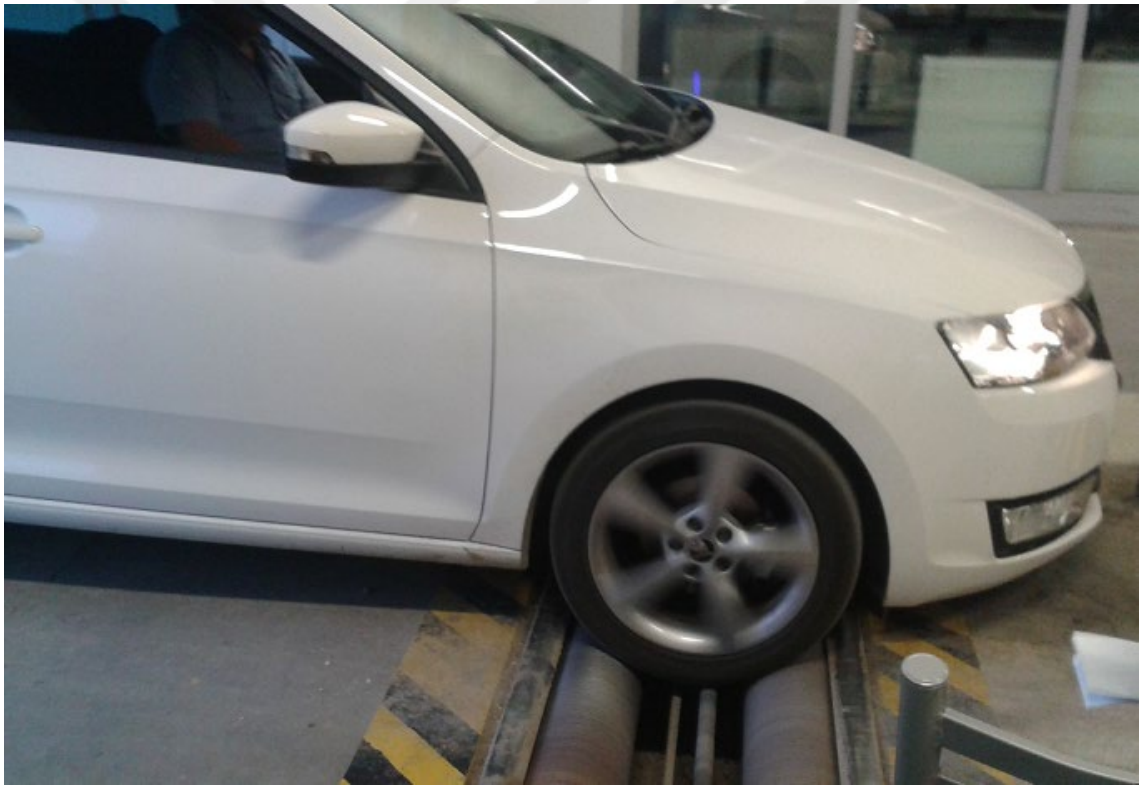
5.1. ÇALIŞMA DÜZENEĞİ

Binek araçların fren testlerinin yapılmasında kullanılan fren test cihazının rulman arızaları titreşim analiz yöntemi Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'deki gibi bir gerçek çalışma ortamında yapılmıştır. Deneyler MAHA marka fren test cihazında yüklü ve yüksüz durumlar için, 5km/h (473 d/d) test hızında yapılmıştır.

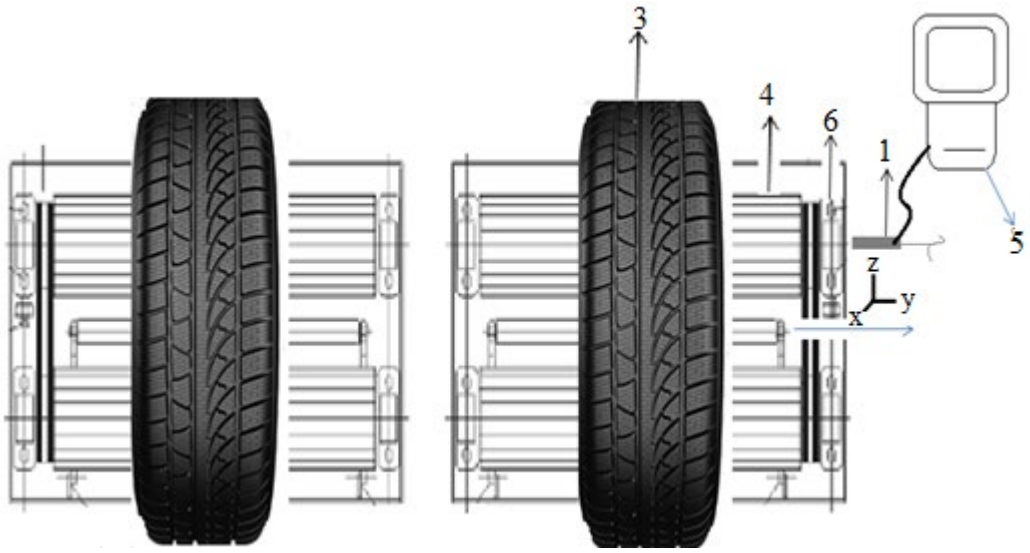
Şekil 5.1. Titreşim ölçüm düzeneği genel görünüşü.

Yapılan çalışmada rulman titreşim ölçümleri, fren test cihaz tamburlarının zemine sabitlenmesini sağlayan ve içerisinde rulman olan bir yatağın üzerinden alınmıştır.

Rulman titreşim ölçümleri, TÜVTÜRK Düzce Taşıt Muayene İstasyonu binek araç kanalında bulunan fren test cihazında yapılmıştır. Yapılan çalışmada 2017 model, kütlesi 1255 kg, ABS sistemi bulunan bir araç ile yapılmıştır. Çalışma sürecinde aracı bir kişi şoför koltuğunda kullanarak rulman titreşim ölçümleri alınmıştır. Tamburların yüklü olarak çalıştırılması şu şekildedir: araç ön tekerlekleri tamburlar üzerine geldiğinde orta rulo tarafından algılanarak tamburlar hareket etmektedir. Tamburların hareket etmesi suretiyle aracın lastikleri de dönmeye başlamaktadır. Tamburlar boşta elektrik motoru ile döndürülmesi esnada ise yüksüz deneyler yapılmıştır. Yüksüz konumda tamburların çalıştırılması ise fren test cihaz gösterge ekran panosunda bulunan şalter ile manuel olarak çalıştırılmaktadır. Elektrik motoru çalıştıktan sonra dişli ve zincir düzeneği ile tamburların dönmesi sağlanmaktadır. Çalışmanın şematik görünümü Şekil 5.3 ve çalışmanın test aşama görünümü Şekil 5.2'de görülmektedir.



