KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAĞIT ÜRETİM SİSTEMİNDEKİ KURUTUCU SİLİNDİR VE SİRKÜLASYON FANININ KESTİRİMCİ BAKIM TEKNİĞİ İLE ARIZA TAKİBİ VE TİTREŞİM ANALİZİYLE TESPİTİ

FATİH DEREOĞLU

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAĞIT ÜRETİM SİSTEMİNDEKİ KURUTUCU SİLİNDİR VE SİRKÜLASYON FANININ KESTİRİMCİ BAKIM TEKNİĞİ İLE ARIZA TAKİBİ VE TİTREŞİM ANALİZİYLE TESPİTİ

FATİH DEREOĞLU

Prof. Dr. Sedat KARABAY
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Prof. Dr. Recep KOZAN
Jüri Üyesi, Sakarya Üniversitesi .....

Doç. Dr. Alpay Tamer ERTÜRK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 17.07.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İlk olarak yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgisi ve motivasyonu ile beni destekleyen, sınırsız sabrı ile bu tezin araştırma ve yazımının her aşamasında bana yardımcı olan danışmanım Prof. Dr. Sedat Karabay'a sonsuz şükranlarımı sunmak isterim.

Tez aşamasında teknik destek veren, uygulama ve tez yazımı sırasında değerli vakitlerini bana ayıran, ekip arkadaşlarıma ve SKF teknik destek ekibine sonsuz teşekkürler ediyorum.

Ayrıca, analiz ve veri toplama aşamasında, desteği ve tecrübesi ile beni yönlendiren değerli kurum ve çalışma arkadaşımlarım Yasin Dinç, Engin Öndersev ve Soner Özdil'e çok teşekkür ediyorum.

Son olarak, manevi desteğini esirgemediği ve her ihtiyaç duyduğumda yanımda olduğu için eşim Uzm. Dt. İrem Dereoğlu'na en derin duygularımla teşekkür ederim.

Temmuz – 2020 Fatih DEREOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI 3
1.1. Genel Bilgiler 3
1.2. Literatür Çalışması 3
2. BAKIM YÖNTEMLERİ 6
2.1. Arızi Bakım 6
2.2. Önleyici Bakım 6
2.3. Kestirimci Bakım 7
2.4. Proaktif Bakım 8
3. KESTİRİMCİ BAKIM TEKNİKLERİ 9
3.1. Titreşimin İzlenmesi 9
3.2. Akustik Emisyon 9
3.3. Yağ Analizi 9
3.4. Partikül Analizi 9
3.5. Korozyonun İzlenmesi 9
3.6. Isı Grafiği 10
3.7. Performans İzlenmesi 10
4. TİTREŞİM 11
4.1. Periyot (T) 11
4.2. Frekans (f) 11
4.3. Faz (ϕ) 11
4.4. Genlik 12
4.4.1. Tepe değer (Peak) 12
4.4.2. Tepeler arası değer (Peak to Peak) 12
4.4.3. Etkin değer (RMS- Root Mean Square) 13
4.4.4. Ortalama (Average) 13
4.4.5. Yer değiştirme (Deplasman) 13
4.4.6. Hız 13
4.4.7. İvme 13
4.5. Dalga Formları 13
4.6. Harmonik 13
4.7. Yan Bantlar 15
5. TİTREŞİM ANALİZİ 16
5.1. Titreşim Analizi ile Arıza Tespitleri 17
5.1.1. Balanssızlık 18
5.1.2. Eksen kaçıklığı (Kaplin ayarsızlığı) 19

5.1.3. Rulman hasarları 21
5.1.3.1. Rulman hasar aşamaları 23
5.1.3.2. Rulman hasar frekansları 25
5.1.4. Mekanik gevşeme 26
5.1.5. Rezonans 27
5.1.6. Dişli hasarları 27
5.2. Titreşim Ölçüm Noktaları 28
5.3. Titreşim Ölçümleri Nasıl Alınır? 29
5.4. Titreşim Ölçümlerinde Kullanılan Transdüserler 30
5.4.1. Deplasman sensörleri (Eddy prob) 30
5.4.2. Hız sensörleri 30
5.4.3. İvme sensörleri 31
5.5. Sensör Montaj Yöntemleri 31
5.5.1. Saplama ile montaj 31
5.5.2. Yapıştırarak montaj 31
5.5.3. Önceden monte edilmiş bir diske montaj 31
5.5.4. Mıknatıs ile tutturma 32
5.5.5. Elle tutma 32
5.6. Titreşim Standartları 33
6. ÇALIŞMADA KULLANILAN EKİPMANLAR VE UYGULANAN YÖNTEM ANALİZİ 35
6.1. Uygulama Çalışmaları 35
6.2. Titreşim Analizinde Kullanılan Ekipmanlar 35
6.3. Çalışmada Kullanılan Makinalar ve Ekipmanlar 38
6.3.1. Yankee kurutucu silindirleri 38
6.3.2. Yaş Kısım Sirkülasyon Fanı 44
6.4. Yöntem – Arıza Takibi 45
6.5. Çalışmanın Amacı 46
7. BULGULAR VE TARTIŞMA 48
7.1. KM2 Yaş Silindir Sirkülasyon Fan Ölçümleri 48
7.1.1. Arıza teşhisi 48
7.1.2. Arızaya müdahale ve arızanın giderilmesi 50
7.2. KM1 Yankee Kurutucu Silindirleri Rulman Ölçümleri 54
7.2.1. Redüktör arıza teşhisi 54
7.2.2. Redüktör arızaya müdahale ve arızanın giderilmesi 55
7.2.3. Rulman arıza teşhisi 57
7.2.4. Rulman arızasına müdahale ve arızanın giderilmesi 60
8. GÜNCEL YÖNTEMLER 68
8.1. Yaklaşık Entropi ile Rulman Hasarı Tespiti 68
8.2. Permutasyon Entropisi ile Rulman Hasar Tespiti 68
8.3. Dalgacık Paket Dönüşümü Hasar Tespiti 68
8.4. Ayarlanabilir Q Faktör ile Dalgacık Dönüşümü 69
8.5. Lempel – Ziv Karmaşıklığı 69
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 70
KAYNAKLAR 74
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 77
ÖZGEÇMİŞ 78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1. İki benzer dalga arasındaki 11
Şekil 4.2. Vibrasyon skala faktörleri 12
Şekil 4.3. Dalga formu 14
Şekil 5.1. Makine arıza noktaları 17
Şekil 5.2. Balanssızlığa bağlı dalga formu grafiği 19
Şekil 5.3. Balanssızlığa bağlı spektrum grafiği 19
Şekil 5.4. Açısal ayarsızlık 20
Şekil 5.5. Paralel ayarsızlık 20
Şekil 5.6. Rulman Geometrisi 25
Şekil 5.7. Mekanik gevşekliğe örnek spektrum grafiği 27
Şekil 5.8. Makinanın parçalarının sınıflandırılması 28
Şekil 5.9. Ölçüm noktaları 29
Şekil 5.10. Mıknatıs ile tutturma yöntemi ile gerçekleştirilen ölçüm 32
Şekil 5.11. Sensör montaj kontrolü 32
Şekil 5.12. Sensör montaj yöntemleri 33
Şekil 6.1. SKF Microlog GX 36
Şekil 6.2. SKF CMSS2200 Model 36
Şekil 6.3. SKF CMSS2200 Transdüser Bağlantı Detayları ve 37
Şekil 6.4. Yankee Kurutucu Silindiri 39
Şekil 6.5. KM2 Yankee Kurutucu Silindiri kurulum öncesi 40
Şekil 6.6. Yankee Kurutucu silindiri ve dış ekipmanlar 41
Şekil 6.7. Yankee Kurutucu silindiri şematik gösterimi 41
Şekil 6.8. Yankee Kurutucu silindiri rulmanı ve rulman yatakları 42
Şekil 6.9. Yankee Kurutucu silindiri redüktörü 42
Şekil 6.10. Yankee Kurutucu silindiri redüktörü teknik resmi 43
Şekil 6.11. Yankee Kurutucu silindiri redüktörü titreşim ölçüm noktaları 43
Şekil 6.12. Yaş kısım Sirkülasyon Fanı 44
Şekil 7.1. Yaş kısım sirkülasyon fanı kaplin tarafı yatak rulmanı trend grafiği 49
Şekil 7.2. Sirkülasyon fanı kaplin tarafı yatak rulmanı spektrum grafiği 49
Şekil 7.3. Yaş kısım sirkülasyon fan kaplin taraf rulman hız ölçümü 50
Şekil 7.4. Yaş kısım sirkülasyon fan motor eksenel ölçümü 50
Şekil 7.5. Balans işlemi sonrası fan ve fan üzerindeki ağırlık 51
Şekil 7.6. Fan balans ölçümleri 1 52
Şekil 7.7. Fan balans ölçümleri 2 52
Şekil 7.8. Fan balans ölçümleri 3 53
Şekil 7.9. Yedek sirkülasyon fanı mil yatağı 53
Şekil 7.10. Fan balans görünümü 53
Şekil 7.11. KM1 Yankee Motor Rulmanı Trend grafiği 54
Şekil 7.12. Kondens suyunun kurutucu içindeki görünümü 55
Şekil 7.13. KM1 Redüktör Rulman spektrum grafiği 55
Şekil 7.14. KM1 Yankee Redüktör Rulmanı trend ölçüm grafiği 56
Şekil 7.15. KM1 Redüktör Rulman spektrum grafiği 56
Şekil 7.16. KM1 Yankee Kurutucu Redüktörü Dişli trend ölçümü 57

Şekil 7.17. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı trend grafiği 57
Şekil 7.18. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı trend grafiği-2..... 58
Şekil 7.19. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı spektrum grafiği 58
Şekil 7.20. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı spektrum grafiği-2..... 59
Şekil 7.21. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı spektrum grafiği-3..... 59
Şekil 7.22. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı spektrum grafiği-4..... 59
Şekil 7.23. Rulman arızası olmadığı durum zaman grafiği..... 60
Şekil 7.24. Rulman arızası olduğu durum zaman grafiği..... 60
Şekil 7.25. Buhar başlığı demontajı 61
Şekil 7.26. Rulman kapağı demontajı 62
Şekil 7.27. Rulman somun demontajı 63
Şekil 7.28. Hidrolik kriko kullanımı 63
Şekil 7.29. Kompratör ile sıfırlama -1 63
Şekil 7.30. Kompratör ile sıfırlama -2 64
Şekil 7.31. Kompratör ile sıfırlama -3 64
Şekil 7.32. Somun pozisyonu yerinde..... 64
Şekil 7.33. Manşon serbest temsili..... 65
Şekil 7.34. Konik düzende somun..... 65
Şekil 7.35. Şaft üzerine vidalanmış somun 65
Şekil 7.36. HMV…E somunu 66
Şekil 7.37. Özel durdurma somunu..... 66
Şekil 7.38. Demonte rulman..... 66
Şekil 7.39. Montajı gerçekleştirilmiş rulman..... 67
Şekil 7.40. Dış bilezik hasarı..... 67

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Makinaların çalışma şartlarını belirleyen parametreler 10
Tablo 5.1. Balanssızlık Pikinin Faz Ölçümlerine Cevapları 18
Tablo 5.2. Titreşim genliğine göre ölçüm yönü ve faz ilişkisi..... 21
Tablo 5.3. Rulman Hasar Tablosu..... 23
Tablo 5.4. Dönen ve dönmeyen parçalara göre gevşeklik 26
Tablo 5.5. ISO 2372 34
Tablo 5.6. ISO 3945 34
Tablo 6.1. Çalışma Akış Şeması 46

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Axial (Eksenel)
BPFI	: İç bilezik arıza frekansı
BPFO	: Dış bilezik arıza frekansı
BSF	: Bilya dönüş frekansı
d	: Bilya çapı
D	: Bölüm daire çapı
f	: Frekans
FTF	: Kafes arıza frekansı
G	: İvme birimi
gE	: İvme birimi
h	: Harmonik
H	: Horizontal (Yatay)
Hz	: Hertz
Mm	: Milimetre
N	: Bilya sayısı
n	: Mil devrini
N_b	: Yuvarlanma eleman sayısını
sn	: Saniye
T	: Periyot (Zaman)
V	: Vertical (Dikey)
A	: Temas açısı, (°)
υ	: Vibrasyon hızı, (mm/sn)
°C	: Santigrat derece
1x	: Temel frekansın birinci harmoniği (katı)

Kısaltmalar

A	: Axial (Eksenel)
BPFI	: Inner race defects (İç bilezik arıza frekansı)
BPFO	: Outer race defects (Dış bilezik arıza frekansı)
BSF	: Ball or roller defects (Bilya dönüş frekansı)
CPM	: Cycle per minute (Dakikadaki dönüş sayısı)
f	: Frekans
FFT	: Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
FTF	: Cage Defects (Kafes arıza frekansı)
g	: İvme birimi
gE	: İvme birimi
H	: Horizontal (Yatay)
Hz	: Hertz
Kg	: Kilogram
KM1	: Kağıt Makinası 1
KM2	: Kağıt Makinası 2
kN	: Kilonewton

kPa	: Kilopascal
mm	: Milimetre
N	: Bilya sayısı
P	: Peak (Tepe)
P-P	: Peak to Peak (2 tepe arası)
RMS	: Root Mean Square (Karekök ortalama)
RPM	: Revolutions per minute (Dakikadaki devir sayısı)
sn	: Saniye
T	: Periyot
V	: Vertical (Dikey)

KAĞIT ÜRETİM SİSTEMİNDEKİ KURUTUCU SİLİNDİR VE SİRKÜLASYON FANININ KESTİRİMCİ BAKIM TEKNİĞİ İLE ARIZA TAKİBİ VE TİTREŞİM ANALİZİYLE TESPİTİ

ÖZET

Bu çalışmada, makina ve makina elemanlarında meydana gelen arızaların tespitinde titreşim analizinin kullanımı ve faydaları sunulmuştur. Makina veya teçhizatın periyodik olarak gözlemi yapılmış ve değişimin analizini esas alarak titreşim ölçüm metodu ile kestirimci bakım irdelenmiştir.

Titreşim analizi ve kestirimci bakım tekniği ile birlikte hatların arızi duruşlarının minimize edilerek üretimin sürekliliğinin sağlanması esas hedeftir. Ayrıca bu sayede bakım maliyetlerinin de azalması kestirimci bakım uygulamalarının iyi yönlerindendir.

Bu çalışmada titreşim analizi ile ilgili rulman hasarlarının tespit edilmesi ve rulmanlarda titreşim iletimi esasları üzerinde durulmuştur. Rulman hasarının rulmanı meydana getiren parçalardan (iç bilezik-yuvarlanma elemanı-dış bilezik) hangisinde olduğunu belirlemede kullanılan formül ve analiz programları ile kestirimci bakım uygulanmaya çalışılmıştır.

Titreşim analizi işleminde SKF MICROLOG – GX marka vibrasyon analiz cihazı sayesinde ölçümler alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Titreşim ölçümleri yüksek devirde çalışan kurutma fanları ve Yankee silindir kurutucu üzerindeki rulmanlarda gerçekleştirilmiştir. Yüksek devirle çalışan bu iki ünitenin takibi işletmenin maliyeti ve devamlılığı için önemlidir.

1000-1800 rpm arasında çalışan yüksek devirli rotorların spektrum ve trend grafikleri incelenerek rulmanlar üzerindeki vibrasyonun analizi yorumlanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda titreşim analizinin takibi ile yüksek devirli makinaların bakım planını gerçekleştirerek işletme maliyetleri düşürülmüş ve duruş süreleri azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kestirimci Bakım, Kurutma Fanları, Rulmanlar, Titreşim Analizi, Yankee Kurutucu Silindiri.

VIBRATION ANALYSIS OF DRYER CYLINDER AND CIRCULATION FAN IN TISSUE PRODUCTION SYSTEM DETERMINATION OF THE PREDICTIVE MAINTENANCE

ABSTRACT

In this study, the use and benefits of vibration analysis in the detection of malfunctions occurring in machinery and machine elements are presented. Based on the periodic monitoring of the machinery or equipment and the analysis of the change, the predictive maintenance was examined with the vibration measurement method.

Along with the vibration analysis and predictive maintenance technique, the main goal is to ensure the continuity of production by minimizing the incidental stops of the lines. In this way, the maintenance costs are reduced, so they are in the good aspects of predictive maintenance practices.

In this study, determination of bearing damage related to vibration analysis and vibration transmission principles in bearings are emphasized. Predictive maintenance was tried to be performed with the formulas and analysis programs used to determine which bearing damage caused the bearing (inner ring-ball-outer ring).

In the vibration analysis process, measurements were taken by taking measurements thanks to the SKF MICROLOG - GX brand vibration analysis device.

Vibration measurements were carried out on high speed drying fans and bearings on Yankee cylinder dryer. The follow-up of these two high-speed units is important for the cost and continuity of the business.

The spectrum and trend charts of high speed rotors operating between 1000-1800 rpm are analyzed and the analysis of the vibration on the bearings is interpreted. As a result of the examinations carried out, by monitoring the vibration analysis, the maintenance plan of the high speed machines has been reduced and operating costs have been reduced and downtimes have been reduced.

Keywords: Predictivite Maintenance, Dryer Fans, Bearings, Vibration Analysis, Yankee Dryer Cylinder.

GİRİŞ

Bu çalışma, hızlı tüketim sektöründe faaliyet gösteren kuruluşlardaki kağıt üretim hatlarının incelenmesi, bakım ve proje departmanlarında çalışan mühendis ve teknisyenlerin kestirimci bakım uygulamalarına dahil edilmesi, kestirimci bakım çalışmalarının başlatılması, bakım elemanlarının incelenmesi, analiz yöntemlerinin kavranması ve olası çözümlerin analizlerinin yorumlanması amacı ile hazırlanmıştır.

Kağıt üretim akışında arıza yapan makinaların bakım onarımı zordur ve yüksek maliyetlidir. Beklenmeyen arızalarda bakım veya onarım uzun sürer, yedek parça bulmak zorlaşır, tadilat için taşeron firma tezgahının uygunluğu da bunlara eklendiğinde ciddi anlamda duruşlara sebebiyet vermektedir. Bu durum neticesinde üretim kayıpları oluşur ve maliyetler yükselir. Hızlı tüketim sektöründe hatlar 7/24 saat piyasadaki pazara göre hizmet vermektedir. Bu nedenle hatların devamlılığı arz/talep dengesini sağlamak amaçlı önem taşımaktadır.

Hattın üretim devamlılığını sağlamak için en büyük görev bakım ekiplerine düşmektedir. Doğru zamanda arızaya müdahale edebilmesi için bakım ekiplerinin periyodik kontrolleri sağlıklı bir şekilde gerçekleştirmesi ve doğru bakım planlaması yapması gerekmektedir. Bu yüzden özellikle seri üretim yapan üretim bandındaki küçük bir arızanın bile üretim hattının tamamını durdurarak imalat aşamasında olan ürünlerin ıskartaya çıktığı fabrikalarda klasik bakım yöntemlerini terk ederek arızaların daha oluşum esnasında çeşitli test ve analiz yöntemleri kullanılarak tespitinin yapılabildiği kestirimci bakım metodlarına yönelmek zorunluluk halini almıştır.

Vibrasyon analizlerinin düzenli yapılması ile hatlarda beklenmeyen arızaların azalmasının dışında arızi bakım maliyetleri de azalan yönde eğilim gösterecektir. Bununla birlikte işletme depolarında bulunan yedek parça maliyetleri, arızi duruş süreleri de azalma trendinde olacaktır [1].

Vibrasyon analizinin temel prensibi çalışma esnasında yapılan ölçümlerle makinaların performanslarının izlenerek, bakımın ne zaman gerekli olacağına karar verip, kısa süre için çalışmaya ara vererek önceden belirlenen arızayı onarmaktır [2].

1. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Genel Bilgiler

Kestirimci bakım; makinalar üzerinde periyodik aralıklar ile alınan fiziksel parametre ölçümlerinin zaman içindeki eğilimlerini izleyerek, makina sağlığı hakkında geleceğe yönelik bir kestirimde bulunma yöntemidir. Kestirimci bakım uygulamasının temeli makinaları durdurmadan, tahribatsız, çalışma koşullarında, durumları ile ilgili veriler alınması ve zaman içindeki değişikliklerini izlemektir. Makinanın durumu hakkında en kapsamlı veriye titreşim analizi ile ulaşılır [3].

Titreşim izleme, tüm sistemlerin titreşim ürettiğine inanır. Bir makine düzgün çalışıyorsa, titreşim küçük ve sabittir. Ancak arızalar oluştuğunda ve makinadaki dinamik bazı süreçler değiştiğinde, titreşim spektrumu değişecektir. Çalışan makinalarda titreşim izleme üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Bunların büyük çoğu titreşim izlemeli rulman ve silindirik elamanlar üzerinde yoğunlaşmaktadır [4].

En önemli dezavantajı ise özel ekipman ve eğitimli mühendis ya da teknisyenlerin olmasıdır. Ancak maliyetler düşünüldüğünde bu dezavantajlar göz ardı edilebilir.

1.2. Literatür Çalışması

Sürekli üretimin önemli olduğu tesislerde titreşim ölçümüne dayalı makina bakımı 1970'lerden beri uygulanmaktadır. Çimento, demir-çelik, kimya, petrol ve kağıt sanayi bu yöntemi kolayca benimsemiş ve makinaların daha az durması ile birlikte üretimdeki artış sonucu karlılıklarını büyük ölçüde arttırmışlardır [5,6].

Karahan 2005'te yaptığı çalışmada titreşim analizi ile makinelerde arıza teşhisi konusunu ele almıştır. Çalışma sonucunda, kestirimci bakım tekniği olan titreşim analizi yapılarak dış bilezik rulman hasarı ve kaymalı yatak yıpranma problemini tespit etmiştir [7].

Orhan ve diğerleri 2002'de yaptığı çalışmada titreşim analizi ile rulman arızalarının belirlenmesi konusunu ele almıştır. Motor iç yatak rulmanından periyodik titreşim ölçümleri toplanmış ve analiz edilmiştir. Motor iç yatak rulmanı dış bilezikte oluşan hasarı titreşim analizi metodu kullanılarak tespit edilmiştir [8].

Arslan 2010'da yaptığı çalışmada titreşim analizi ile fanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım konusunu incelemiştir. Çalışmasında sistemde çalışır haldeki bir fanın yedeği ile test standı oluşturmuş ve arızalar bilinçli olarak oluşturulmuştur. Çalışmasında her arızanın belli frekanslarda titreşim ürettiğini görmüş ve FFT analizi ile makinada arıza çeşitleri ve boyutları hakkında bilgi sahibi olunabileceğini tespit etmiştir [9].

Gahafari 2004'te yaptığı çalışmada endüstriyel fanlarda titreşim analizi ile vaka analizi konusunu ele almıştır. Bu çalışmada, fanlarda karşılaşılabilecek balans, şaft problemleri, rulman hasarları ve rezonansı ele almış, bunlarla ilgili problemlerde nasıl bir FFT spektrum grafiği oluştuğunu örnekler vererek açıklamıştır [10].

Al-Najjar 2000 yılında yaptığı çalışmada iki farklı İsveç kağıt fabrikasındaki kestirimci bakım programları kapsamında rulman hasarlarının belirlenmesi, oluşma sebepleri, rulman ömürlerinin artırılması için alınması gereken tedbirleri ve etkili bir bakımda gerekli stratejileri ele almıştır [11].

Mechefske 2005'te yaptığı çalışmada titreşim analizi ile arıza teshişi konusunu ele almıştır. Makinelerde çıkabilecek balans, kaçıklık, mekanik gevşeklik, rezonans, yağlama yetersizliği, hidrolik, aerodinamik güç vb. gibi problemleri ve bunların spektrum grafiklerini incelemiştir [12].

Lacey 2008'de yaptığı çalışmada rulman titreşimlerinin sebeplerini incelemiş ve bir rulmanın iç bilezik, dış bilezik, bilye ve kafes elemanları üzerinde meydana gelen bir kusurun spektrum üzerinde meydana getirdiği frekansları irdelemiştir [13].

M. Tiwari ve diğerleri 2000'de yaptığı çalışmada bilyeli rulmanlarla yataklanmış bir rotor sisteminde dengesizliğin sebep olduğu titreşimleri ve sistemin kararlılığını incelemiştir. Teorik ve deneysel sonuçların uyumlu olduğunu da ifade etmiştir [14].

Banister 1985'te yaptığı çalışmada rulman kusurlarını belirlemede titreşim verilerine dayalı durum gözetleme teknikleri üzerinde çalışmıştır. Bu tekniklerin avantaj ve dezavantajlarını irdelemiştir [15].

Harker ve Sandy 1989'da yaptığı çalışmada rulman elemanlarında oluşan hasarların meydana getirdiği titreşimlerin frekans spektrumu ile analizleri üzerinde çalışmışlardır. Rulman hasarlarının sebeplerini, bu hasarların gelişim evrelerini ve titreşim ölçüm tekniklerini incelemişlerdir [14].

2. BAKIM YÖNTEMLERİ

İşletmelerde uygulanan farklı tip bakım yöntemleri bulunmaktadır. Bakım yöntemleri incelendiğinde dört farklı tip bakım yöntemi bulunmaktadır [16].

- Arızi Bakım
- Koruyucu Planlı Bakım
- Kestirimci Bakım
- Proaktif Bakım

2.1. Arızi Bakım

Arıza çıktıkça yani plansız bakım olarakta ifade edilebilir. Buradaki bakım felsefesi, makine arızalanıncaya kadar çalısmasına izin vermek veya tamamen duracak hale geldiğinde ya da gelmeden hemen önce arızalı parçaların değiştirilmesi veya onarılmasıdır.

Bu bakım yönteminde bakım ekipleri sürekli hazır durumda bulunması gerekir. Bunun sonucu olarakta yüksek iş gücü oluşur. Plansız bakım olması nedeniyle stok maliyetlerinin yüksek olması bu bakım yönteminin oluşturduğu sorunlardandır. Her işletmede plansız bakım noktaları bulunması normaldir. Ancak işletme genelinde bu uygulama sürekli olduğu düşünüldüğünde genel anlamda iyi sonuç vermeyecektir. En verimsiz bakım yöntemidir [16].

2.2. Önleyici Bakım

Önleyici bakımın felsefesi makinelerin çalısma saatlerini veya takvimi esas alarak önceden belirlenen zaman aralıklarında bakım faaliyetlerini programlamaktır. Burada arızalı ekipmanın onarılması veya değiştirilmesi, belli problemler meydana gelmeden önce yapılmaktadır. Önleyici veya koruyucu bakım yaygın olarak kullanılan bakım yöntemidir. Arızalandığında üretimi aksatacak veya arızalanmasının maliyeti yüksek olan makine ve ekipmanlara uygulanır.

En önemli dezavantajı çalısabilir durumdaki parçaların değişim zamanı gelmeden değiştirilmesi ve buna bağlı olarak maliyetlerin artmasıdır.

Önleyici bakımda beklenmeyen arızalar azalır, makinelerin kullanım ömürleri ve verimlilikleri artar, enerji tüketimleri düşer ama işletme ve bakım maliyetleri artar. Önleyici bakım periyodik bakım olarak da bilinir [16].

2.3. Kestirimci Bakım

Bu felsefe sadece işlevsel bir arıza belirlendiğinde bakım faaliyetlerinin programlanmasını içerir. Makine ve işletme şartları periyodik olarak izlenir ve sağlıksız eğilimler belirlendiğinde makinedeki sorunlu parçalar tespit edilerek bakım için programlanır. Makine en uygun zamanda durdurulduğunda arızalı parçalar değiştirilmelidir. Eğer bu durum ihmal edilirse, arızalar maliyeti yüksek olan yeni arızalara neden olacaktır.

Bu yaklaşımın avantajlarından birisi de, bakım faaliyetlerinin düzenli bir şekilde programlanabilmesidir. Bu yaklaşım onarım işleri için gerekli olan parçaların satın alınmasında biraz daha termin süresi kazandırır ve bu sayede yedek parçaların fazla stoklanmasına ihtiyaç azalır. Bakım işi sadece ihtiyaç duyulduğunda yapılır ayrıca üretim kapasitesi de artabilir.

Bu yöntemin dezavantajı ise hatalı değerlendirmeler sonucunda makinelerin bozulması ve bakım işlerinin artmasıdır. Titreşim, sıcaklık ve yağlamadaki olumsuz eğilimleri takip etmek için özel ekipmana, bu parametreleri izlemek için de eğitimli personele ihtiyaç vardır. Alternatif olarak bu iş, konusunda tecrübeli firmalara verilebilir [16].

Kestirimci bakım, makine ve teçhizatların sürekli gözlemlenmesi ve zamanla gelişiminin analiz edilmesini içerir. Makinelerin durumu periyodik veya sürekli ölçüm yapılarak tespit edilir. Ölçüm ve kontrollerin sonucuna göre üretimi etkileyecek arızanın oluşabileceği zaman önceden tahmin edilir. Buna göre uygun zamanlarda makineler bakıma alınır. Toplanan veriler üzerinde yapılan analizler ile arızaların kaynağı ve gelişimleri öğrenilir. Böylece makinelerin en yüksek verimde kullanılması ve beklenmeyen arıza duruşlarının önlenmesi sağlanır.

Kestirimci bakım yaklaşımı uygulanmak istendiğinde üretim departmanları ile bakım departmanları uyum içinde çalışmalıdır. Çünkü makinelerin çalışma durumlarının takibi için gerekli ölçümlerin alınması ve gerekli görülen bakımların gerçekleştirilmesine olanak sağlayacak şekilde ünite çalışma planları oluşturulmalıdır.

2.4. Proaktif Bakım

Bu felsefe tüm arızaların kendi kök nedeninin yakalanmasına dayanmaktadır. Her bir arıza analiz edilmiştir ve pro-aktif ölçümler alınarak bu arızaların tekrarlanmayacağından emin olunmuştur. Yukarıda incelenen kestirimci-önleyici bakım tekniklerinin tümü kök nedenli arıza analizinden (RCFA) yararlanmaktadır. RCFA arızaya neden olan problemlerin tam yerini yani kök nedeni tespit eder. Bunun için uygun bir kurulumu, bakım teknikleri benimsenmesini ve uygulanmasını sağlar. Bunun yanında bu tip problemlerin tekrarlanmasını önlemek için ekipmanın yeniden tasarlanmasını veya modifikasyonunu gündeme getirir.

Kestirimci bakımda olduğu gibi ekipmanların düzenli bir program ile bakımlarının yapılması mümkündür. Fakat tekrar meydana gelen problemlerin azaltılması veya ortadan kaldırılması için yapılması gerekli olan iyileştirmeler için ek güç harcanması gerekmektedir.

Bakım faaliyetlerinin düzenli olarak programlanması ile gerekli onarımlara ait parçaların satın alınması için zaman kazandırabilir. Bu sayede stokta daha az yedek parça tutulması sağlanmaktadır. Çünkü bakım işleri sadece gerekli olduğunda yapılmaktadır. Ekipmanın güvenirliğinin arttırılması için arızanın nedeninin araştırılması, yapılacakların belirlenmesi için ekstra efor sarf edilir.

Dezavantajı ise pro-aktif bakım uygulamalarında son derece bilgili çalışanlara gerek duyulmasıdır. Ayrıca pro-aktif bakım için gelişmiş ekipmanların satın alınması gerekmekte ve bu konuda eğitilmiş personele ihtiyaç duyulmaktadır [16].

3. KESTİRİMCİ BAKIM TEKNİKLERİ

Kestirimci bakım yöntemi, makine çalışırken makine parçaları üzerinden alınan ölçüm değerlerinin, performans bilgilerinin makine üretici firmaların belirlediği sınırlar dahilinde karşılaştırılması ve uzun yıllar elde edilen verilere göre alınması gereken önlemlerin tespiti ilkesine dayanır. Yağ analizi, kızılötesi termografi, ultrasonik testler ve titreşim ölçümü ve analizi en yaygın kullanılan kestirimci bakım metotları olup, aşağıda örneklerleriyle birlikte açıklamalı olarak sunulmuştur [16].

3.1. Titreşimin İzlenmesi

Dönen bir makinedeki mekaniksel arızaların tespit edilmesi için en iyi tekniktir.

3.2. Akustik Emisyon

Bu yöntem yapılardaki ve borulardaki kırılmaların tespit edilmesi, konumunun belirlenmesi ve sürekli olarak izlenmesi için kullanılır.

3.3. Yağ Analizi

Yağlama yağı analiz edilir, yataklar ve dişlilerin şartlarına bağlı olarak belirli mikroskobik partiküllerin ortaya çıkmasını sağlayabilir.

3.4. Partikül Analizi

Pistonlu makineler, dişli kutuları veya hidrolik sistemlerde yıpranmış makine parçaları kırıntı bırakır. Toplanan ve analiz edilen bu kırıntılar bu parçaların bozulması hakkında çok önemli bilgi verir.

3.5. Korozyonun İzlenmesi

Boru hatları, açık deniz uygulamaları ve proses ekipmanlarında yapılan ultrasonik kalınlık ölçümleri korozyon aşınmasının belirlenmesi için kullanılır.

3.6. Isı Grafiği

Termografi elektriksel ve mekaniksel ekipmanların analiz edilmesinde etkin olarak kullanılır. Bu yöntemle jeneratörler, kazanlar vb. ekipmanlarda termal veya mekanik arızalar tespit edilebilir.

3.7. Performans İzlenmesi

Bu yöntem ekipmanlardaki operasyonel problemlerin tespit edilmesi için kullanılan çok etkili bir tekniktir. Ekipmanların verimi için onların iç koşulları hakkında iyi fikir vermesini sağlar.

Makinaların arızalanmasına sebep olan etkenler ve bunun sonucunda makinaların vermiş olduğu tepki Tablo 3.1.'de gösterilmiştir. Bu tabloda görüldüğü gibi titreşim ile kestirimci bakım parametreleri içerisinde titreşim, makinalarda oluşması muhtemel arızalar hakkında en geniş bilgiyi sunan parametredir.

Tablo 3.1. Makinaların çalışma şartlarını belirleyen parametreler

Arıza Nedeni	Sıcaklık	Basınç	Sızdırma	Yağ analizi	Titreşim
Dengesizlik					✓
Mil eğilmesi, Eksen Kaçıklığı	✓				✓
Rulmanlı yatakta hasar	✓			✓	✓
Kaymalı yatakta hasar	✓	✓	✓	✓	✓
Dişlilerde hasar				✓	✓
Mekanik Gevşeklik					✓

4. TİTREŞİM

Titreşim, bir makinanın mekanik bileşenlerinin iç ve dış kuvvetlere gösterdiği davranıştır. Titreşimi; titreşim sinyali, genliği ve frekansına göre analiz ederiz [17].

4.1. Periyot (T)

Hareketin ne kadar sürede tamamlandığını ifade etmektedir. T ile gösterilir. Birimi saniye veya dakika'dır.

4.2. Frekans (f)

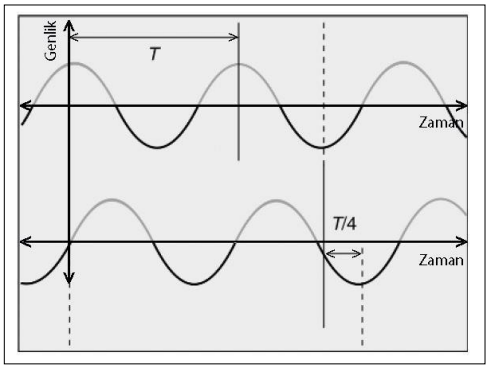
Bir olayın birim saniyede kaç defa tekrarlandığının ölçümüdür. Vibrasyonun 1 çevrimi için geçen süre periyodun tersidir. Birimi Hertz'dir. 1 Hz = 60 CPM'dir [17].

$$F = 1/T \tag{4.1}$$

CPM frekans birimi olup bir olayın dakikada meydana geliş adedidir. RPM ise bir milin ya da rotorun dönme devridir.

4.3. Faz (ϕ)

Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi özdeş frekans ve genlik değerine sahip iki dalganın T/4 birim kadar bir zaman farkına faz açısı denir. T/4 zamandaki faz açısı 90° dir [16].