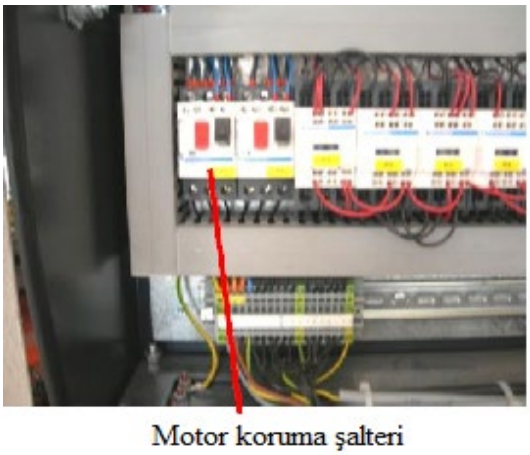
Şekil 5.2. Titreşim ölçüm düzeneği genel görünüşü.



Şekil 5.3. Elektro – mekanik fren test cihazın görünüşü ve parçaları.
1.İvme sensörü 2.Tekerlek orta devir sensörü 3.Binek araç tekerleği 4.Fren test cihaz rulosu (Tambur) 5.Titreşim ölçüm cihazı 6.Rulman.

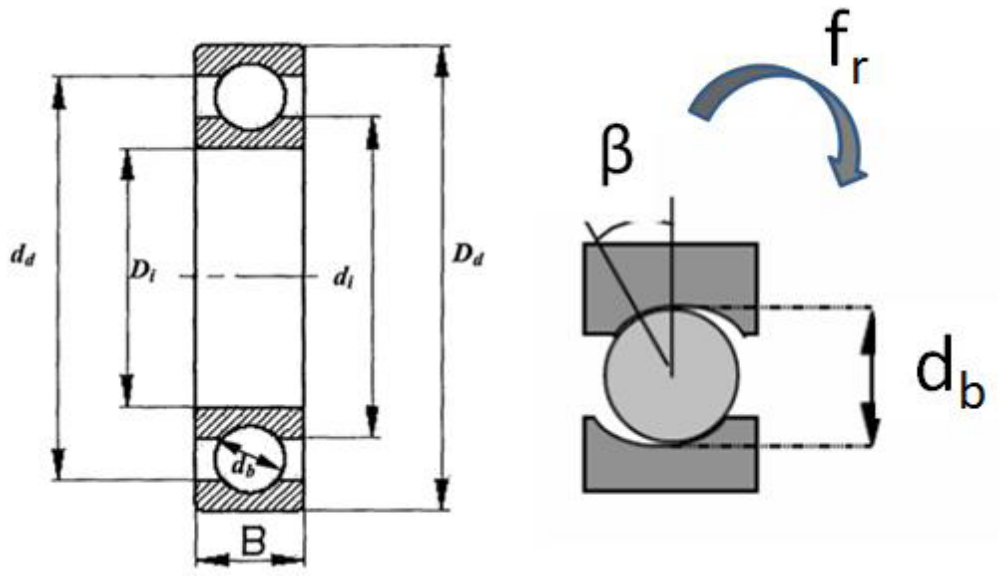
Fren test cihazı tamburlarını çalıştırmak için 3 KW gücünde bir doğru akım motoru kullanılmış ve motora bağlı dişli kasnak sistemi ile tambura bağlı dişlilere zincir ile hareket iletilmektedir.

Tambur rulmanında yüksüz konumda çalışması ise şu şekildedir: aracın tambur üzerinde olmadığı durumlarda fren test cihaz analog gösterge panosu üzerinde bulunan motor koruma şalteri ile tamburlar boşta (yüksüz) şekilde çalışması sağlanmaktadır.



Şekil 5.4. Motor koruma şalteri.

Gerçek çalışma düzeneğinde analiz edilmek üzere, Şekil 5.5'de geometrik özellikleri verilen, SNR firmasına ait US205G2 tek sabit bilyeli rulmanlar kullanılmıştır.



Şekil 5.5. SNR US205G2 rulmana ait geometrik özellikler.

n (bilye sayısı) = 9	D_d (dış bilezik dış çap) = 52 mm
PD = d_i +d_d /2 = 55,3 mm	d_d (dış bilezik iç çap) = 43.6 mm
d_b (bilye çapı) = 8,6 mm	d_i (iç bilezik dış çap) = 33.5 mm
f_r (devir frekansı-Hz) = 29.2/37.5	D_i (iç bilezik iç çap) = 25 mm
β (temas açısı) = 0	B (rulman genişliği) = 27 mm

Yapılan titreşim ölçümlerinde verileri alma ve analiz cihazı olarak el tipi, dört kanallı, portatif VIBROTEST 80 model bir titreşim ölçme cihazı ile ölçülmüştür. Cihaz, Brüel & Kjaer yazılım ve donanım sistemine sahiptir. Cihaz hafızasında bulunan analiz programı sayesinde, zamana bağımlı sonuçları FFT (fast fourier transform- hızlı fourier dönüşümü) kullanılarak frekans bağımlı sonuç halinde gösterilebilmekte ve verileri hafızasında saklayabilmektedir. Şekil 5.6'daki ivmeölçer SNR P205 rulman yatağı üzerine hızlı yapıştırıcı ile sabitlenerek ölçümler alınmaktadır [54].

Şekil 5.6. Vibrotest 80 titreşim ölçme cihazı.

Fren test cihaz tamburları yüklü ve yüksüz konumda 5 km/ h hızında dönmektedir. Tamburların bağlı olduğu rulman yatağından yüklü ve yüksüz konumda, rulman yatağı üzerine hızlı yapıştırıcı ile sabitlenen üç eksenli (x, y, z) Brüel & Kjaer 4527 model piezoelektrik ivmeölçer ile alınmıştır [49].

Çizelge 5.1. Üç eksenli ivmeölçerin özellikleri.

İvme Ölçer Tipi	Brüel&Kjaer 4527
Frekans Aralığı	0.3 - 10000 Hz
Hassasiyet	10 mV/g
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-60 - 180 ºC
Ağırlık	6 gram
Elektrik Bağlantısı	1-4 28 UNF
Rezonans Frekansı	30 kHz

Şekil 5.7. Brüel & Kjaer 4527 ivmeölçer.

Çalışma düzeneğinde alınan bütün ölçümler elektrik motor titreşimlerinden en az etkileneceği değerlendirilen motora uzak olan yatak üzerinden alınmıştır. Ölçümler rulman yatağının bir yerinden alınmıştır. Rulman yatağının üzerinden alınan ölçüm yerinde değişiklik olmamıştır.

Her deney için 60 saniye boyunca 5 kHz'e kadar olan titreşim sinyalleri alınmıştır. Ölçümler Hanning penceresinde 6400 çözünürlükte alınmıştır. Titreşim sinyallerinin genlik değerleri ortalama karekök (RMS) alma ile belirlenmiştir. Titreşim genliği g ölçeğindedir. Titreşim sinyalleri, üç eksenli (x, y, z) Brüel &Kjaer 4527 model bir piezoelektrik ivmeölçer ile alınmıştır. İvmeölçer rulman yatağı dış kısmına hızlı yapıştırıcı ile bağlanmıştır. Şekil 5.3'de görüldüğü gibi ivmeölçerin, yanal(CH1), eksenel (CH2) ve dikey (CH3) eksenleri sırayla x, y, z ile gösterilmiştir. Üç eksenli ivmeölçerin özellikleri Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Her bir deney için ivmeölçerin her bir kanalı ile ölçülen ivme değerlerinin ortalama karekök değerleri (rms) hesaplanmıştır. Her bir kanaldan elde edilen zaman bölgesi ivme değerlerinin rms'si, Eşitlik 5.1'de verilen denklem ile hesaplanmıştır [50], [51].

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} a_k^2} \tag{5.1}$$

Burada;
a_{rms}: İvme değerlerinin ortalama karekökü (m/s^2),
a_k: Zaman bölgesi verilerinin k'ıncı değeri (zaman bölgesinde tüm eksenlerde ivme ölçerden sayısal olarak alınmıştır),
n: Zaman bölgesi ivme değerlerinin sayısı (1.28 s süre için n = 16384)

Her bir motor devri için, tüm eksenlerden gelen titreşim verileri Eşitlik 5.2'de kullanılarak düzenlenmiş ve toplam titreşim ortalama değerleri (a_{toplam}) elde edilmiştir. Tüm eksenlerdeki a_{toplam} değerini elde etmek için, her bir eksendeki rms ivme değerleri kullanılmıştır [50], [51], [53].

$$a_{toplam} = \sqrt{a_{rms(x)}^2 + a_{rms(y)}^2 + a_{rms(z)}^2} \tag{5.2}$$

Burada;
a_{toplam}, toplam titreşim ortalama değeri, $a_{rms(x)}$, $a_{rms(y)}$ ve $a_{rms(z)}$, ise sırasıyla yatay, eksenel ve dikey yönlerdeki rms ivme değerleridir.

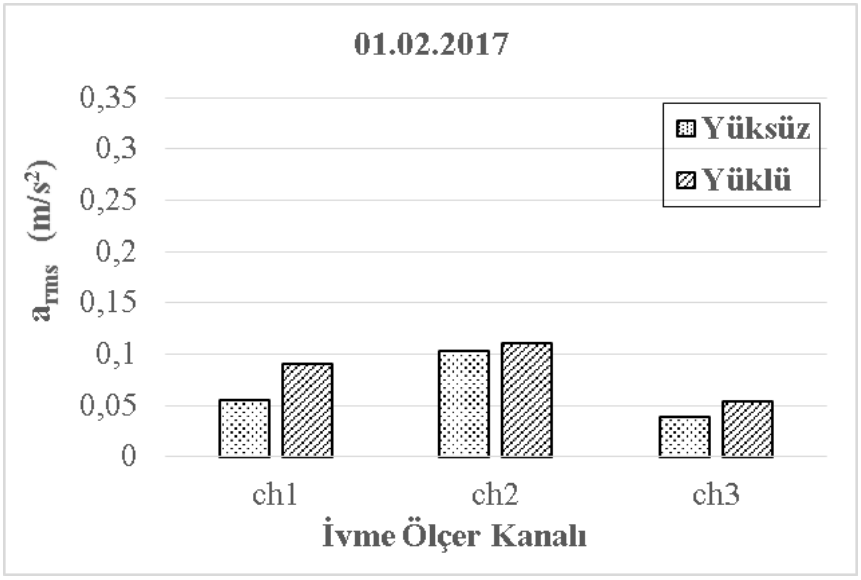
5.2. Veri Analizleri

Yapılan çalışma sonucunda fren test cihaz rulman yatağından elde edilen ivme değerlerinin ön analiz neticesinde radyal-eksenel (x-ekseni) doğrultusundaki ivme değerlerinin diğer yönlere göre yapılan analizler bu doğrultuda değerlendirilmiştir.

Ayrıca değerlendirmelerde fren test cihazında test edilen araçların ölçüm yapılan tarihler arasındaki sayılarda dikkate alınarak analiz yapılmıştır.

5.2.1. 01.02.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi

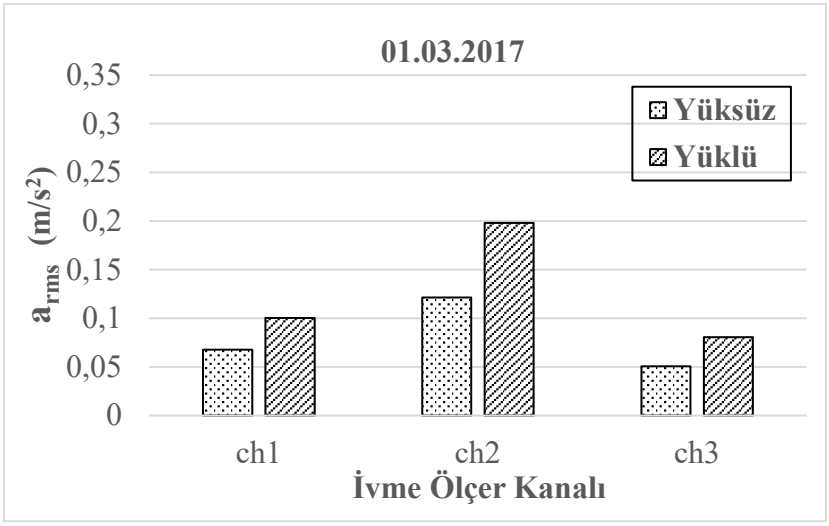
Şekil 5.8'de y-ekseni yönündeki zamana göre ivme artışı (x) ve (y) yönlerine göre yüklü ve yüksüz durumda daha fazla artış göstermiştir.