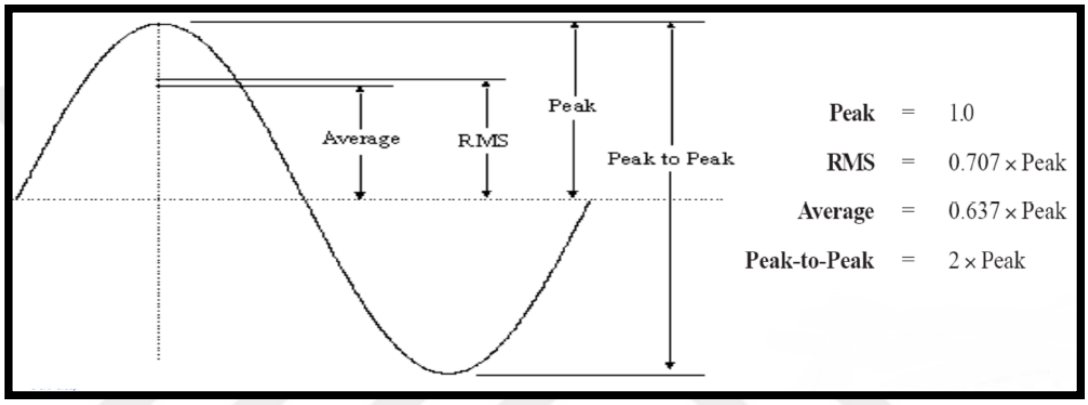


Şekil 4.1. İki benzer dalga arasındaki faz ilişkisi

4.4. Genlik

Vibrasyonun genliği arızanın ya da sorunun kaynağındaki uygunsuzluğunun büyüklüğünü ve şiddetini verir. Genlik;

- Yer değiştirme (Displacement): mikron / mm - Peak to Peak;
- Hız (Velocity): mm/sn - RMS & Peak
- İvme (Acceleration): g (mm/sn²) - Peak & Peak to Peak
- Zarflanmış İvme: gE – Peak to Peak ölçümleri ile belirlenebilir.



Şekil 4.2. Vibrasyon skala faktörleri

Peak = 1.0 (4.2)

RMS = 0,707 x Peak (4.3)

Average = 0,637 x Peak (4.4)

Peak to peak = 2 x Peak (4.5)

4.4.1. Tepe değer (Peak)

Titreşim sinyalinin bir noktada eriştiği maksimum değerdir. Diğer bir ifade ile sıfır noktasından tepe noktasına olan uzaklığıdır.

4.4.2. Tepeler arası değer (Peak to Peak)

Sinyalin maksimum tepe noktasından, minimum tepe noktasına aldığı değerdir ve titreşimin deplasmanını ifade eder. Bir makine yada makine elemanının titreşiminin

toplam genliğini verir. Tepe değerinin iki katına eşittir.

4.4.3. Etkin değer (RMS- Root Mean Square)

Bir sinyalin iki zaman aralığındaki değerlerinin karelerinin ortalamasının karekökü̈dür.

4.4.4. Ortalama (Average)

Bir sinyalin iki zaman aralığında aldığı değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

4.4.5. Yer değiştirme (Deplasman)

Titresim yapan ekipmanın yer değiştirdiği mesafeyi belirtir. Birimi " micron" veya "mm" olarak ifade edilir. Düşük frekanslı makinelerde bu ölçüm şekli tercih edilir. 600 devir/dakika'nın altındaki frekanslar için daha uygundur [18].

4.4.6. Hız

Genellikle "mm/s" olarak ölçülür. Bu birimlerle yer değiştirmenin hangi hızda meydana geldiğini gösterir. 600 ile 100.000 devir/dakika arasındaki ölçümler için daha uygundur [18].

4.4.7. İvme

Birim zamanda hızda meydana gelen değişim ivme olarak tanımlanır. Yer değiştirmenin zamana göre ikinci türevi veya hızın zamana göre birinci türevi ile bulunabilir. Birimi m/s^2, mm/s^2, $mikron/s^2$, $inç/s^2$ veya g olarak verilebilir [18].

4.5. Dalga Formları

Titreşimlerin doğasının altında hareket halindeki kütle-yay sisteminin deplasmanı, hızı ve ivmesi sinüs ve kosinüs dalgaları ile ifade edilebilir. Dalga formu hareketin değerinin zamana göre çizilmesi ile elde edilen grafiktir [16].

4.6. Harmonik

Şekil 4.3'te bir dizi dalga formu görülmektedir. Burada deplasmanın Y ekseni üzerinde olduğunu kabul edelim. Burada zaman göre gösterim yapacağımızdan X

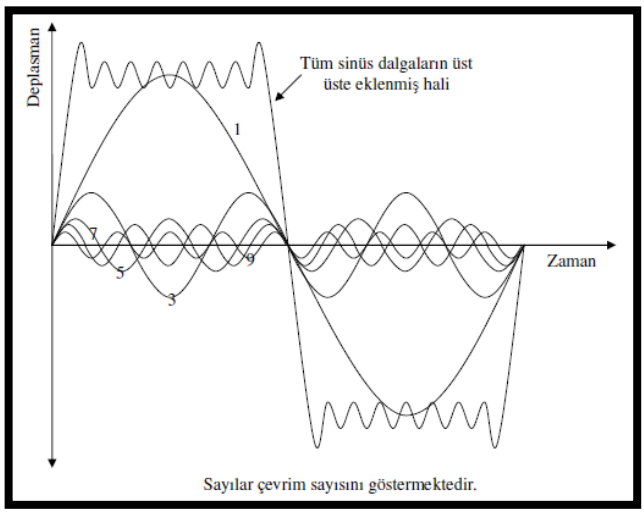
ekseni üzerinde de 1 saniyelik ölçeğe sahip zaman dilimini gösterelim.

- 1 numara ile gösterilen dalga, 1 saniyelik zaman diliminde 1 çevrim yaptığından dolayı frekansı 1 Hz dir.
- 3 numara ile gösterilen dalga, 1 saniyelik zaman diliminde 3 çevrim yaptığından dolayı frekansı 3 Hz dir.
- 5 numara ile gösterilen dalga, 1 saniyelik zaman diliminde 5 çevrim yaptığından dolayı frekansı 5 Hz dir.
- 7 numara ile gösterilen dalga, 1 saniyelik zaman diliminde 7 çevrim yaptığından dolayı frekansı 7 Hz dir.
- 9 numara ile gösterilen dalga, 1 saniyelik zaman diliminde 9 çevrim yaptığından dolayı frekansı 9 Hz dir.

Burada olduğu gibi 1, 3, 5, 7, 9, … gibi tek sayılı frekanslarda kendini belli eden dalga serisine baskın frekansın tek sayılı harmonikleri denir.

Eğer ki 1, 2, 3, 4, 5, … Hz frekanslarındaki dalga formları incelenirse bu dalga formları 1 Hz frekansının harmoniğini oluştururlar. Serilerin ilk dalgaları genellikle baskın frekans olarak belirlenir.

Tek sayı harmoniklerin dalga formları üst üste eklendiği zaman genliklerini sönümleyerek ve/veya arttırarak karmaşık yapıda yeni bir dalga oluştururlar. Şekil 4.3.'te oluşan karmaşık yapılı yeni dalga dörtgene benzer şekildedir [16].



Şekil 4.3. Dalga formu

4.7. Yan Bantlar

Merkez frekansın sağ ve sol yanında eşit olarak yerleşmiş frekans bileşenleridir. Pratikte makina veya elemanların simetrik olmamalarından dolayı yan bantlar merkez frekansa göre nadiren simetriktirler. Merkez frekans, taşıyıcı frekans olarak adlandırılır. Dişli kavrama frekansı, rulman bilye geçiş frekansı katları, makina veya yapının rezonans frekansı veya ivme metrenin rezonans frekansı taşıyıcı frekans olabilir. Yan bantlar modülasyon frekansı olarak da adlandırılır. Çünkü modülasyon frekansı bir sinyalin modülasyonu sonucu oluşur. İki çeşit modülasyon vardır. Genlik modülasyonu sabit bir frekans sinyalinin genliğindeki değişimdir. Frekans modülasyonu ise sabit bir genlik sinyalinin frekansındaki değişimdir. Genelde genlik modülasyonu yükleme durumundaki değişimle birlikte olur. Frekans modülasyonu ise hızdaki değişimle birlikte olur. Rulmanlı yataklarda genlik modülasyonu olur. Dişlilerde yan bantlar mil dönme hızında ve onun harmoniklerinde oluşur. Eksantrik dişli, eğik yada ekseni kaçık mil üzerinde dişli olması durumunda kavrama oluştuğunda genlik modülasyonları olur. Bu durumda dişleri periyodik olarak kavramaya sokan kuvvetten dolayı tekrarlayıcı yükleme olur. Milin her dönüşünde bir kez minimum ve maksimum kavrama kuvveti oluşur. Eksantriklik artınca yan bant genlikleri de artar [8].

5. TİTREŞİM ANALİZİ

Titreşim analizi, sürekli üretim yapan hatlarda makina koşullarını takip etmenin en iyi yoludur. Bu teknik titreşim ölçümleri ve bu ölçümlerin yorumlanmasından oluşur. Makinalar belli bir hasara maruz kaldığında titreşim oluşturur. Makinalarda oluşan arızalar titreşim artışı, sıcaklık ve gürültü artışı ile kendisini belli etmektedir.

Titreşim genellikle dönen dengesiz makina parçalarından kaynaklanır. Titreşim makinenin parçalarının içeriden ve dışarıdan gelen kuvvetlere verdiği tepkidir. Farklı noktalardan alınan titreşim sinyalleri, farklı nedenlerden dolayı kompleks bir dalga formu verirler. Bu dalga formlarını çözümlemek için 1822 yılında Baron Jean Baptiste Fourier kompleks dalga formlarını basit sinus dalgalarına ayrılabileceğini kanıtlamıştır [18].

Titreşim analizi ile arızaları teşhis edebilmemiz için bu titreşimlerin frekanslarını bilmemiz gerekir. Çalışmamızda bu işlem için Fourier Dönüşümü kullanılmıştır.

Fourier dönüşümü vasıtası ile herhangi bir titreşimin farklı frekans ve genliklere sahip sinüzoidal bileşenlerini inceleyebiliriz [19].

Titreşim analizi; elektriksel problemler, dişli hasarları, balanssızlık, eksensizlik, mekanik gevşeklik gibi durumların tespitinde kullanılır [18].

Gluzman, bilyalı ve silindirik makaralı rulmanlar tarafından desteklenen motor-jeneratör sisteminin titreşimini izlemek için oluşabilecek rulman arızalarını tahmin eder. Yatak iç ve dış bileziklerinin yaklaşmakta olan arızalarını başarıyla tespit etmiştir [20].

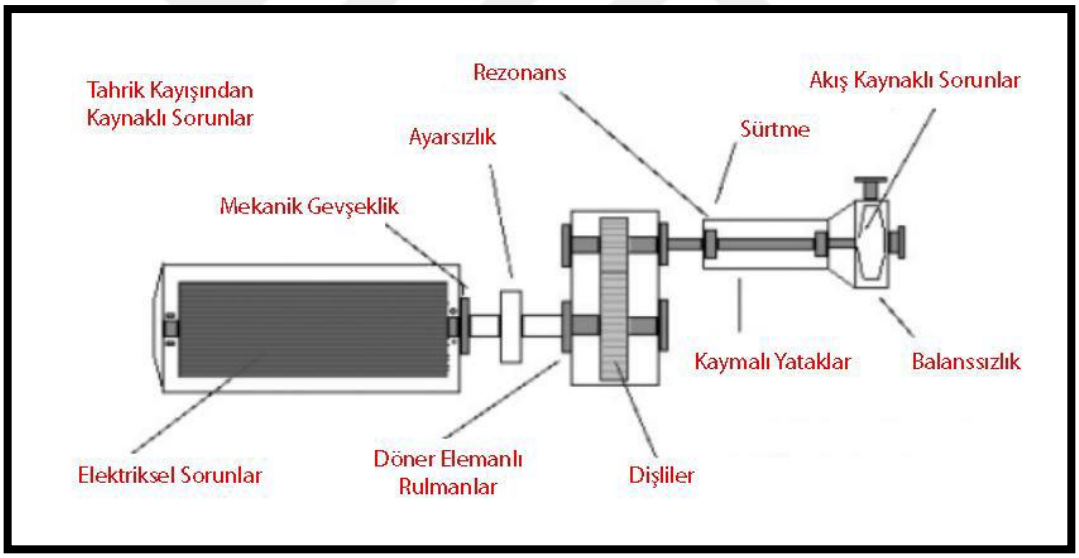
Al-Najjar, kalan rulman ömrünü doğru olarak tahmin etmek için kağıt fabrikalarında yıllarca birçok rulman titreşimi gözlemledi. O da titreşime dayalı bakımın etkinliğini araştırdı ve bazı bulgular önerdi [11].

Makinalarda oluşan arızalar titreşim artışı, sıcaklık ve gürültü artışı ile kendisini belli etmektedir.

5.1. Titreşim Analizi ile Arıza Tespitleri

Vibrasyon analizi ile ivme, hız ve yer değişimi sayesinde birçok tespit gerçekleştirilebilir. Gerçekleştirilen tespitler için frekans önemlidir [17].

- Balanssızlık
- Eksen kaçıklığı
- Rulman Hasarları
- Mekanik Gevşeme
- Yağlama
- Rezonans
- Elektrik Motor Arızaları
- Dişli Hasarları
- Hidrolik Akış Problemleri



Şekil 5.1. Makine arıza noktaları

Şekil 5.1.'de tipik bir makine ve tahrik grubu verilmiştir. Ana tahrik olarak bir elektrik motoru gösterilmiştir. Bu bazen bir dizel motor, buhar türbini ya da gaz türbini de olabilir. Motorun çıkış devrini istenilen makine devrine düşürmek için bir dişli grubu (redüktör) kullanılmıştır ve motor şaftı redüktör şaftına kaplin bağlantılıdır. Sisteme bağlı olan makine bir pompa, fan, kompresör vb. olabilir. Bu makine elemanlarından kaynaklanabilecek olası arızalar ve arıza noktaları Şekil 5.1.'de gösterilmiştir [16].

5.1.1. Balanssızlık

Balanssızlık radyal alınan ölçümlerde ağırlık merkezi ile dönme merkezinin farklı olması sonucu ortaya çıkar. 1xRPM frekansında sabit yönü değişmeyen tepeciktir. Balanssızlık sebepleri;

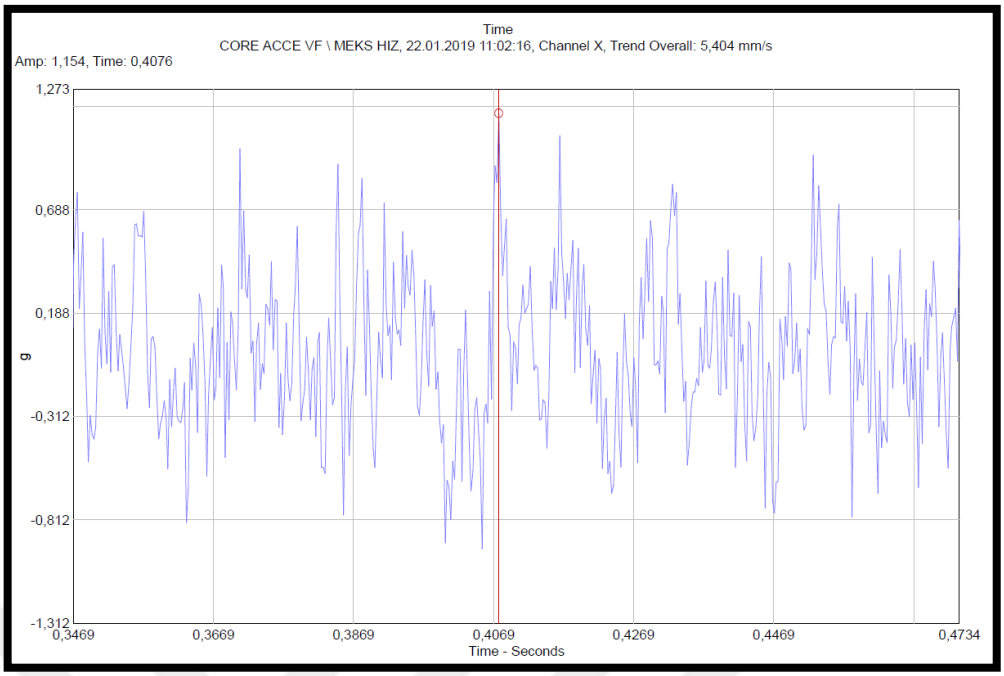
- Hatalı montaj
- Yapışmalar
- Aşınma
- Kırılan ya da düşen parçalar olabilir.

Yüksek balanssızlıkta grafikte harmonikler ortaya çıkar. Tablo 2.1. de balanssızlık pikinin faz ölçümlerine bağlı anlamları bulunmaktadır [21].

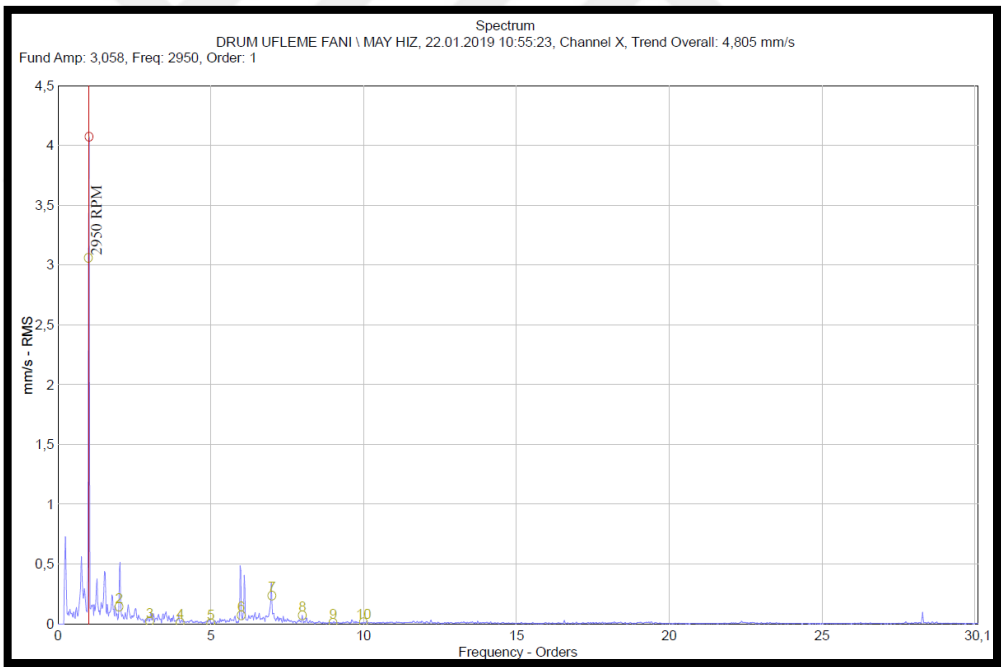
Tablo 5.1. Balanssızlık Pikinin Faz Ölçümlerine Cevapları

Titreşim Kaynağı	**Baskın Titreşim Frekansı**	**Ölçüm Yönü**	**Faz İlişkisi**	**Genlik**
Kütle Dengesizliği	1x RPM	Radyal	Aynı noktada yatay dikey arası 90°	Sabit
Eğik Şaft	1x RPM	Eksenel	Yataklar arası fark 180°	Sabit
Eksantrik Motor Rotoru	1x RPM	Radyal		Hareketli
Statik Balanssızlık	1x RPM	Radyal	Radyalda iki yatakta aynı	
Dinamik Balanssızlık	1x RPM	Radyal	Eksenel ve Radyalda 180°	

Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te balanssızlığa ait spektrum ve dalga formuna ait örnek grafikler mevcuttur. Hayat Kimya Hijyen Fabrikası hatlarında bulunan fanların ölçümlerine ait grafiklerdir.



Şekil 5.2. Balanssızlığa bağlı dalga formu grafiği



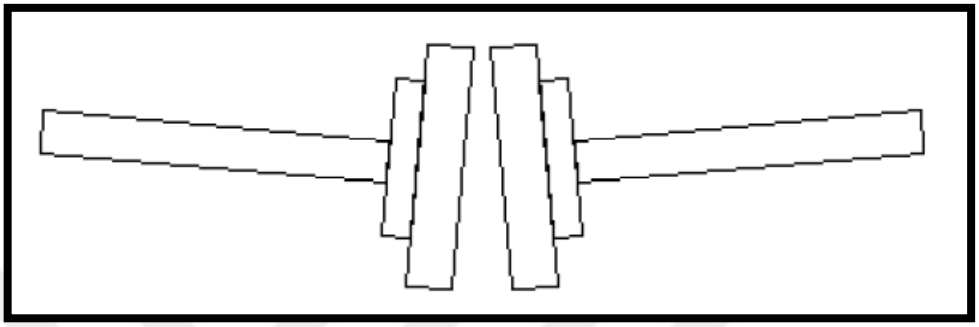
Şekil 5.3. Balanssızlığa bağlı spektrum grafiği

5.1.2. Eksen kaçıklığı (Kaplin ayarsızlığı)

Ayarsızlık; şaft, kaplin ve rulmanların merkezlerine düzgünce yerleştirilmemesinden kaynaklanmaktadır. Üç farklı tip ayarsızlık vardır.

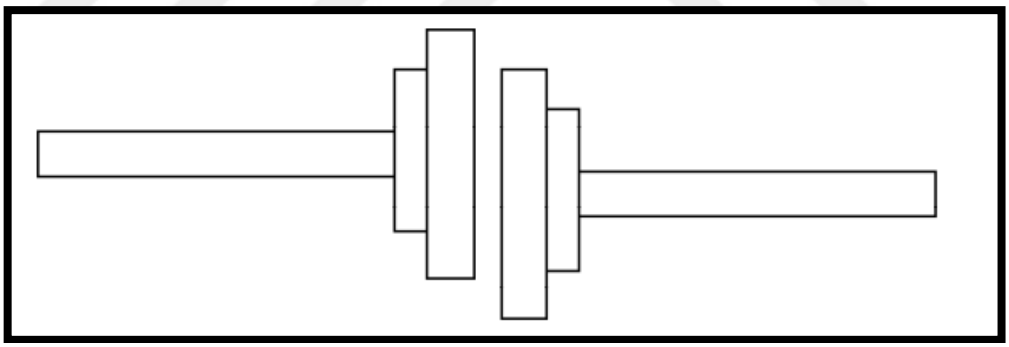
- Paralel ayarsızlık
- Açısal ayarsızlık
- Paralel ve açısal ayarsızlık kombinasyonu

Açısal ayarsızlık (Şekil 5.4.); bir tür şaft üzerine gelen ve şaftı eğmeye çalışan kuvvet nedeni ile iki şaftın birleşme noktasında meydana gelir [18,23].



Şekil 5.4. Açısal ayarsızlık

Paralel ayarsızlık (Şekil 5.5.); şaft eksenlerinin paralel fakat kaçık olduğu durumlarda meydana gelir.



Şekil 5.5. Paralel ayarsızlık

Radyal alınan ölçümlerde 1x, 2x, 3x RPM frekansında tepecikler görülmektedir. Paralel kaçıklık durumunda harmonikler 2x ve 3x RPM de de görülür. Ancak buradaki tepeler 1x'te bulunan tepenin yarısını geçmelidir.

Deve hörgücü diye belirtilen 1x periyodunda hatalı rulman montajı, eğik şaft, yalpalı montaj, milde çatlak, makina üzerindeki gerilmeler, topal ayak gibi sorunlar benzer işaretleri verir [22].

Tablo 5.2. Titreşim genliğine göre ölçüm yönü ve faz ilişkisi

Titreşim Kaynağı	**Baskın Titreşim Frekansı**	**Ölçüm Yönü**	**Faz İlişkisi**	**Genlik**
Paralel	1x,2x,3x RPM	Radyal	Radyalda 180°	Sabit
Açısal	1x,2x,3x RPM	Eksenel	Eksenelde 180°	Sabit
Paralel ve Açısal	1x,2x,3x RPM	Radyal ve/veya Eksenel	180°	Sabit
Kaymalı yataklar	1x,2x,3x RPM	Radyal ve/veya Eksenel	Eksenelde 180°	
Bilyalı yataklar	1x,2x,3x RPM 30-60bin RPM	Eksenel	Eksenelde 180°	

Radyal alınan ölçümlerde 1x, 2x, 3x RPM frekansında tepecikler görülmektedir. Paralel kaçıklık durumunda harmonikler 2x ve 3x RPM de de görülür. Ancak buradaki tepeler 1x'te bulunan tepenin yarısını geçmelidir. Deve hörgücü diye belirtilen 1x periyodunda hatalı rulman montajı, eğik şaft, yalpalı montaj, milde çatlak, makina üzerindeki gerilmeler, topal ayak gibi sorunlar benzer işaretleri verir [22].

5.1.3. Rulman hasarları

Rulmanların normal olarak uzun süreler çalışması istenir. Fakat maruz kaldıkları yük, ortam sıcaklığı, yetersiz ve aşırı yağlama, çalışma yeri hijyen durumu, eksen kaçıklıkları, yanlış depolama şartları ve hatalı montaj, yorulma ve kirlenme gibi bir çok faktöre bağlı olarak çalışma ömürleri azalma gösterir [8]. Tüm bu faktörlerin rulman ömrü üzerinde önemli bir belirleyici özellikleri vardır. Bu faktörlerin rulmana hasar vermeden erken tespiti rulman çalışabilirlik ömrüne katkı sağlayacağı gibi, eğer rulmana hasar vermişse bile bu hasarın erken tespiti de bağlı olduğu makinenin çalışabilirlik ömrüne katkı sağlayacaktır.

Rulmanlarda hasarın başlangıcı genellikle çok erken aşamalarda bilezik yüzeylerinde

aşınma ve yük bölgelerinde küçük oyuklar (micro pitting) şeklinde kendini gösterir. Bunlar ilk etapta rulman çalışabilirliği için olumsuz görünmese de hasar oluşumunda ilk aşamaya yaklaşıldığının göstergesidir. Rulmanlarda dalgalılık, düzgünsüzlük, 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 rastlanılmaktadır.

Rulmanların bileziklerinde ve bilyelerinde meydana gelen hatalar, rulmanın çalışması esnasında bilye ile bilezikler arasındaki temas deformasyonlarında darbe şeklinde ani değişikliklere sebebiyet vermektedir. Bu deformasyonlar hatanın bulunduğu rulman elemanı ve hatanın temas ettiği dış yükleme durumuna bağlı olarak rulmanın ürettiği bileşke kuvvette değişikliklere neden olmaktadır. Bu değişiklikler ile rulmanın doğrusal olmayan dinamik cevabı oluşmakta ve rulmanlarla yataklanmış şaftta karakteristik titreşimler meydana gelmektedir [23].

Normal çalışmada döner bir makine üzerindeki rulmanda bir hasar meydana gelmiş ise bu, rulmanın sağlam durum verileriyle de kıyaslanarak, titreşim ölçümleri ve analiziyle tespit edilecek ve hatanın yeri ve büyüklüğü konusunda çıkarımlar yapılabilecektir. Deneysel çalışmalarda ise, ya makineye bağlanan sağlam rulman arıza oluşuncaya kadar döndürülerek, ya da rulman elemanları üzerine yapay kusurlar oluşturularak titreşimlerindeki değişimler takip edilecek, sağlam rulman verileri ile kıyaslanacaktır.

Eğer bir rulmanın üretimi ve montaj işlemi doğru yapılmış, çalışma şartları önceden belirlenmiş olan yük, devir ve sıcaklıklara uygun olarak sağlanmış ve yağlanması da doğru yapılmışsa böyle bir rulmanda yuvarlanma elemanı temas yüzeylerinde en çok metal yorulmasına bağlı kabarma, çatlak ve çukur sebebiyle arızalanma beklenir. Yorulma, yüzey altında ince çatlak olarak başlar ve zamanla yüzeye ilerleyerek küçük dökülmelere, kabarcıklara yol açar ve erken tespit ile müdahale edilmez ise ciddi arızalara sebep olur.

Dış bilezik yüzeyinde meydana gelen bir aşınma ilerledikçe; pürüzler düzgünleşir, sinyalin darbe özelliği azalır, boşluk derinleştikçe bilyeler zıplamaya başlar ve bu durum sonunda iç bileziği de aşındırır [24].

FTF : Kafes arıza frekansı = 0,4 x RPM (5.1)

BPFO : Dış bilezik arıza frekansı = 0,4 x N x RPM (5.2)

BPFI : İç bilezik arıza frekansı = 0,6 x N x RPM (5.3)

N : Bilya / Masura sayısı

Tablo 5.3.'te Rulman hasar tablosu gösterilmiştir. [21]

Tablo 5.3. Rulman Hasar Tablosu

Frekans	Hasar	Uyarı
1-8x BPFI	İç bilezik	Harmonik tepecikler temel tepeciği geçebilir. Hasar genelde dönen ekipmandan gelen kuvvetlerden oluşur.
1-8x BPFO	Dış bilezik	Harmonik genlikleri genelde temel tepeciği geçer.
1-N x BSF	Bilya ya da roller arızası kafes kırılması nedeni olabilir. (N= Bilya sayısı)	Genelde kafes hasarıdır. En güçlü çarpan kaç bilyanın hasarlı olduğunu verir.
FTF	Kafes arızası	Genelde başka hasarlı parçalarla birlikte olur. Belki farklı frekansta görülebilir.
1xRPM modülasyon	Gelişmiş hasar rulman geometrisindeki değişimdendir.	Enerji merkezleri hasar frekanslarının çevresinde olacaktır. Bu frekans aşınmayı da gösterir.
Toplam ve fark frekansları (yan bantları) RPM,BFI,BFO,BSF,FTF	Çoklu hasarlı parçalar	Geniş hasar
1-6xTS	Artan iç tolerans	Artan toleranslar diğer frekanslar üzerinde FTF modüle sinyal olarak görünür. Balans hassasiyeti ile ilgilidir.
	Rulmanın şaft üzerinde dönmesi	Sıklıkla 3xRPM etkin tepecik
	Rulman yatağında gevşeme	1x ve 4xRPMde baskın
	Kasıntılı rulman	Frekans dönme devri x bilya sayısına eşittir.
900-1600 Hz bölgesi 3-4 tepecik ile 80-130 Hz bölgesinden ayrılır.	Düzensiz yağlama	Genlikler 0,1-0,2inc/san seviyesine doğal frekans nedeni ile gelişebilir. Yağlama hatası nedenli yüksek yüke bağlı kalabilir.

5.1.3.1. Rulman hasar aşamaları

Herhangi bir hasara sahip bir rulmanın spektrum grafiğinde meydana getirdiği belirtiler dört aşama ile açıklanabilmektedir [25].

- 1.Aşama

Hasarlı rulmanın ilk belirtisi olarak rulman hasar frekanslarının daha yüksek frekanstaki harmonikleri spektrum grafiğinde görülecektir. Rulman hasarlarında ilk belirtiler 20kHz-60kHz gibi ultrasonik frekanslarda oluşur. Ses duyulmaz ve sıcaklık normal düzeydedir. Arıza mikroskobik seviyede olduğundan titreşimler ölçülemez.

İlk önce bu yüksek frekansların görülmesinin nedeni, yuvarlanma elemanlarının hasarlı bölgeye çarpması ile rulman yüksek rezonans frekansları uyarılacak ve böylece yüksek frekans-geniş bant titreşim oluşacaktır. Bu aşamada esas hasar frekansları görülmez.

- 2.Aşama

Spektrum grafiğinde çok fazla titreşim hasar frekansı harmoniği oluşur. Rulman elemanları 500-2000 Hz frekans aralığında gürültü oluşturmaya başlar. Ses hafifçe duyulur ve sıcaklık normal seviyededir. Devam eden bozulma genellikle mil dönme devri ile hasar frekansı harmoniklerinin yan bant oluşturmasına neden olur. Bu aşamada hasar frekansı harmoniklerine göre, yan bantların genliği çok önemlidir. Yan bant genliği hasar frekansı genliğini geçerse hasarın önemli olduğu anlaşılır.

- 3.Aşama

Bu aşamada spektrum grafiğinde titreşim hasar frekansı harmonikleri ve yan bant frekanslarına ek olarak, esas hasar frekansı da görülür. Aynı zamanda BSF ve FTF ile ilişkili yan bantlar da oluşur. Genellikle, BSF ve FTF, BPFI veya BPFO'nin yan bantları olarak görülür. Bu durum yuvarlanma elemanları ve kafesin hasarlandığı, rulman bozulmasının sonlarına gelindiğini gösterir. Uygulanan yük ve mil hızına bağlı olarak rulmanın ömrü azalmıştır.

- 4.Aşama

Rulman bozulmaya devam ettiği için rulman elemanlarının bozulmasını hızlandıran iç boşluk artmaya başlar. Bu durum rulmanda geniş bant gürültüsünü artıran çok fazla vuruntunun oluşmasına imkan tanır. Artan vuruntu spektrum grafiğinde yükselen gürültü seviyesi olarak görülecektir. Gürültü seviyesi arttığı için tepeciklerin genliği azalacak ve ayırt edilmesi güçleşecektir. Bu noktada hasar çok yüksek seviyelere çıkmıştır. Rulmanın ömrü %2'den daha az kalmıştır. Rulmanın değiştirilmesi için hemen bir bakım planlaması yapılmalıdır.

5.1.3.2. Rulman hasar frekansları

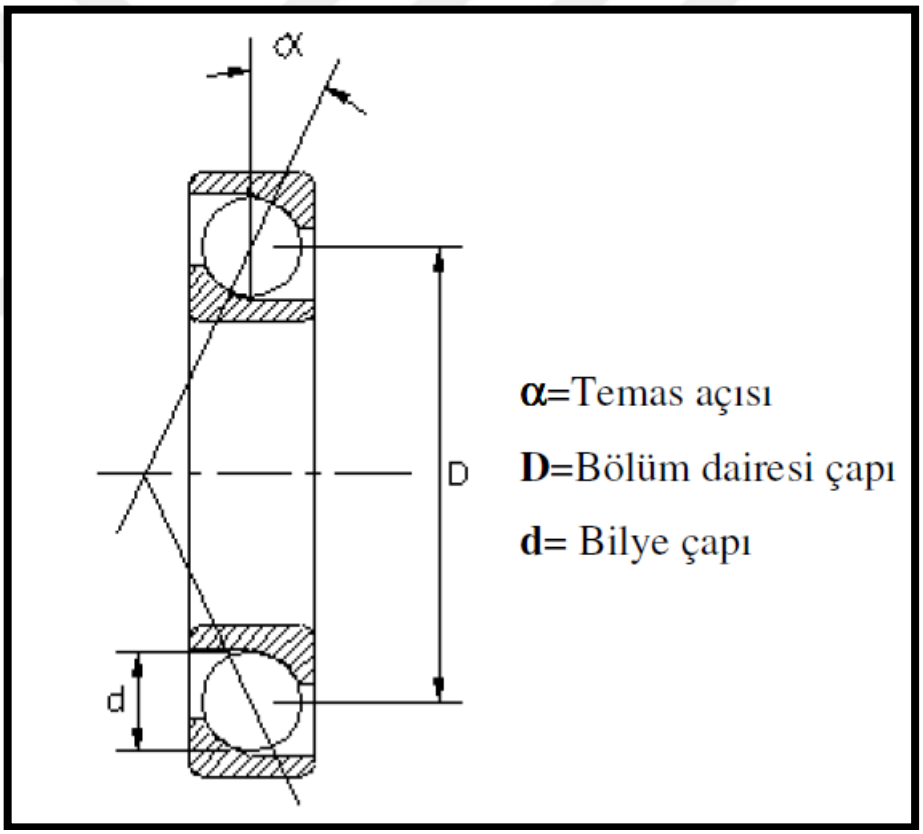
Hasarlı rulmanlar, hasar frekansları ve harmoniklerinde titreşimlere neden olurlar. Spektrum grafiğinde, hasarlı bir rulmanın oluşturduğu titreşimin belirtileri dört aşamada ifade edilebilir.

BPFO – (Ball Pass Frequency – Outer); dış bilezik arıza frekansı.

BPFI – (Ball Pass Frequency – Inner); iç bilezik arıza frekansı.

BSF – (Ball or roller defects); döner eleman arıza frekansı.

FTF - (Fundamental Train Frequency - Cage) ; kafes arıza frekansı.



Şekil 5.6. Rulman Geometrisi

$$\text{BPFO} : \frac{n}{2} N_b[1-(\frac{d}{D} \cos \alpha)] \quad (5.4)$$

$$\text{BPFI} : \frac{n}{2} N_b[1+(\frac{d}{D} \cos \alpha)] \quad (5.5)$$

$$\text{BSF} : \frac{n}{2} (\frac{d}{D})[1- (\frac{d}{D} \cos \alpha)^2] \quad (5.6)$$

FTF : $\frac{n}{2}$ [1-($\frac{d}{D}\cos\alpha$)] (5.7)

Burada n mil devrini, N_b ise yuvarlanma elemanı sayısını belirtmektedir.

Ayrıca, 30.000 CPM – 200.000 CPM arasındaki frekans aralığında görülen tepe oluşumları ve bu tepelere ait yan bantlar rulmanın doğal frekansının bozulduğunu gösterir. Doğal frekansın bozulması rulmanda oluşan bir hasardan meydana gelmektedir [26].