Şekil 5.8. 01.02.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri.

5.2.2. 01.03.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi

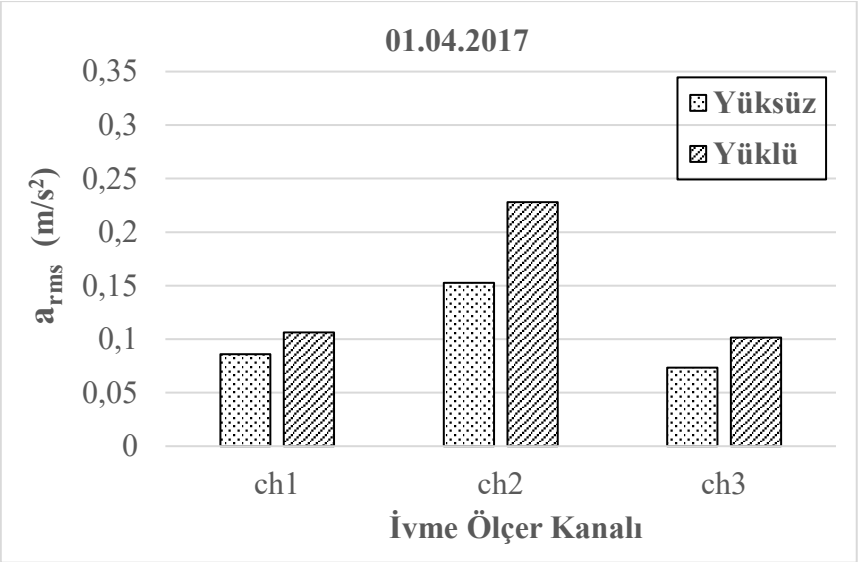
Şekil 5.9'da y-ekseni yönündeki zamana göre ivme artışı (x) ve (y) yönlerine göre yüklü ve yüksüz durumda daha fazla artış göstermiştir. Özellikle ch2 kanalında (y –ekseni) yüklü konumda bir önceki 01.02.2017 tarihli ölçüme göre aşırı ivme artışı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.9. 01.03.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri.

5.2.3. 01.04.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi

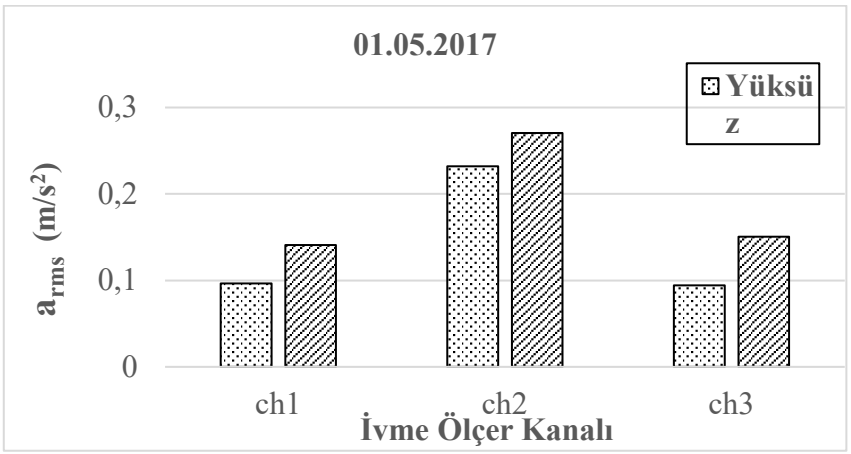
Şekil 5.10'da y-ekseni yönündeki zamana göre ivme artışı (x) ve (y) yönlerine göre yüklü ve yüksüz durumda daha fazla artış göstermiştir. Diğer kanallarda da önceki ölçümlerde artış görülmüştür.



Şekil 5.10. 01.04.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri.

5.2.4. 01.05.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi

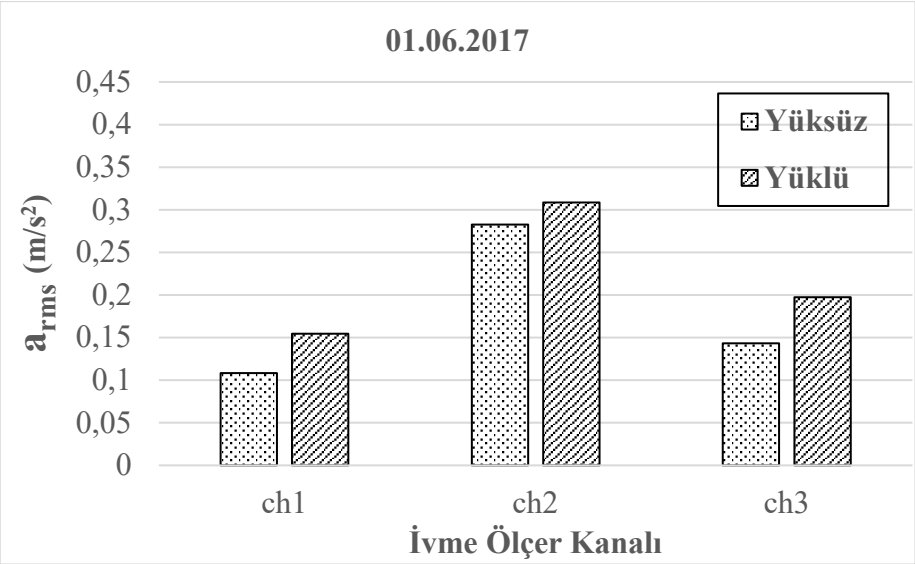
Şekil 5.11'de y-ekseni yönündeki zamana göre ivme artışı (x) ve (y) yönlerine göre yüklü ve yüksüz durumda daha fazla artış göstermiştir. Üç kanalda da yüklü durumda ivmede artış görülmektedir.