5.1.4. Mekanik gevşeme

Yapı bağlantılarında çözülmeler/gevşemeler; dönüş devri katlarında 8xRPM frekansına kadar harmonikler üretir. Dönen kısımdaki çözülmeler;

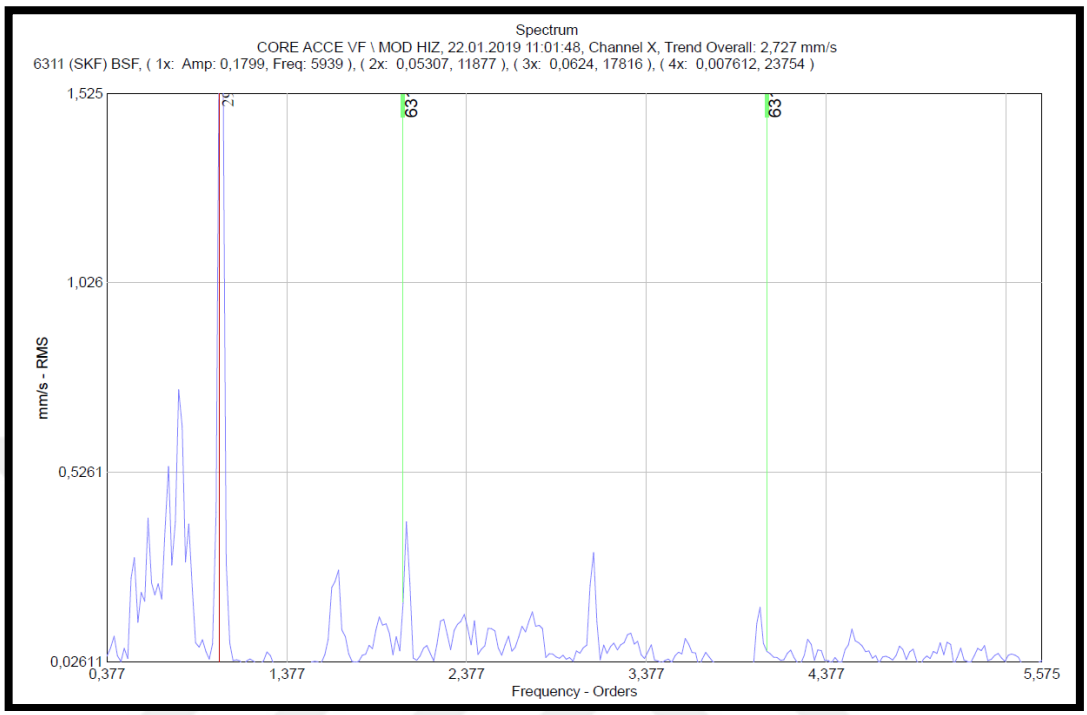
0,5xRPM harmoniklerinde göreceli olarak düşük tepecikler oluşturur [22].

Tablo 5.4.'te mekanik çözülmeye ait dönen ve dönmeyen parçaların titreşim frekanslarına, ölçüm yönüne ve genlikleri belirtilmiştir.

Tablo 5.4. Dönen ve dönmeyen parçalara göre gevşeklik

Titreşim Kaynağı	**Baskın Titreşim Frekansı**	**Ölçüm Yönü**	**Genlik**
Rulman yatakları gibi dönmeyen parçalar	3-10xRPM frekansında 1x RPM harmonikleri Yarı harmoniklerinde düşük genlik	Radyal	Sabit
Rotorlar gibi dönen parçalar	Yarı harmonik 10xRPM kadar harmoniklerde düşük genlikte	Radyal	Sabit (Her çalışmada farklı genlik okunur.)

Şekil 5.7.'de Hijyen Fabrikasına ait hatlardan alınmış mekanik gevşekliğe örnek spektrum grafiği görülmektedir.



Şekil 5.7. Mekanik gevşekliğe örnek spektrum grafiği

5.1.5. Rezonans

Rezonans, sistem doğal frekansıyla uyarıldığında oluşur ve genlik amplifikasyonu ile erken kopma ve kırılmalara neden olur. Bu yüksek titreşimler rotorun doğal frekansı dışında, bağlantı yerinden, ortamdan, kayışlardan bile kaynaklanabilir.

Eğer rotor rezonansta yada rezonansa yakınsa, yüksek faz farkı (rezonansta 90º, geçerken yaklaşık 180º) nedeniyle balans yapmak hemen hemen imkansızdır. Genellikle doğal frekansın değişimini gerektirir. Doğal frekans çalısma hızıyla değişmez [9].

5.1.6. Dişli hasarları

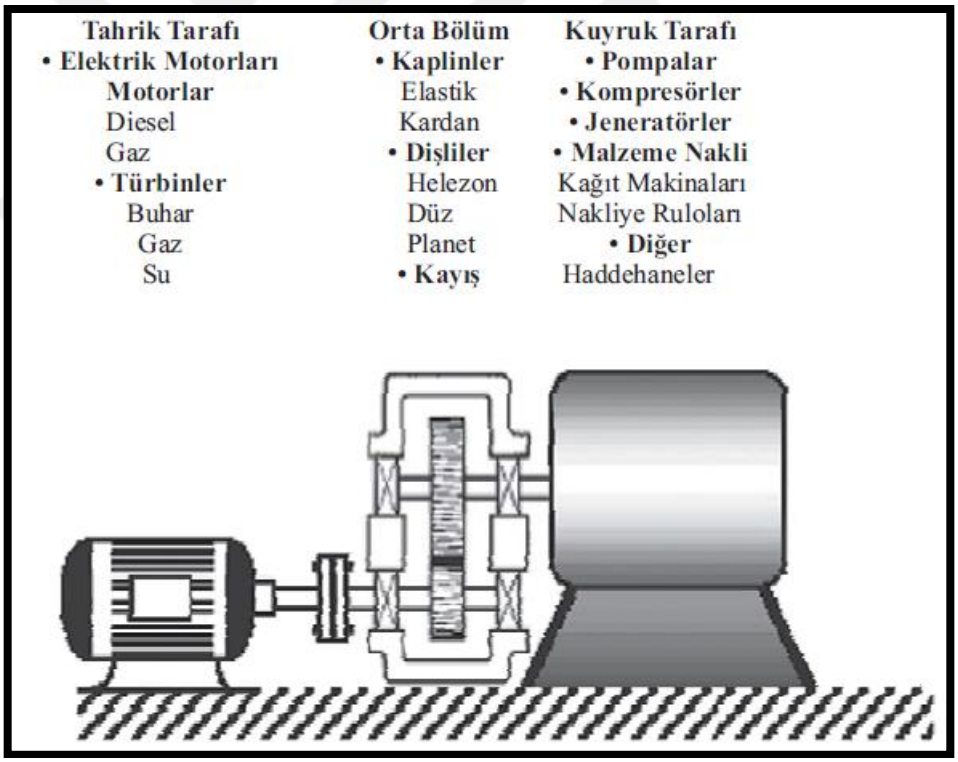
Dişliler yük altında dişlerin deformasyonu ve yükün değişik sayıda diş tarafından taşınması sırasında ani değişiklikler nedeniyle, titreşim hareketi yaparlar. Diş deformasyonu etkisi, diş kavrama frekansı (TMF) ve bunun harmoniklerinde kendini gösterir ve büyük ölçüde yüke bağlıdır [2,5].

TMF = Diş sayısı x Devir frekansı (5.8)

5.2. Titreşim Ölçüm Noktaları

Vibrasyon ölçüm noktaları arıza tespiti açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle ölçüm noktalarının ve bu noktalardaki ekipmanların bilinmesi gerekmektedir. Şekil 5.8'de makinanın parçalarının sınıflandırılması gösterilmiştir [17].

- Mümkün oldukça yatay ve dikey eksenlere yakın ölçümler alınmalıdır.
- Eksenel ölçümler mile paralel olmalıdır.
- Rulmanlar ile keçelerin yerleri karıştırılmamalıdır.
- Kapak ve bunun gibi noktalardan ölçüm alınmamalıdır.

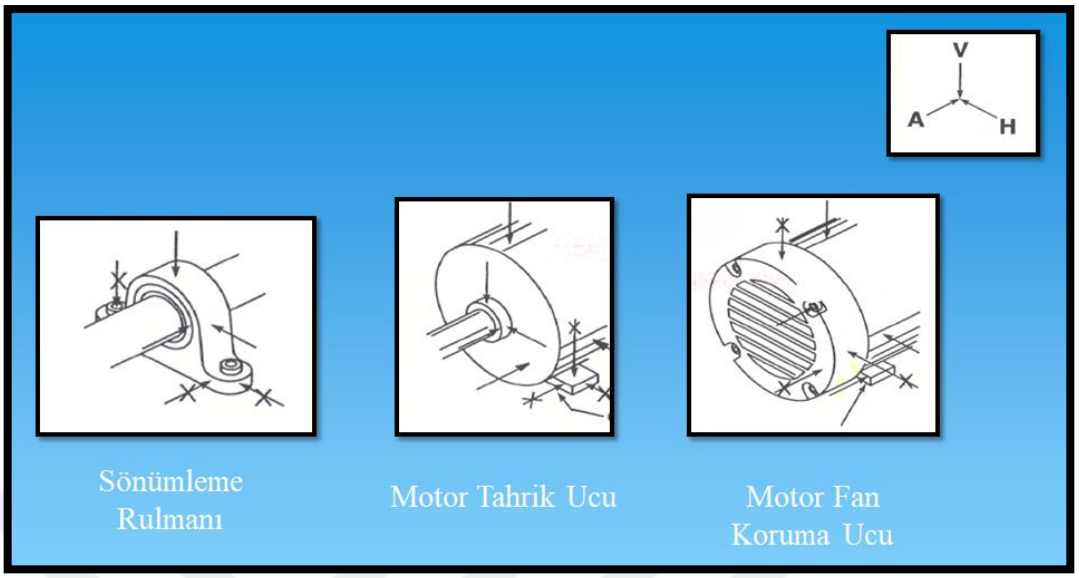


Şekil 5.8. Makinanın parçalarının sınıflandırılması

Şekil 5.9.'da titreşim ölçümünün 3 yönden yapılacağını ifade eden görseller bulunmaktadır. Motor tahrik ucu ve motor kapağı düşünüldüğünde ölçüm alınacak toplam altı ölçüm noktası bulunur.

Bu ölçümler eksenel, yatay ve dikey yönlerdedir [27].

A : Eksenel - V : Dikey - H : Yatay



Şekil 5.9. Ölçüm noktaları

5.3. Titreşim Ölçümleri Nasıl Alınır?

Vibrasyon ölçümleri sensörler aracılığı ile alınır. Bu sensörler özelliklerine veya neyi ölçmek istediğinize göre farklılıklar gösterirler.

- Karakteristikleri;
- Hassasiyet (mV/g)
- Linear frekans aralığı (Hz veya CPM)
- Ağırlığı (gram)
- Dinamik çalışma aralığı (Genlik)
- Gürültü tabanı
- Çalışma Sıcaklık Aralığı
- Çevre Şartları

İvme sensörleri hem boyut olarak küçüktür hem de frekans ölçüm aralığı geniş olması sebebi ile en çok kullanılan sensor tipidir. Bu sensörler piezoelektrik mantığı ile çalışır.

Piezoelektrik prensibi, bir basınç altında kristallerin akım oluşturduğunu anlatır. Bir kristalin üzerine bir kuvvet uygularsak, bu kuvvetle orantılı olarak kristalde akım

meydana gelir. Bu akımı bir dirençten geçirirsek o zaman da uyguladığımız kuvvetle orantılı bir voltaj ölçeriz [28].

5.4. Titreşim Ölçümlerinde Kullanılan Transdüserler

Ölçümler esnasında farklı amaca hizmet eden sensörler kullanılmaktadır. Bunlar;

- Deplasman sensörleri
- Hız sensörleri
- İvme Sensörleri
- Sabit sensörler
- Portatif sensörler

İvme sensörleri deplasman ve hız sensörlerine göre geniş frekans aralığı, birleşik yapı ve hafif oluşu, çok geniş çalışma aralığı, montaj ve kullanım çeşitliliğinden dolayı avantajlıdır [22].

5.4.1. Deplasman sensörleri (Eddy prob)

Titreşimin anlık hareket veya yer değiştirme miktarını ölçmek amacıyla dizayn edilmiş problardır. Deplasman probları titreşim hareketindeki iki tepe arası verilerini mils (0.0254 mm) olarak kaydeder. Bu veriler denge noktasına göre maksimum yer değiştirmeyi ifade etmektedir.

Genlik birimi olarak deplasmanın kullanımı düşük devirli makinelerde sağlıklı sonuçlar vermektedir. 10 Hz (600 RPM) altında çalışan mekanik sistemler için deplasman problarının kullanımı uygundur. Deplasman problarının yüksek maliyeti bir dezavantaj olarak görülebilir.

5.4.2. Hız sensörleri

Titreşim verilerinin toplanmasında hızın ölçülmesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu tipteki bir titreşim transdüseri birçok analiz cihazına kolayca monte edilebilir ve diğer sensörlere göre daha düşük bir maliyete sahiptir. Bu yüzden hız transdüserleri birçok mekanik sistemin titreşim ölçümlerinde ideal bir veri toplayıcı olarak kabul edilebilir.

Hız transdüserlerinin kullanımı 10-1000 Hz (600-60000 RPM) aralığında çalışan mekanik sistemler için uygundur. Bir çok mekanik sistemin çalışma frekans aralığı ve onların hasar frekansları 10 Hz ile 1000 Hz arasına denk geldiği için bu sistemlerde hız, titreşim analizleri için en önemli parametre olmaktadır [16].

5.4.3. İvme sensörleri

İvme transdüserleri titreşim veri ölçümlerinde en yaygın olarak kullanılan transdüserlerdir. Bunlar sağlam, ufak ve hafif transdüserler olup, geniş bir frekans aralığı için uygundurlar. Mekanik bir sistemde bilyeli rulman veya dişli grubu gibi malzemeler arızalı olduklarında yüksek titreşim frekansları üretirler ve bunların titreşim ölçümü için ivme transdüserleri kullanılmalıdır [16].

Genlik birimi olarak ivmenin kullanımı yüksek devirli makinelerde sağlıklı sonuçlar vermektedir. 1000 Hz (60000 RPM) üzerinde çalışan mekanik sistemler için ivme transdüserlerinin kullanımı uygundur.

Fazla kalibrasyon gerektirmemeleri avantajlı yanları olmakla birlikte, piezoelektrik kristallerinin sıcaklık hassasiyetleri dezavantajlı yanları olarak görülebilir.

5.5. Sensör Montaj Yöntemleri

5.5.1. Saplama ile montaj

Sürekli izleme sistemlerinde kullanılır. Frekans aralığı en yüksek metottur. Sensör bir saplama ile ölçüm yüzeyine sabitlenir [22].

5.5.2. Yapıştırarak montaj

Sürekli izleme sistemlerinde kullanılır. Yapıştırıcı ile ölçüm noktasına yapıştırılır [22].

5.5.3. Önceden monte edilmiş bir diske montaj

Sürekli izleme ya da periyodik ölçümlerde kullanılır. Makina yüzeyine saplama yuvası açılamayan ya da açılması uygun olmayan ortamlarda kullanılır. Ölçüm noktalarına, üzerinde sensörün monte edileceği saplama yuvası hazır bir disk önceden yapıştırılır. Sensör saplama ile bu diske tutturularak ölçüm alınır [22].

5.5.4. Mıknatıs ile tutturma

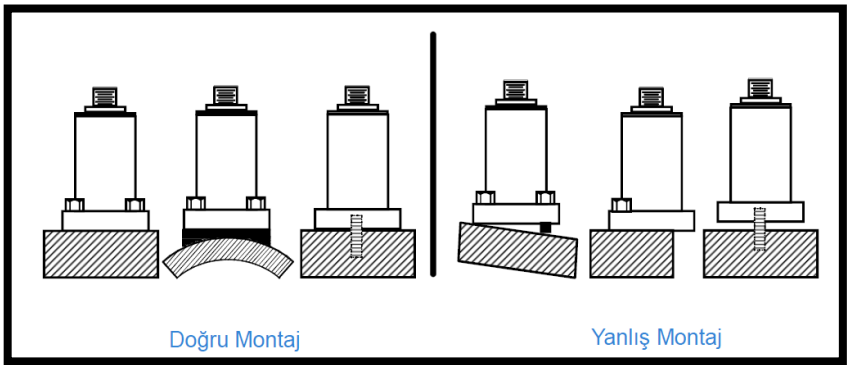
Periyodik ölçümlerde kullanılır. Sensör ucuna bir mıknatıs sabitlenir. Sensör mıknatıs ile ölçüm noktasına tutturulur. Doğal frekansının daha yüksek olması nedeniyle ölçüm sağlığı açısından nispeten daha iyi bir yöntem olmasına rağmen yine de ölçüm hatalarına neden olabilirler.



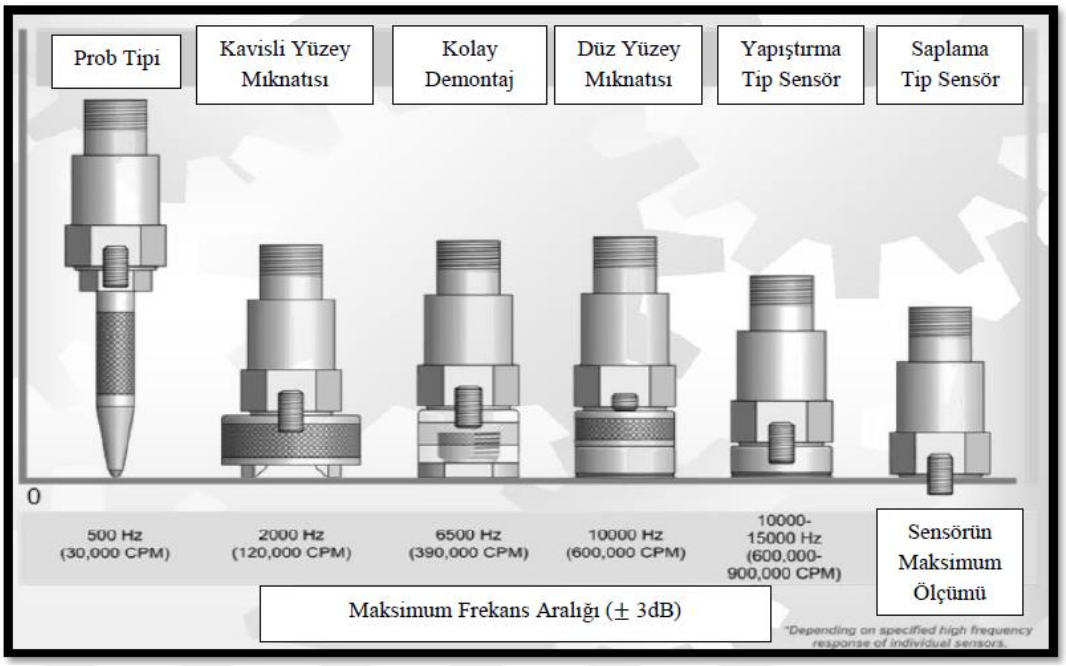
Şekil 5.10. Mıknatıs ile tutturma yöntemi ile gerçekleştirilen ölçüm

5.5.5. Elle tutma

Uygulamada çok popüler olmalarına karşın çok düşük doğal frekansa sahip olmaları nedeniyle hatalı ölçüm ya da değerlendirmeye neden olabilirler.