Şekil 5.11. 01.05.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri.

5.2.5. 01.06.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi

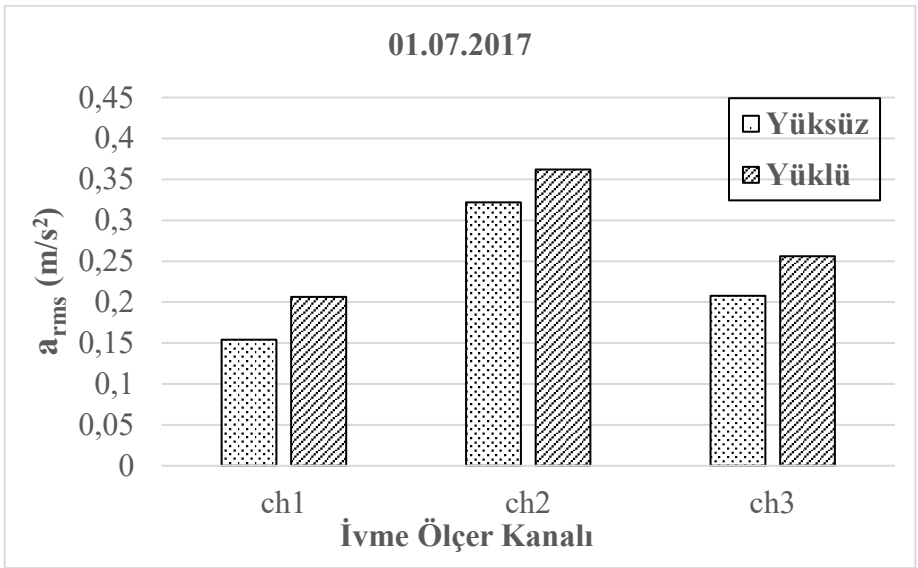
Şekil 5.12'de y-ekseni yönündeki zamana göre ivme artışı (x) ve (y) yönlerine göre yüklü ve yüksüz durumda daha fazla artış göstermiştir. Üç kanaldan ch2 ve ch3 de yüklü ve yüksüz durumda ivmede belirgin artış görülmektedir.



Şekil 5.12. 01.06.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri.

5.2.6. 01.07.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi

Şekil 5.13'de y-ekseni yönündeki zamana göre ivme artışı (x) ve (y) yönlerine göre yüklü ve yüksüz durumda daha fazla artış göstermiştir. Üç kanaldan ch2 ve ch3 de yüklü ve yüksüz durumda ivmede belirgin artış görülmektedir.

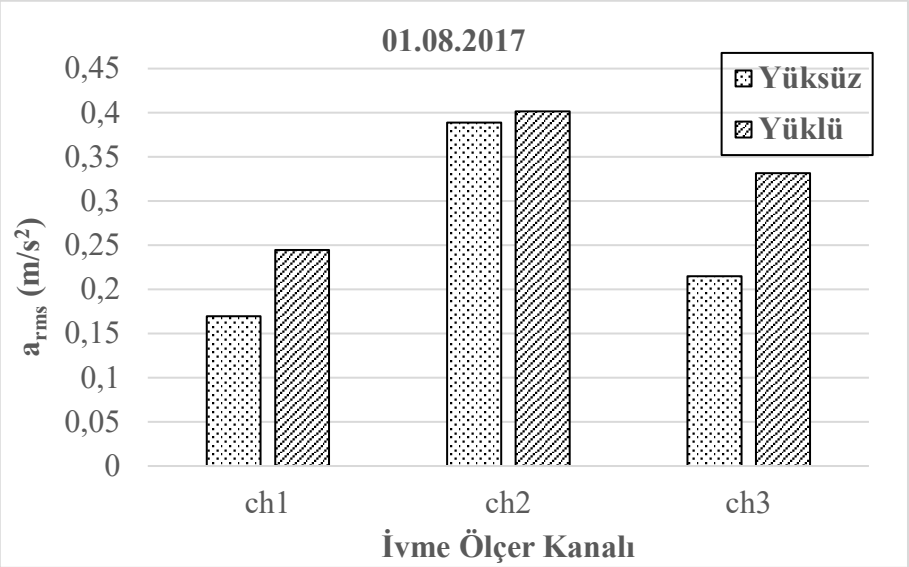


Şekil 5.13. 01.07.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri.

5.2.7. 01.08.2017 Tarihli Rulman Veri Analizi

Şekil 5.14'de yapılan son ölçümde görüleceği üzere diğer ölçümlerde olduğu gibi y-ekseni yönündeki zamana göre ivme artışı (x) ve (y) yönlerine göre yüklü ve yüksüz durumda daha fazla artış göstermiştir. Genel itibariyle ivme miktarı zaman içerisinde

fren test cihazının kullanımına göre her eksende artış göstermiştir. Üç kanalın içerisinde de yüklü ve yüksüz durumda ch2 kanalındaki (y-eksenel) ivme değerinde belirgin artışlar görülmüştür.



Şekil 5.14. 01.08.2017 tarihli ölçülen ivme değerleri.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. BULGULAR

Fren test cihazı elektrik motoru yüklü ve yüksüz duruma bağlı olarak, titreşim karakteristiğinin değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Fren test cihaz tambur hızı yüklü ve yüksüz 5 km/h (476 d/d) hızındadır. Zaman bölgesi titreşim sinyalleri belirtilen örnekleme frekansında 2,59 saniye kayıt süresi için alınmıştır. Her bir ölçüm için 16384 veri alınmıştır. Yüklü ve yüksüz konumda tüm motor devirleri için yanal (x), eksenel (y) ve dikey (z) eksenlerde Eşitlik 5.1'e göre elde edilen RMS ivme değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

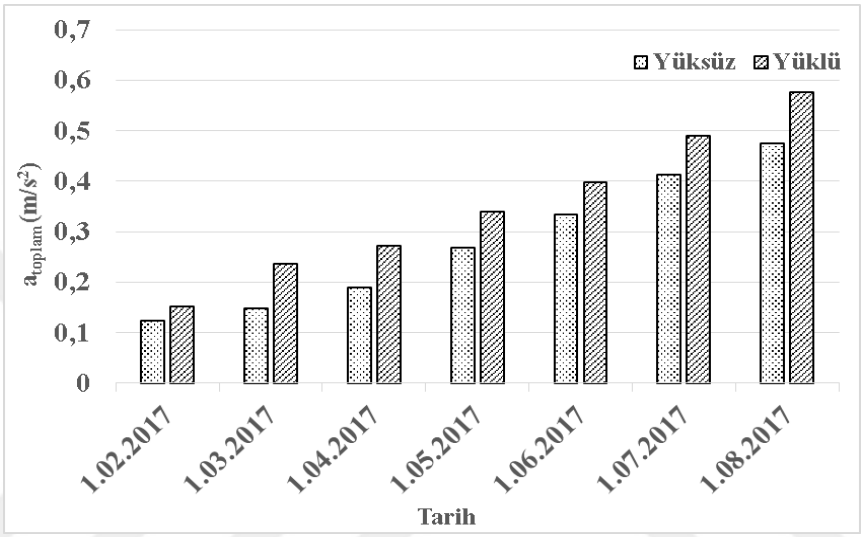
Çizelge 6.1. Tüm kanallardan elde edilen verilere göre hesaplanan a_{rms} titreşim değerleri.

Tarih		ch1(x)	ch2 (y)	ch3 (z)
		(m/s^2)	(m/s^2)	(m/s^2)
01.02.2017	Boş	0,055103	0,103503	0,038556
	Yüklü	0,08986	0,110603	0,054327
01.03.2017	Boş	0,06772	0,121398	0,050629
	Yüklü	0,100204	0,198072	0,080647
01.04.2017	Boş	0,085861	0,152536	0,073541
	Yüklü	0,10623	0,228009	0,101506
01.05.2017	Boş	0,096316	0,232164	0,094292
	Yüklü	0,141055	0,270487	0,150376
01.06.2017	Boş	0,108254	0,282486	0,143344
	Yüklü	0,154691	0,308445	0,197506
01.07.2017	Boş	0,154094	0,321919	0,207728
	Yüklü	0,206207	0,362031	0,256273
01.08.2017	Boş	0,16944	0,388976	0,215005
	Yüklü	0,24463	0,40145	0,331659

Çizelge 6.1'de görüldüğü gibi tüm ölçümlerde elde edilen ivme değerleri tarihe bağlı olarak artmaktadır. Bu durum tarihe bağlı olarak fren test cihazında test edilen araç sayısının artmasına bağlıdır. Tarihe bağlı olarak artan araç sayısı, fren test cihazı rulmanlarını aşındırmıştır. Bu nedenle 01.02.2017 tarihinde cihazın tambur rulmanı

üzerinden elde edilen titreşim değeri tüm kanallar için en küçük iken, 01.08.2017 tarihinde ölçülen titreşim değerleri daha büyüktür.

Şekil 6.1'de tüm tarihler için hesaplanan toplam titreşim ortalama değerleri (a_{toplam}) değerleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi tüm tarihlerde fren test cihazı tamburları yüklü iken daha büyük titreşim değerleri elde edilmiştir. Cihazın tamburu üzerine gelen yük doğrudan rulman üzerine de etkidiğinden dolayı, yüklü durumda iken daha büyük titreşim değerleri elde edilmiştir. Cihaz rulmanlarının zamana bağlı olarak yıpranması toplam titreşim ortalama değerlerini tarihe bağlı olarak artırmıştır.



Şekil 6.1. Tarihe bağlı olarak hesaplanan a_{toplam} değerleri.

6.2. TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı TÜVTÜRK Düzce araç muayene istasyonunda bulunan fren test cihazı tamburu yataklama rulmanlarının zamana bağlı olarak titreşim değerleri belirlemektir. Böylece yorulmaya bağlı olarak rulman titreşim değerleri zamana bağlı olarak belirlenmesiyle birlikte fren test cihazında ani arızalarla karşılaşılıp araç fren testlerinin plansızca duraksaması önlenerek gereksiz zaman kayıpları ve maliyet önlenmiş olacaktır. Deneyler öncelikle fren test cihazı boşta çalışır iken (yüksüz) yapılmıştır. Daha sonra cihaz üzerinde araç var iken (yüklü) konumda yapılmıştır. Tüm ölçümlerde elde edilen ivme değerleri tarihe bağlı olarak artmaktadır. Bu durum tarihe bağlı olarak artan araç sayısı fren test cihazı rulmanlarını aşındırmıştır. Bu nedenle 01.02.2017 tarihinde cihazın tambur rulmanı üzerinden elde edilen titreşim değeri tüm kanallar için en küçük iken, 01.08.2017 tarihinde ölçülen titreşim değerleri daha büyüktür.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Döner makinelerde çok sık kullanılan rulmanların arızalarında etkisi olan zamanla ve kullanıma bağlı yorulmaya bağlı arızaların titreşim analiz yöntemiyle yapılan bu araştırmada, fren test cihazı kullanılan araç sayısı artışına göre rulmanın titreşim ölçüleri gözlemlenmiştir.

Fren test cihaz tambur rulmanından alınan titreşim ölçümleri neticesine, üç eksenli ivmeölçerden alınan veriler kayıt altına alınmıştır. Alınan bu verilerde x (yatay), y (eksenel), z (dikey) yönlerinde araç sayısına bağlı olarak rulmanın ivme genliklerinde artış görülmüştür.

Çalışmanın en önemli amacı ve ortaya bu konunun seçilmesindeki neden, yaşanmış olan olumsuz durumlardan kaynaklanmaktadır. Araç muayene istasyonunda, muayene için gelen araçların çeşitli teknik şartları ölçülerek ve kontrol edilerek değerlendirme yapılmaktadır. Bu ölçme ve değerlendirme içerisinde fren sistemi ölçme ve kontrolleri de yapılmaktadır. Dolayısıyla fren test cihazı dönerli bir mekanizmaya sahip olduğu için rulmanlarda meydana gelen arıza durumlarında fren test cihazı kullanılamamaktadır. Fren test cihazı kullanılamayınca muayene hizmeti aksamaktadır. Bu düşünce ve yaşanmış örnekler göz önüne alındığında yapılan çalışma ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada kullanılan rulman gibi dönerli makinelerde zamanla çevresel şartlardan, yetersiz yapılan bakımlardan, malzemenin yorulmasından vb. kaynaklı olumsuz etkenler rulmanların hasar görmesi sonucu makinelerin, fren test cihazlarının çalışmalarının durması kestirimci bakımın önemini bir kez daha ortaya koyması ile şu sonuca ulaşılmıştır.