Şekil 5.11. Sensör montaj kontrolü



Şekil 5.12. Sensör montaj yöntemleri

5.6. Titreşim Standartları

Titreşim genlik değeri büyüklüğünün hangi durumlarda kabul edilebilir, hangi durumlarda kabul edilemez olduklarını tespit edebilmek için bazı standartlar geliştirilmiştir.

Başlıca iki adet standart vardır. Bunlar ISO 2372 ve ISO 3945 tir. ISO 2372'de makineler Sınıf I, Sınıf II, Sınıf III ve Sınıf IV şeklinde sınıflandırılmıştır. İlgili standart bilgileri Tablo 5.5'te verilmiştir.

Burada makinelerin sınıflandırılması şu şekildedir;

Sınıf I = 15kW'a kadar olan motorlarla tahrik edilen makineler.

Sınıf II = 15 kW ile 75 kW arası gücü olan motorlar tarafından tahrik edilen makineler.

Sınıf III = 75 kW'dan yukarı ve rijit bir temel üzerine monte edilmiş büyük makineler.

Sınıf IV= 75 kW dan yukarı ve yumuşak bir temel üzerine monte edilmiş büyük makineler.

Tablo 5.5. ISO 2372

RMS		Titreşim'in Derecesi			
mm/s	in/s	Sınıf I	Sınıf II	Sınıf III	Sınıf IV
0,28	0,01	A	A	A	A
0,45	0,02				
0,71	0,03				
1,12	0,04	B			
1,8	0,07		B		
2,8	0,11	C		B	
4,5	0,18	D	C		B
7,1	0,28		D	C	
11,2	0,44				C
18	0,71			D	
28	1,10				D
45	1,77				

Tablodaki derecelendirme harflerinin anlamları da şu şekildedir;

A = İyi

B = Kabul Edilebilir

C = Takip Altında Tutulmalı

D = Kabul Edilemez

ISO 3945'te ise makineler desteklenme (support) tiplerine göre sınıflandırılmışlardır.

Standart ile ilgili bilgiler Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. ISO 3945

RMS		Destek Tipi	
mm/s	in/s	Sabit (Rigid)	Esnek (Flexible)
0,46	0,018	İYİ	İYİ
0,71	0,028		
1,12	0,044		
1,8	0,071		
2,8	0,11	FENA DEĞİL	
4,6	0,18		FENA DEĞİL
7,1	0,28	KÖTÜ	
11,2	0,44		KÖTÜ
18	0,71	KABUL EDİLEMEZ	
28	1,10		KABUL EDİLEMEZ
46	1,80		
71	2,80		

6. ÇALIŞMADA KULLANILAN EKİPMANLAR VE UYGULANAN YÖNTEM ANALİZİ

6.1. Uygulama Çalışmaları

Bu çalışma Hayat Kimya Yeniköy Kağıt Fabrikası'nın ana kurutucu silindiri Yankee ve kurutucu fanlarından oluşan makinalar seçilerek, bu makinalarda meydana gelen arızaların kestirimci bakım yöntemi ile titreşim verileri toplanarak belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Kurutucu silindir yataklarındaki rulman ölçümleri alınmış ve hasar tespiti incelenmiştir. Kurutucu fanlarda ise fan motor rulmanları, balanssızlık, kaplin ayarı, rulman hasarları, mekanik gevşeklik incelenmiştir.

6.2. Titreşim Analizinde Kullanılan Ekipmanlar

SKF Microlog GX marka analizör makina ekipmanları üzerinden verilerin toplanması için kullanılmıştır. Cihaz iki kanallı, çok rotalı veya rotasız veri toplamayı destekler. Kullanım kolaylığı ve performansı nedeni ile cihaz fabrikamızda tercih edilmiştir. FFT analizörü sayesinde spektral/faz ölçümlerinin kolay bir şekilde yapılmasını sağlar. Sahada FFT spektrum ve faz ölçümleri için hızlı veri toplanmasını sağlar. Cihaz "SKF @ptitude Analyst" yazılım programı ile çalışmaktadır.

- Sinyal Analizörü (Titreşim Analizörü): SKF Microlog GX CMXA75
- Transdüser (Sinyal Toplayıcı / Dönüştürücü): SKF CMSS2200
- Analiz Yazılımı: SKF @ptitude Analyst
- Veri Analizi ve Veri Depolama İçin Bir Bilgisayar

Analizör ve transdüser makinelerden titreşim verilerini toplamak için, yazılım ve bilgisayar ise toplanan titreşim verilerinin analiz edilerek arızanın hangi nedenden kaynaklandığını tespit etmek için kullanılır. Titreşim ölçümleri Şekil 6.1.'de gösterilen SKF Microlog GX serisi CMXA75 analizör ve Şekil 6.2. ile Şekil 6.3.'de gösterilen SKF CMSS2200 model manyetik tip ivme transdüseri (dönüştürücü) kullanılarak yapılmıştır.



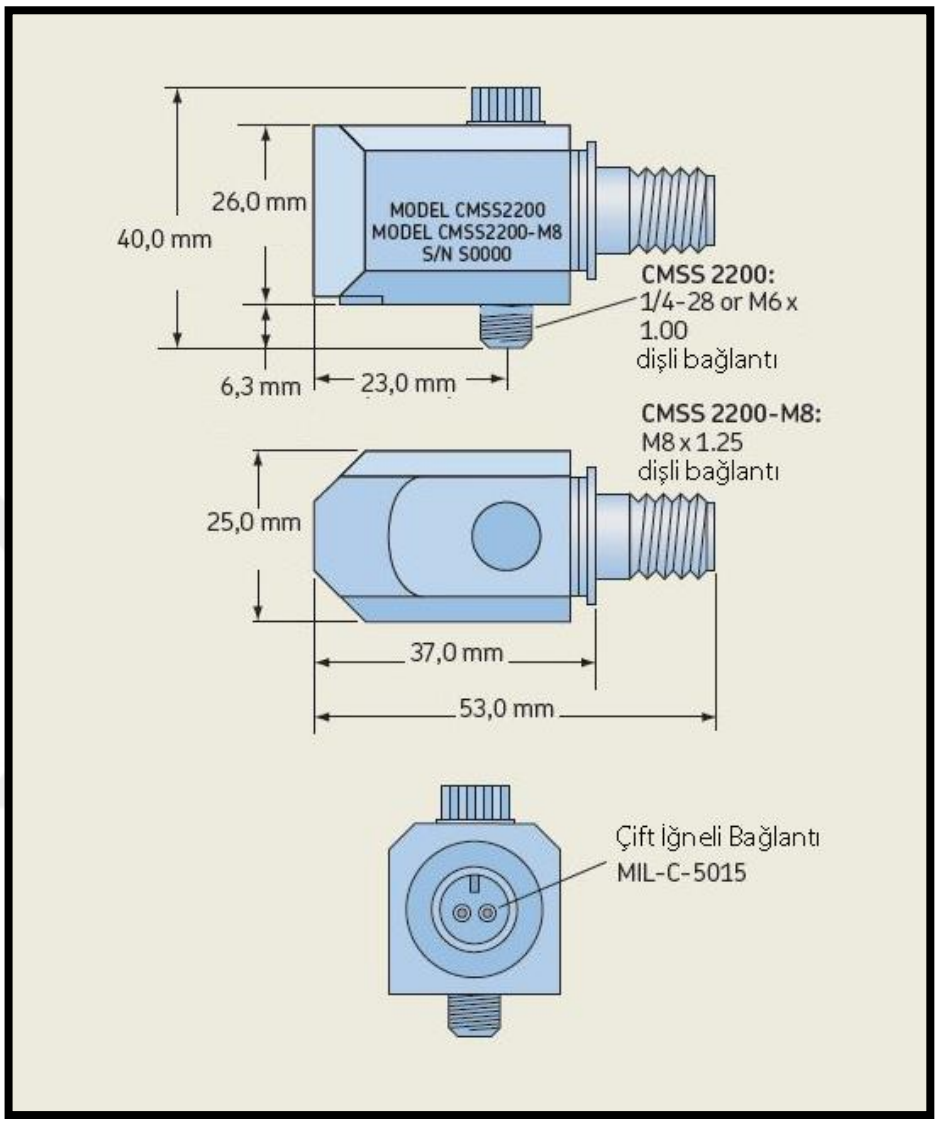
Şekil 6.1. SKF Microlog GX

SKF microlog ile alınan ölçümlerin saklanması, analizinin yapılması ve raporlandırılması SKF @ptitude analyst ile gerçekleşir. Yazılıma yüklenen ekipman tanımı ve bilgileri, ölçüm noktaları, rulman bilgileri, alarm seviyeleri vb. bilgiler girilerek raporlarda analiz kolaylığı sağlanır. Ayrıca verilen alarm seviyelerine bağlı olarak yazılım vibrasyon durumunu göstermektedir.



Şekil 6.2. SKF CMSS2200 Model Manyetik Tip Transdüser

Şekil 6.3.'te SKF CMSS2200 model manyetik tip transdüserin bağlantı detayları ve boyut bilgileri bulunmaktadır.



Şekil 6.3. SKF CMSS2200 Transdüser Bağlantı Detayları ve Boyutları

Şekil 6.4.'te SKF Analiz yazılım programının "SKF @ptitude Analyst" giriş ekranı bulunmaktadır. Periyodik ölçüm verileri cihazdan bilgisayarda SKF @ptitude analyst programına aktarılarak grafik incelemeleri gerçekleştirilebilir.

Sorunlu olduğu belirlenen ekipmanların geçmiş ölçümlerle karşılaştırılarak vibrasyon analizleri yapabilir ve raporlandırabiliriz. Bu sayede cihaz arıza teşhisini sağlar ve kestirimci bakım çalışmasını kolaylaştırır.

6.3. Çalışmada Kullanılan Makinalar ve Ekipmanlar

Arızanın nereden kaynaklandığını kolay ve çabuk tespit edebilmek için makinanın bazı özelliklerini bilmek gerekir.

6.3.1. Yankee kurutucu silindirleri

Kağıt üretiminde kullanılan ana kurutucu makinaları incelenmiştir. Bu makinaların özellikleri şu şekildedir.

KM1 ve KM2 hatlarında iki farklı marka kurutucu silindir kullanılmaktadır. KM1 hattında kullanılan Yankee kurutucu silindiri 2005 yılında üretilmiş ve 2006 yılında kurulumu gerçekleşmiştir. KM1 hattında Sandusky marka kurutucu silindir kullanılmaktadır. Menşei İngiltere'dir.

KM2 hattında ise Metso / Valmet marka silindir kullanılmaktadır. Menşei İsveç olan makina 2010 yılında üretilmiş ve aynı sene kurulumu gerçekleşmiştir.

KM1 Kurutucu Silindiri;

Üretici Firma : Sandusky

Üretim Yılı : 2005

Menşei : İsveç

Genişlik : 6.000 mm

Çap : 5.500 mm

Ağırlık : 140 ton

Tasarım Basıncı : 850 kPa

Uygulama Basıncı : 750 kPa

Maksimum Baskı Rulo Yükü : 170 kN/m

Hız : 2.200 metre / dakika'dır.

Salon taraf rulmanı : SKF C30/670K

Tahrik taraf rulmanı : SKF 230/670K



Şekil 6.4. Yankee Kurutucu Silindiri

KM2 Kurutucu Silindiri;

Üretici Firma : Metso / Valmet

Üretim Yılı : 2010

Menşei : İngiltere

Genişlik : 6.000 mm

Çap : 5.500 mm

Ağırlık : 140 ton

Tasarım Basıncı : 850 kPa

Uygulama Basıncı : 750 kPa

Maksimum Baskı Rulo Yükü : 90 kN/m

Hız : 2.100 metre / dakika'dır.

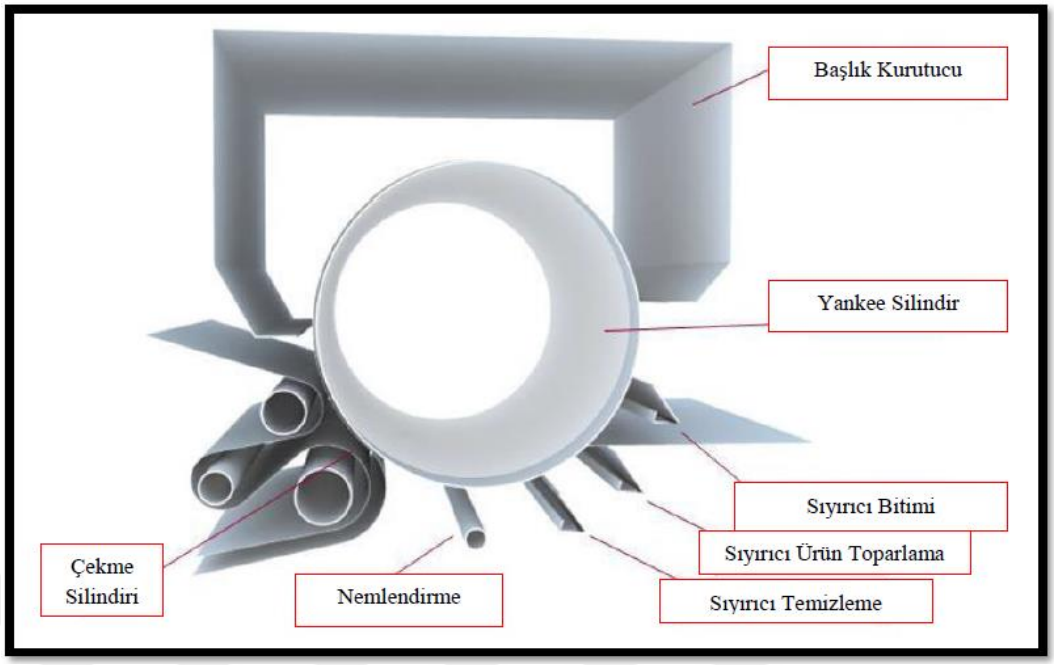
Salon taraf rulmanı : SKF C30/670K

Tahrik taraf rulmanı : SKF 230/670K



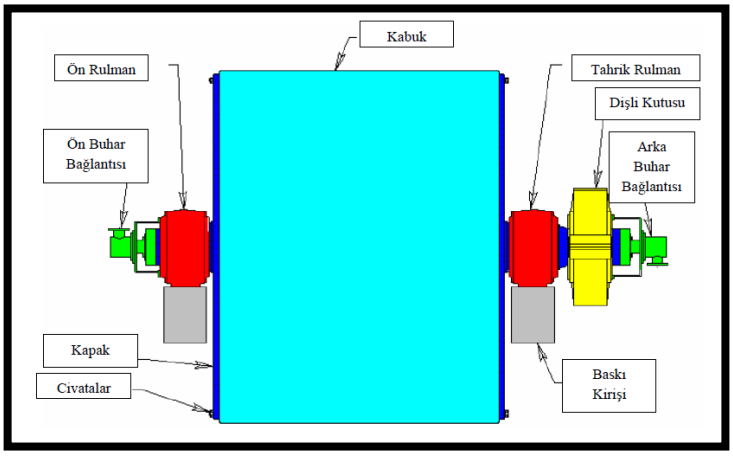
Şekil 6.5. KM2 Yankee Kurutucu Silindiri kurulum öncesi

Her iki makine için üretim kapasiteleri 10 ton/saat kağıt üretimi anlamına gelmektedir. Hatların farklı kalınlıkta ürün çalışması esnasında bu üretim kapasitesi değişkenlik gösterecektir.



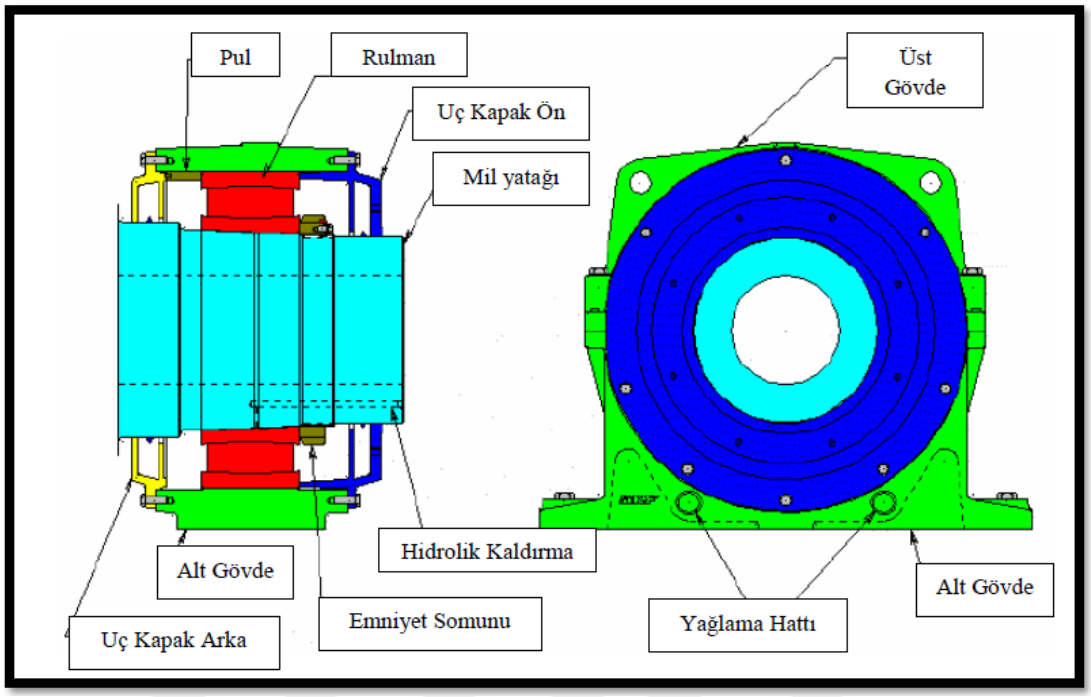
Şekil 6.6. Yankee Kurutucu silindiri ve dış ekipmanlar

Yankee silindir çalışmasında ; üç barlık buhar girişi yankee silindir yüzeyini 150° C sıcaklığa ulaştırır. Bu sıcak yüzey sayesinde hamurun kurutması sadece fanlarda değil silindir üzerinde de gerçekleşecektir. Hamur olan kağıt keçe üzerinden yankee kurutucu silindir üzerine pres valsi ile transfer olur. Hood 500°C hood sıcak havayı kağıdı kurutmak için üst bölgeden fanlar aracılığı ile üfleyerek gerçekleştirir. Bu işlem esnasında yankee yüzeyi sıcaktır ve kurutma işleminde aktif çalışır. Hamur olarak kurutucuya gelen kağıt silindir ve fanlar sayesinde kurumaktadır. Sonrasında sıyırıcı bıçak ile sıyrılıp valslere sarılır ve ürün ortaya çıkar.



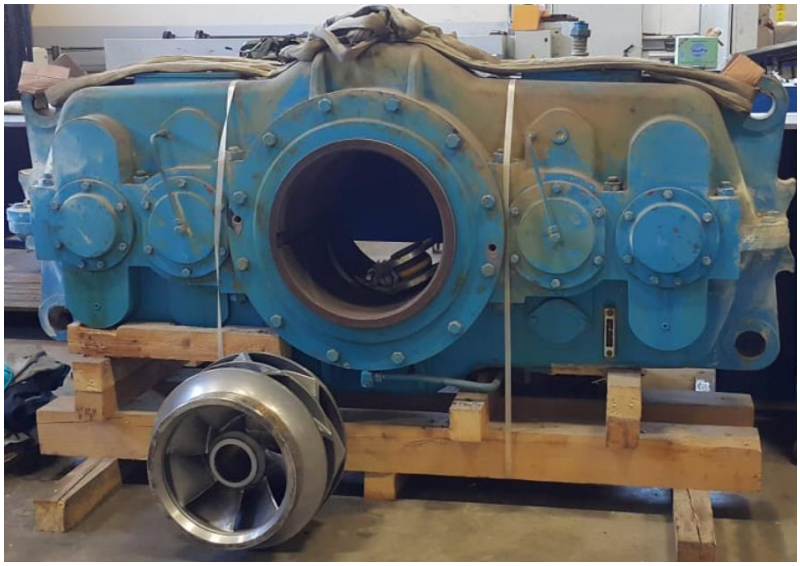
Şekil 6.7. Yankee Kurutucu silindiri şematik gösterimi

Yankee kurutucu silindiri yatak ve yatak rulmanlarına ait detaylar Şekil 6.8.'de gösterilmiştir.

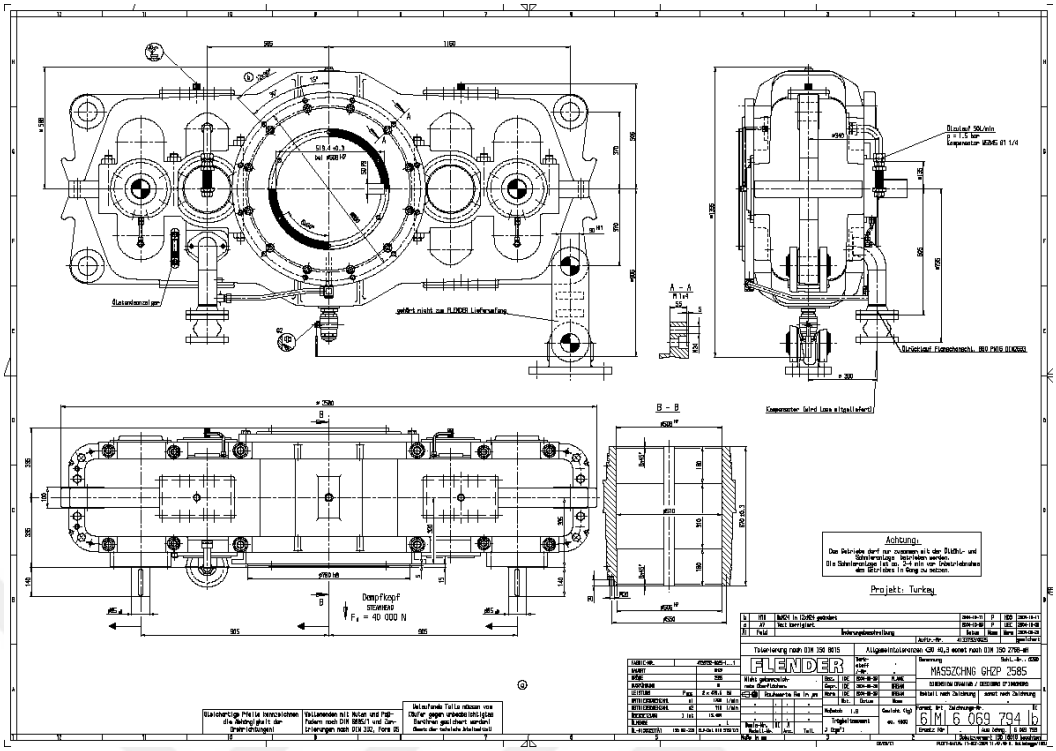


Şekil 6.8. Yankee Kurutucu silindiri rulmanı ve rulman yatakları

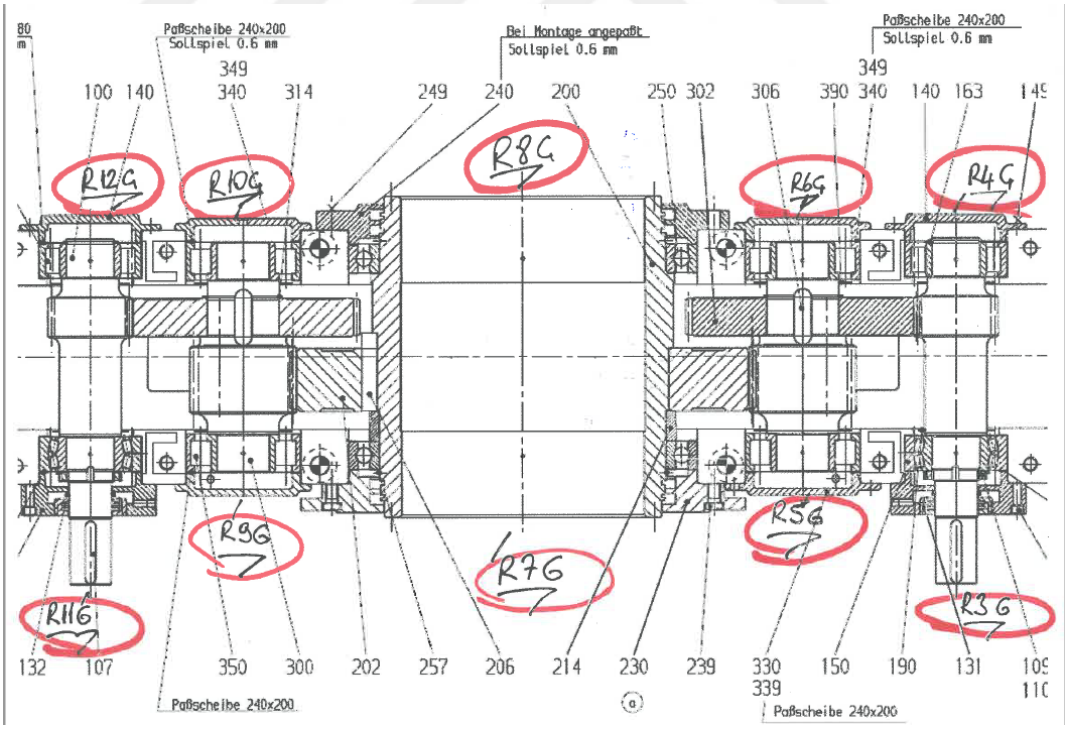
Yankee kurutucu silindiri redüktör grubuna ait detaylar Şekil 6.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9. Yankee Kurutucu silindiri redüktörü



Şekil 6.10. Yankee Kurutucu silindiri redüktörü teknik resmi



Şekil 6.11. Yankee Kurutucu silindiri redüktörü titreşim ölçüm noktaları

6.3.2. Yaş Kısım Sirkülasyon Fanı

Sirkülasyon fanları da üretimin devamlılığı için önemlidir. Kurutucu fanlar 1000 rpm – 1800 rpm arasında çalışmaktadır. Bu fanlarda fan motor rulmanları, balanssızlık, kaplin ayarı, rulman hasarları, mekanik gevşeklik incelenmiştir.

Baltogar marka fan bilgileri şunlardır;

- Menşei : İspanya
- Üretim Yılı : 2010
- Kanat sayısı : 10
- Hız : 1.567 rpm
- Çap : 1.975 mm
- Ağırlık : 1.120 kg



Şekil 6.12. Yaş kısım Sirkülasyon Fanı

6.4. Yöntem – Arıza Takibi

Hayat Kimya Gölcük Kağıt Fabrikasında kestirimci bakım uygulanmaktadır. Kestirimci bakım yöntemi uygulandığından ölçümlerin sürekli alınması ve ekipmanların takibi önem taşımaktadır. Bu iş için eğitimli kestirimci bakım personeli ve mühendisi mevcuttur. Yurt dışı yatırımları ve Türkiye yatırımlarında vibrasyon ölçüm cihazı yatırım aracıdır. Her kurulum aşamasında yatırım bütçesine konur ve kestirimci bakım için gerekli alt yapı oluşturulur.

KM1 ve KM2 kağıt üretim hatlarında çalışan Yankee kurutucu makinasında 50 noktadan ölçüm alınmıştır.

Ölçümler SKF Microlog GX vibrasyon ölçüm cihazı ile SKF CMSS2200 model manyetik tip transdüser ile gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerin içerisinde Yankee kurutucu silindir rulmanı en kritik bölgedir.

Yankee kurutucu silindiri titreşim ölçümleri genellikle 1 haftalık ve 15 günlük periyotlarla gerçekleştirilmiştir. Silindir rulmanı titreşim ölçümlerine ait trend grafiğinde problem tespit edildiğinde ölçümler günlük olarak sıklaştırılmıştır.

Fanların rulman yataklarından ise 15 noktadan ölçüm yapılmıştır.

Ölçümler genellikle 15 – 30 günlük periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm anında cihaz ekranından grafikler izlenmiştir ve gözlemlerimizle birleştirilerek o ekipmana ait yorumlar kaydedilmiştir.

Periyodik ölçüm verileri cihazdan bilgisayarda SKF @ptitude Software programına aktarılmıştır. Sorunlu olduğu belirlenen ekipmanların geçmiş ölçümlerle karşılaştırılarak vibrasyon analizleri yapılmıştır. Bu analizlere istinaden gerekli bakım planlaması yapılmıştır.

Çalışma esnasında alınan ölçüm noktaları eksenelde, yatayda ve dikeyde gerçekleştirilmiştir. Alınan bu ölçüm noktaları aracılığı ile grafiklerde ilk olarak trend ölçümleri göz önünde bulundurulmuştur. Kullanılan analiz programında ölçüm noktalarına ilk kritik bölge ve tehlikeli bölge olarak iki eşik değer belirlenmiştir.

Bundan sonraki aşamada ise bu eşik değerlerin aşımı ölçümü özel hale getirmekte ve bakım işleminin aciliyetini belirtmektedir.

Grafikler; rulman hasar tablolarında, balanssızlık, eksen kaçıklığı ve mekanik gevşemeye bağlı tablolarda kullanılan devrin katlarına bağlı frekanslara bağlı yorumlanmıştır. Bu aşamada arıza ile ilgili detay bilgiler elde edilmiştir.

Yapılan çalışmanın akış şeması sırası ile Tablo 6.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Çalışma Akış Şeması



6.5. Çalışmanın Amacı

Yanke kurutucu silindirinin seçilmesinin amacı; üretim faaliyetlerinin devamlılığı açısından çok önemli olmasıdır. Yankee kurutucunun durması sebebi ile fabrika zorunlu duruşa geçmektedir. Kurutucu fanlar, hamur hazırlama ve eleklerin tamamı durmakta bu nedenle üretim gerçekleşmemektedir.

Çünkü arızi duruşta minimum 4 gün üretim kaybı yaşanabilir. Hattın duruşu sürpriz olmamalıdır. Bu nedenle kestirimci bakım uygulaması ile periyodik olarak vibrasyon ölçümü alınmaktadır. En kolay çözümlenebilecek arıza rulman hasarlarıdır. Bunlarda da duruş 2 gün sürmektedir. Yankee kurutma silindiri 116 rpm ile çalışmasına ragmen sistem içerisindeki en kritik ekipmandır.

Fanların seçilme amacı; kurutucu silindir gibi üretim faaliyetlerinin devamlılığı açısından önemli olmasıdır. Fanlarda da 2 günlük bakım-onarım süreci gerçekleşmektedir. Fanların bir tanesinde dahi arıza olsa hatlar durmaktadır. Bu nedenle bakım duruşunun önceden planlanması ve arızi duruşlar yaşanmaması gerekmektedir. Bu planlamanın yapılmasıda ancak kestirimci bakım ile gerçekleşir.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen titreşim verileri, veri görüntüleme teknikleriyle sunulmuş ve analiz edilmiştir.

Titreşim, hareketli ekipmanların çalışmaları sırasında ekipmanı oluşturan elemanların düzensiz hareketleri sonucu ortaya çıkmaktadır. Titreşime neden olan etken, kuvvettir.

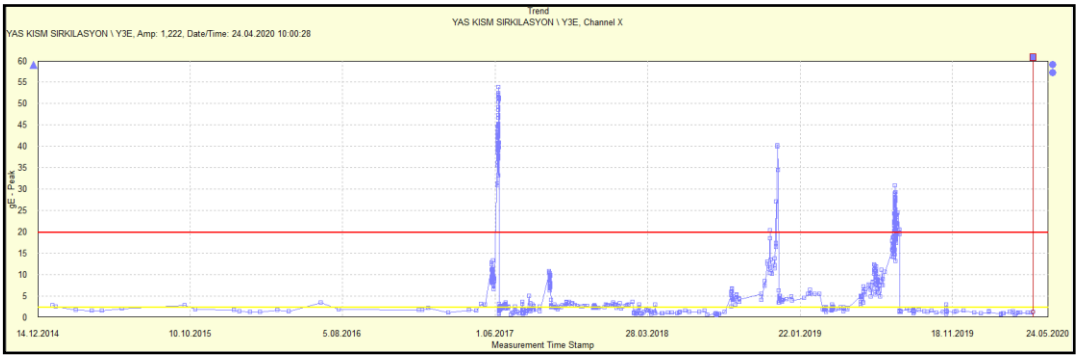
Titreşim karekteristikleri ekipmanın çalışır durumdaki kondisyonunu ve mekanın sorunlarının ortaya çıkarılmasında en önemli etkenleri oluştururlar. Bunlar titreşimin frekansı ve genliğidir. Ekipmanın titreşim sorunlarının incelenmesinde en büyük etken frekans olup bunun bilinmesiyle ekipmanın hangi elemanlarında sorun olduğu ortaya çıkacaktır. Titreşime neden olan kuvvet, ekipmanın dönmesinden dolayı belirli bir frekansta etkili olacaktır. Değişik mekanik sorunlar genelde değişik frekanslarda ortaya çıkacağından frekansın, analiz olayında belirlenmesi çok önemli bir etkendir.

7.1. KM2 Yaş Silindir Sirkülasyon Fan Ölçümleri

7.1.1. Arıza teşhisi

Yaş silindir sirkülasyon fanları kağıt üretiminde kullanılmaktadır. Bu fanlar, hamur halindeki selülozun Yankee kurutucu silindirinde işlenmesi esnasında yüksek sıcaklık üfleyerek kurutma amacı ile kullanılmaktadır. Kurutucu fanlardan birinin arızalanması bile hattın tamamen durmasına yol açmasından dolayı buradaki ölçümler işletme için önem taşımaktadır. Yapılan müdahaleler genellikle ölçümler ışığında ve planlanarak yapılmaktadır.

Şekil 7.1'de kritik noktanın tüm frekans tabanındaki genlik grafikleri alınmış ve titreşim genliğindeki artış nedeni başka bir deyişle arızanın nereden kaynaklanmakta olduğu ve trend alarak problemin ne kadar süre sonra kritik olacağı belirlenmiştir.

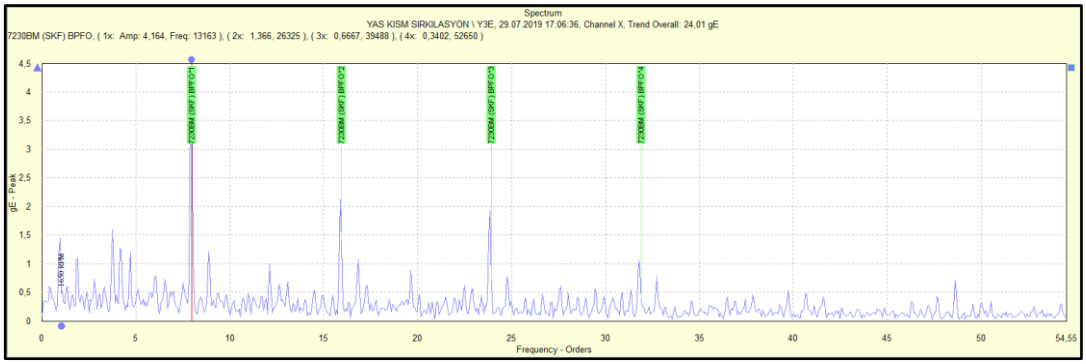


Şekil 7.1.Yaş kısım sirkülasyon fanı kaplin tarafı yatak rulmanı trend grafiği

Genellikle rulman hasarları problemlerin gerçek kaynakları değildir. Diğer bazı makina problemleri rulman hasarlarına yol açmaktadır. Rulman hasarı tespit edildiğinde otomatik olarak diğer arıza etkenlerinin araştırılması (kaplin ayarsızlığı, balans vs.) gereklidir.