Fren test cihazında kullanılan araç sayısı artması sonucu Şekil 6.1'de görüldüğü gibi rulman ivme genlikleri arttığı görülmüştür. Bu durum tarihe bağlı olarak araç sayısının artışı rulman üzerine yükün artması ile birlikte bunun sonucunda yorulmaya bağlı rulmanda aşınma meydana gelmiştir.

Ölçümlerin alındığı ilk tarih ile son tarih arasındaki ölçümlerde fren test cihaz tamburları yüklü iken büyük değerler ortaya çıkmıştır. Cihaz üzerine gelen yük direkt

rulman üzerine etkilediği için bu durumlarda rulman titreşim genlik değerleri en yüksek sonucu çıkmıştır. Cihaz rulmanlarının zamana bağlı olarak yıpranması toplam titreşim ortalama değerlerini tarihe bağlı olarak artırmıştır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada, rulmanların fren test cihazlarında kullanılan en önemli makine parçası olduğu dikkate alınırsa, titreşim analizine dayalı kestirimci bakım sisteminin araç muayene istasyonlarında kullanılmasının bu tür makinelerde arızanın önceden tespiti ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmasının bir adım öteye taşınması noktasında araç muayene istasyonlarında ağır vasıta fren test cihazları içinde benzer bir çalışma yapılabilir. Bunun ile birlikte araç muayene istasyonlarında binek veya ağır vasıta fren test cihazlarında anlık, habersiz oluşan arızaların önüne, titreşim analiz ile kestirimci bakım yöntemi uygulanarak muayene hizmetinin aksaması önlenmiş olacağını bu çalışmada gösterilmiştir. Fren test cihaz rulmanlarına bir düzenek kurulması sayesinde bilgisayar destekli kestirimci bakım ile rulmanların durumları izlenerek, bilgisayar sisteminde kurulacak bir uyarı mekanizması ile belirlenecek standart limitlerin aşılması durumlarında erken müdahale edilmesi ile olası anlık ve habersiz duruşların önüne geçilebilir.

8. KAYNAKLAR

[1] M. Çimen,“Bilyeli rulman hasarlarının titreşim analizi ile tespiti ve gemi makinelerinde kestirimci bakım uygulaması,” Yüksek lisans tezi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.

[2] M. Kalyoncu, “Titreşim analizi ile makine elemanları arızalarının belirlenmesi,” *Mühendis ve Makine*, c. 47, sayı 552, ss. 28-35, 2006.

[3] H. Arslan ve N. Aktürk, “Açısal temaslı bilyalı rulmanlarda bilye titreşimlerinin incelenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c.19, sayı 3, ss. 305-312, 2004.

[4] N. Aktürk, M. Uneeb and R. Gohar, "The effects of number of balls and preload on vibrations associated with ball bearings," *Journal of Tribology*, sayı 119, ss. 747-753, 1997.

[5] P. D. McFadden and J. D. Smith, “Model for the vibration produced by a single point defect in a rolling element bearing,” *Journal of Sound and Vibration*, sayı c.1a, 96, ss. 69-82, 1984.

[6] P. D. McFadden and J. D. Smith, “The vibration produced by a multiple point defect in a rolling element bearing”, *Journal of Sound and Vibration*, c. 2, sayı 98, ss. 263-273, 1985.

[7] J. I. Taylor, "Identification of bearing defects by spectral analysiss," *Journal of Mechanical Design*, sayı 102, ss. 199-205, 1980.

[8] Y. T. Su, M. H. Lin and M. S. Lee, "The Effects of Surface Irregularities on Roller Bearing Vibrations," *Journal Sound and Vibration,* c. 3, sayı 165, ss. 455-466, 1993.

[9] C. Aliustaoğlu, H. Ocak ve H. M. Ertunç, “Rulman titreşim ile bölgesel hataların incelenmesi.” *TOK'07 Bildiriler Kitabı.* İstanbul, Türkiye, 2007.

[10] A.İ. Engür, “Kestirimci bakımda titreşim analizi,” *Mühendis ve Makine Dergisi,* c. 48, sayı 570, ss. 21-31, 2007.

[11] S. Orhan, N. Aktürk, “Aktarma organı dişlilerinde oluşan fiziksel hataların titreşim analizi ile belirlenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* c.18, sayı 3, ss. 97-106, 2003.

[12] H. Arslan, S. Orhan, N. Aktürk, “Bilyalı rulman hasarlarının neden olduğu titreşimlerin modellenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* c. 18, sayı 4, ss.123-146, 2003.

[13] T. Karaçay, N. Aktürk, “Bilyalı rulman yerel kusurlarının neden olduğu titreşimlerin modellenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,* c. 24, say 2, ss.191-197, 2009.

[14] S. Orhan, “Dönen makinelerde oluşan arızalar ve titreşim ilişkisi,” *Teknoloji Dergisi*, sayı 3-4, ss. 41-48, 2015.

[15] G. Yaman, H. M. Karadayı, “Titreşim analizi ile pompalarda arıza tespiti ve kestirimci bakım için örnek bir çalışma,” *Tesisat Mühendisliği Dergisi,* sayı 140, ss. 36-51.

[16] V. İ. Baykara, "Titreşim analizi ile şanzımanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım", Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2009.

[17] R. U. Çetinus, “Mekanik sistemlerde farklı modellerde aktif titreşim,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 2010.

[18] S. Orhan, N. Aktürk, ve V. Çelik, "Bir santrifüj pompa rulmanlarının çalışabilirliğinin titreşim analizi ile belirlenmesi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 16, sayı 3, ss. 543-552, 2003.

[19] R. K. Mobley, *An introduction to predictive maintenace*, New York, USA: Van Nostrand Reinhold, 1990, ss. 1-16.

[20] C. Chu, J.M. Proth ve P. Wolff, "Predictive maintenance: The one-unit replacement model," *International Journal Production Economics*, sayı 54, ss. 285-295, 1998.

[21] MAHA Maschinenbau Haldenwang. (Editörler), *IW 2 Lon Competence Rulo Fren Test Kullanım Kitabı*, Haldenwang: CITA International Motor Vehicle Inspection Committee, ss. 1-20, 2007.

[22] H. B. Denli, “Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi,” Yüksek lisans tezi, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Universitesi, Mersin, Türkiye, 2007.

[23] F. J. Bartos, “Predictive maintenance maximizes machinery healths,” *Control Engineering*, c. 46, sayı 7, ss. 51 -52, 1999.

[24] P. G. Ball, **“**Machine wear analysis- A rotational ap proach to methods ıntegration for maximum benefits,” *Lubrication Engineering*, c. 54, sayı 3, ss. 18-22, 1998.

[25] Worl Pumps, “On the road to effective predictive maintenance,” *World Pumps*, sayı 385, ss. 43-45, 1998.

[26] M. F. Karahan, “Titreşim analizi ile makinelerde arıza teşhisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye, 2005.

[27] S. Arslan, “Titreşim analizi ile fanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2010.

[28] S. Orhan, N. Aktürk ve V. Çelik, “Bir santrifüj pompa rulmanlarının çalışabilirliğinin titreşim analizi ile belirlenmesi,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 16, sayı 3, ss. 543–552, 2003.

[29] S. Orhan, “Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakımı,” Doktora tezi, Makine Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, 2002.

[30] N. Tandon ve A. Choudhury**, “**A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings,” *Tribology international*, c. 32, sayı 8, ss. 469-480, 1999.

[31] H. B. Denli, “Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi”, Yüksek lisans tezi, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye, 2007.

[32] J. Elliott.(2015,03 Ekim). *Rulman (Bilyeli Yatak).* [Online]. Erişim: https://www.kimnezamanicatetti.com/rulman-bilyeli-yatak/.

[33] Anonim, (2019, 25 Haziran). [Online]. Erişim: https://engineeredblog.files.wordpress.com/2015/05/1.jpg.

[34] Anonim,(2019,26Haziran).[Online].Erişim: http://ekolekspertiz.com/UploadedFiles/0f960e6b-2b31-494c-8c17-85142a5541cd.pdf.

[35] S. Orhan, H. Arslan ve N. Aktürk, "Titreşim analiziyle rulman arızalarının belirlenmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 18, sayı 2, ss. 39-48, 2003.

[36] R. K. Mobley, *Vibration Fundamentals*, USA*: Butterworth*-Heinemann, 1999.

[37] A.Y. Maalej, D. A. Guenther ve J. R. Ellis, “Experimental development of tyre force and moment models”, *Intirnaional Journal Of Vehicle Design*, c. 10, sayı 1, 1989.

[38] P. Oppenhelmer, “Comparing stopping capability of cars with and without antilock braking systems (ABS),” Society of Automotive Engineers, USA, Rep. No 880324, 1988.

[39] H. B. Pacejka ve R. S. Sharp, “Shear force development by pneumatic tyres in steady state conditions: A review of modeling aspects,” *Vehicle System Dynamics*, c. 20, ss. 121-176, 1991.

[40] Y. Q. Wang, R. Gnadler, R. Schieschke, “Vertical load-deflection behaviour of a pneumatic tire subjected to slip and camber angles,” *Vehicle System Dynamics*, c. 25, ss. 137-146, 1996.

[41] J. C. Dixon, Tires, Suspension and Handling, 2nd ed., Society of Automotive Engineers, USA, 1996.

[42] T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, United States of America, 1992.

[43] S. Çetinkaya, Taşıt Mekaniği, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 1999.

[44] A. Lök, “Trafikte güvenlik için fren ve anti-blokaj sistemi,” *2. Ulusal Trafikte Güvenlik ve Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, Türkiye, 1995.

[45] E. E. Stewart ve L. L. Bowler, “Road testing of wheel slip control systems in the laboratory,” International Automotive Engineering Congress, USA, Detroit, Mich, Rep. Society of Automotive Engineers No 690215, 1969.

[46] H. Bayrakçeken, “Motorlu taşıtlarda fren performans analizi ve geliştirilen test cihazında uygulaması,” Doktora tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.

[47] H. Bayrakçeken, “Motorlu taşıtlarda fren performans analizi ve geliştirilen test cihazında uygulaması,” Doktora tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.

[48] Anonim, (2019, 29 Haziran). [Online]. Erişim: https://eshop.ntn-snr.com/en/USP-205-2249684.html?catalogParam%5BshopId%5D=12076.

[49]Anonim,(2019,01Temmuz).[Online].Erişim:https://www.bksv.com/en/products/transducers/vibration/vibration/vibration-transducers/accelerometers/4527.

[50] A. Taghizadeh-Alisaraei, B. Ghobadian, T. Tavakoli-Hashjin, S. S. Mohtasebi ‘‘Vibration analysis of a diesel engine using biodiesel and petrodiesel fuel blends,’’ *Fuel*, c.102, ss.414–422, 2012.

[51] S. Sarıdemir, H. Saruhan ‘‘Experimental analysis of maximum valve lift effects incam-follower system for internal combustion engines,’’ *Journal of Mechanical Science and Technology (ISI),* c.9, 28 sayı, ss. 3443-3448, 2014.

[52] TÜVTÜRK (Editörler), *Sabit İstasyonlar Muayene Ekipmanları Bakım ve Arıza Rehberi,* İstanbul ,Türkiye*:* TÜVTÜRK Yayınları 2018, ss.1-9.

[53] Anonim, (2019, 29 Haziran).[Online]. Erişim: http://www.vibrasyon.com/index.asp.

[54]Anonim,(2019,01Temmuz).[Online].Erişim:http://bruel.hu/pdf/VT-80_VP-80_AB_Allrounders.pdf.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Yekda ŞAHİN

Doğum Tarihi ve Yeri : 11.02.1977 Ordu

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : yektasahin@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	-
Lisans	Otomotiv Öğretmenliği	Marmara Üniversitesi	2004
Lise		Haydarpaşa Lisesi	1996

YAYINLAR