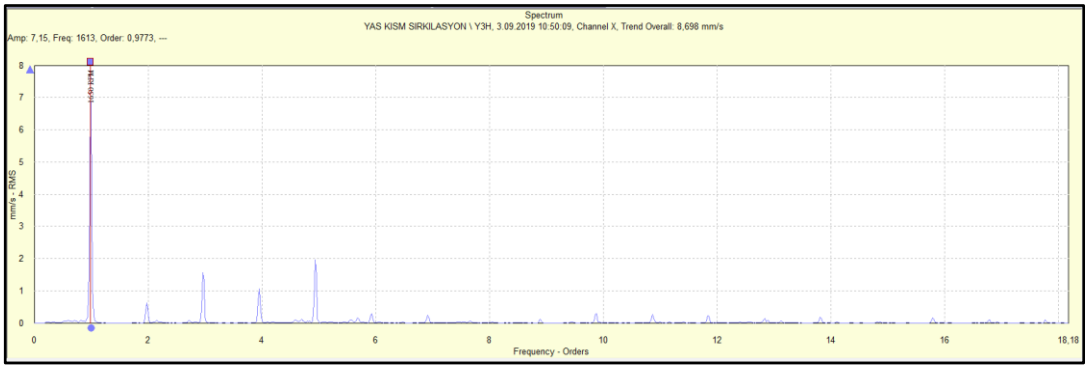
05.08.2019 tarihinde yapmış olduğumuz ölçüm neticesinde rulman hasarı tespiti yine trend grafiğinden saptanmıştır. Ancak bu tespit sadece rulmanın değişimi amacı ile çalışmamıza katkı sağlamıştır. Rulmandaki hasarın nerede olduğunu tespit etmek amacı ile bu tarihteki spektrum grafiği Şekil 7.2.'de yer almaktadır. .

Şekil 7.2.'de yer alan spektrum grafiğinde 29.07.2019 tarihinde yani duruştan bir hafta önce rulmanda dış bilezik problemi olduğu gözlenmektedir.



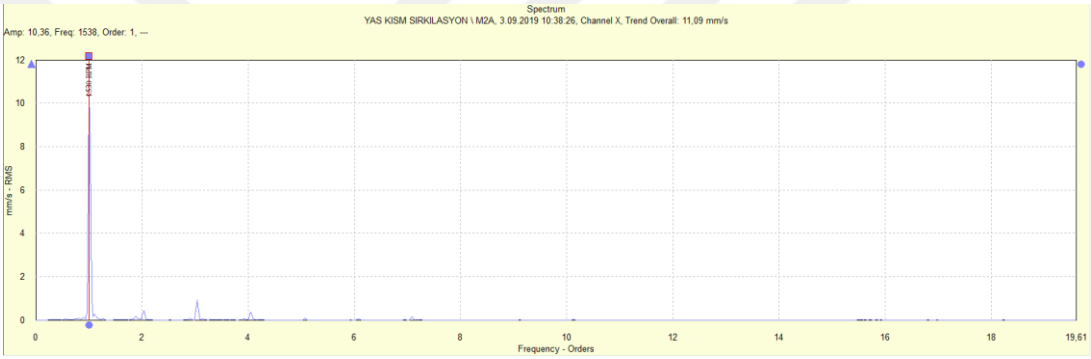
Şekil 7.2.Sirkülasyon fanı kaplin tarafı yatak rulmanı spektrum grafiği

Şekil 7.3.' te 03.09.2020 tarihindeki ölçümlerimiz sonucunda devrin birinci katındaki tepe değerinde yatak bağlantılarında gevşeklik olduğu analiz üzerinde görülmüştür. İşletmede çalışılan ürüne göre fanlarda devirler değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle grafikleri doğru yorumlayabilmek için devir sayıları günlük ölçüme göre değiştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 7.3.Yaş kısım sirkülasyon fan kaplin taraf rulman hız ölçümü

Şekil 7.4'te aynı tarihte eksenel bölgeden alınan titreşim ölçümü sonucunda balans fanda problemi olduğu gözlenmektedir.



Şekil 7.4.Yaş kısım sirkülasyon fan motor eksenel ölçümü

Bu ölçümde balans ve kaplin ayarsızlığını kontrol etmekteyiz. 1x RPM frekansında balanssızlık olduğu gözlenmektedir.

7.1.2. Arızaya müdahale ve arızanın giderilmesi

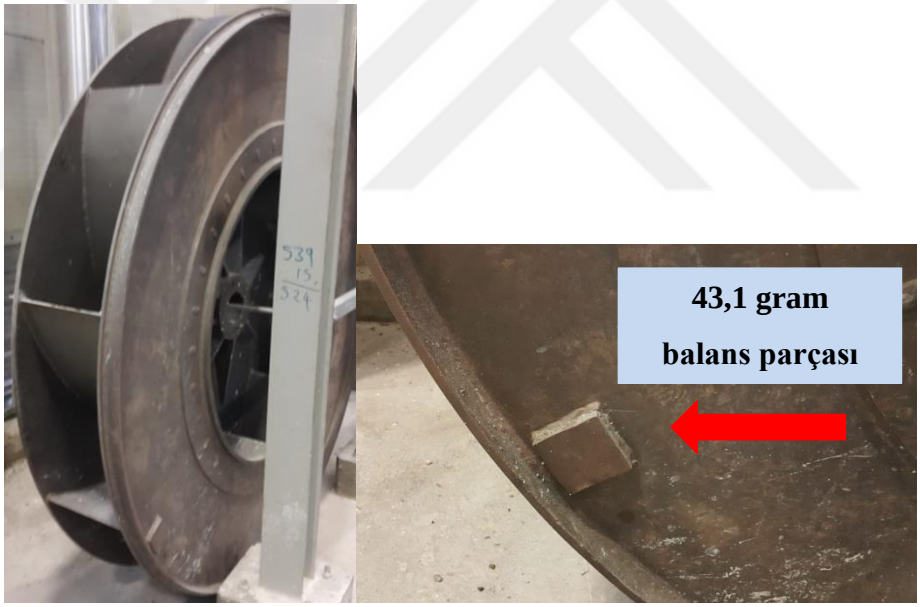
Şekil 7.1.'deki trend grafiği sonucunda rulmanda hasar olduğu tespit edilmiş ve değiştirilmiştir. Ancak değişim, üretimi aksatmamak için uygun duruşta gerçekleştirilmiştir.

Yapılan değişim esnasında kısıtlı süre olması nedeni ile rulman değişimi sonrası alınan ölçümlerde dengesizlik gözlenmiştir. Normal şartlarda yaklaşık bir sene çalışan rulmanın bir sonraki değişimi 9 ay sonucunda gerçekleşmiştir. Sonraki rulman değişiminde müdahale daha uzun süreli bir duruşa denk gelmesi sebebi ile yapılan müdahale daha güvenli gerçekleşmiş ve bakım sonrasındaki ölçümleri daha iyi sonuç vermiştir.

Makinada kestirimci bakım ekibi tarafından balans tespit edilmesi sonrasında makine hızı üretim ekibi ile koordineli olarak düşürülmüştür. Bu hız düşümü bakım ekibimize zaman kazandırmıştır. Bakım ekibi olarak balans probleminin çözümü için üretim ekibinden duruş talep edilmiştir.

Duruşta çalışma yapacak firma sıcak balans işlemi için fabrikamıza davet edilmiştir. Sıcak balans işlemi gerçekleştirildi ve balans değerlerinde iyileşme gözlendi. Süreci hızlandırmak amacı ile yedekte bulunan fan ile değişim gerçekleştirilmiştir.

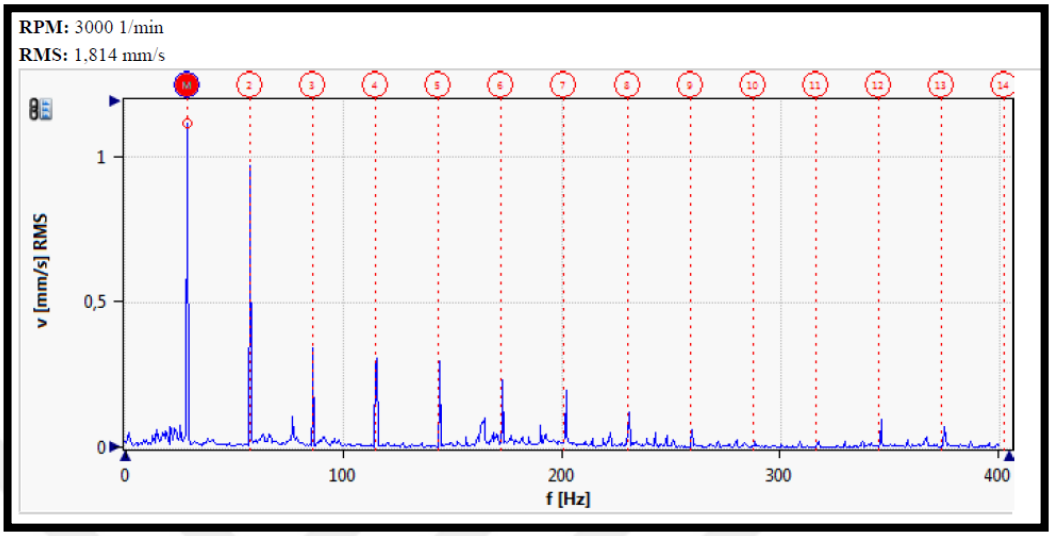
Balans tespit edilen fan, bakımda çıkartılması sonrasında balans işlemi gerçekleştirilmiştir. Çıkan fana ait görseller Şekil 7.5.'te yer almaktadır. Balans işlemi sonucunda fan üzerine 43,1 gram ağırlık eklenerek balanssızlık problemi giderilmiştir. Fana ait balans raporunda ise titreşim ölçümlerini destekleyen sonuçlar olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 7.5. Balans işlemi sonrası fan ve fan üzerindeki ağırlık

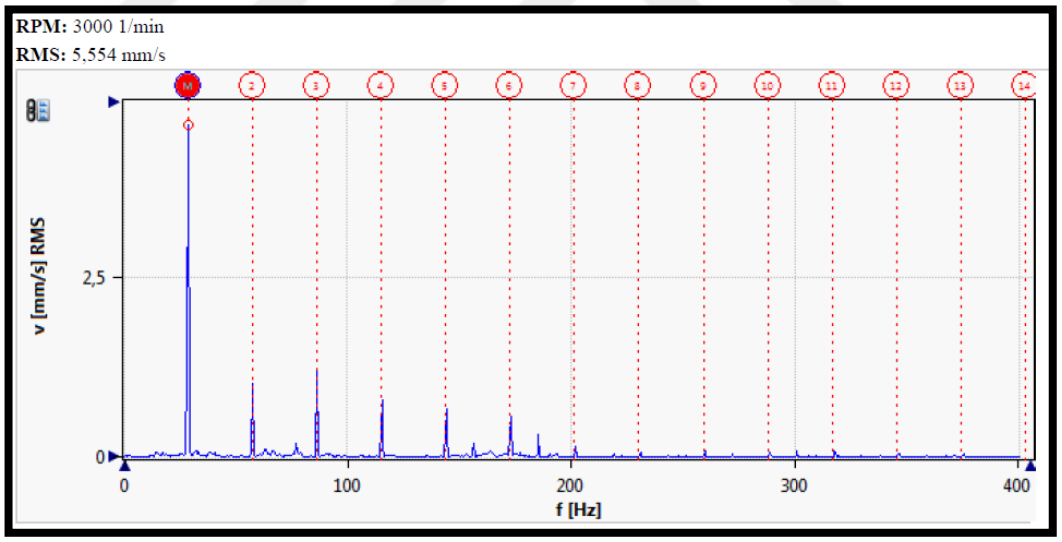
Balans raporunu ve grafikleri incelediğimizde; vibrasyon değerleri dikeyde daha etkili ve yataya göre yüksek seviyede olduğu tespit edilmiştir. Kuvvet açıları incelendiğinde 90° farklı pozisyonda konumlandırılan sensörlere etki eden kuvvetlerin 90° faz açısı oluşturmadığı gözlenmektedir. Bu balanssızlık problemi dışında farklı bir problemin olduğu kuşkusu doğurmaktadır. Alınan spektrum ölçümlerinde de özellikle dikey yönde yataya göre daha yüksek sinyal genlikleri

gözlenmesi ve bununla beraber dönme devri ve harmonikleriyle eşleşen sinyaller çözülme-boşluk problemi kuşkusu oluşturmaktadır.

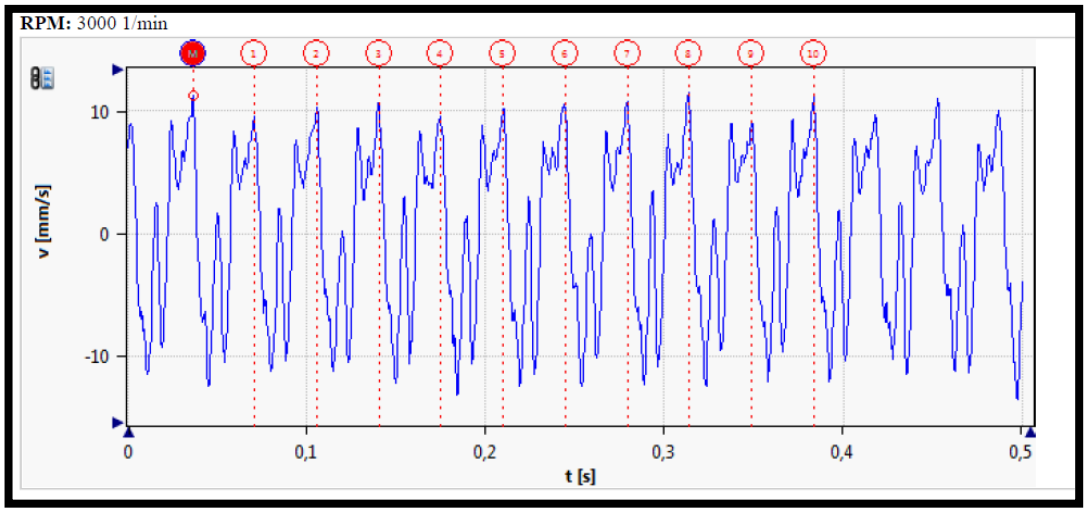


Şekil 7.6. Fan balans ölçümleri 1

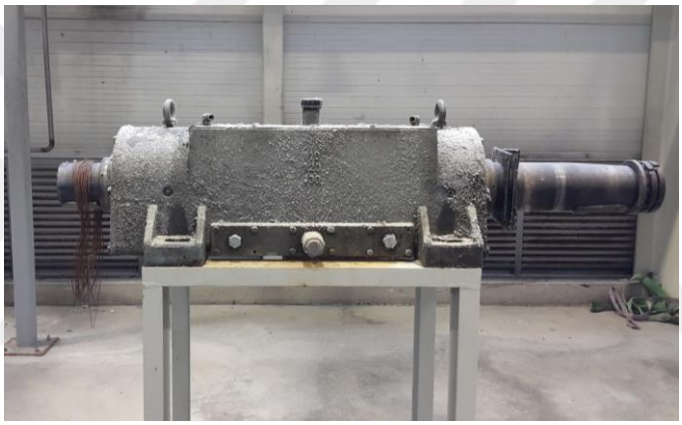
Şekil 7.6.'da fan balans ölçümlerinin arıza sonrasındaki ilk ölçümü gösterilmiştir.



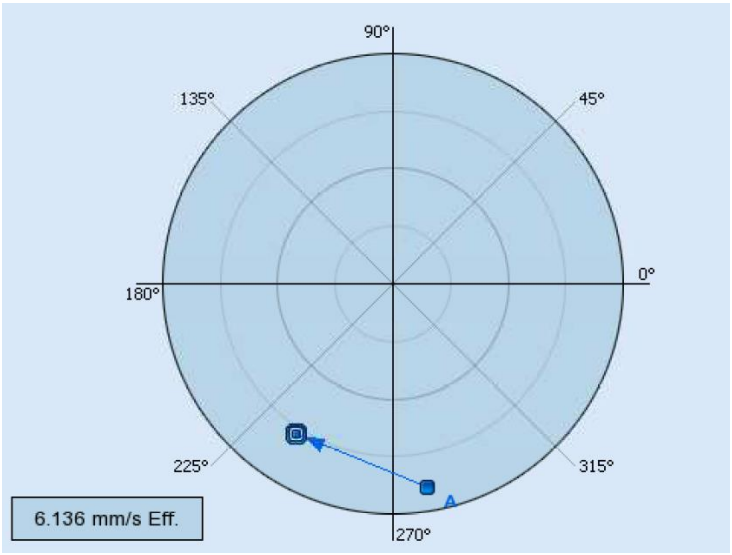
Şekil 7.7. Fan balans ölçümleri 2



Şekil 7.8. Fan balans ölçümleri 3



Şekil 7.9. Yedek sirkülasyon fanı mil yatağı



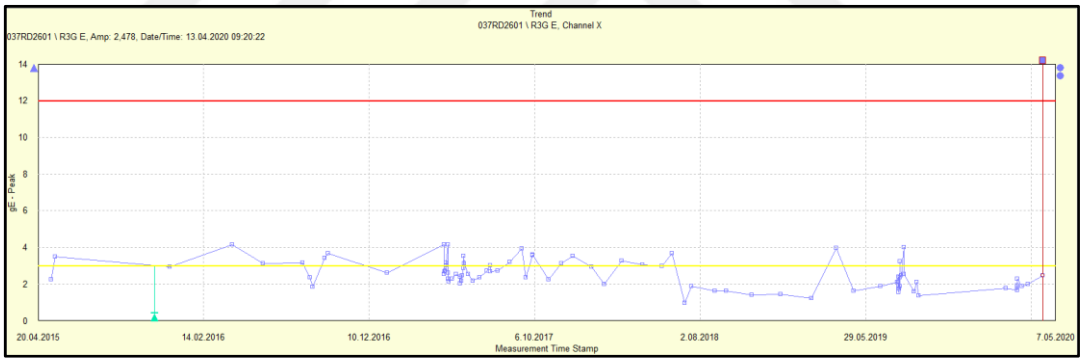
Şekil 7.10. Fan balans görünümü

7.2. KM1 Yankee Kurutucu Silindirleri Rulman Ölçümleri

Yankee kurutucu silindir kağıt oluşumunun dilimlemeden önceki son aşamasıdır ve tüm hattın üretimi fanlarla birlikte Yankee kurutucu silindirine bağlıdır. Bu nedenle buradaki ölçümler fanlarda olduğu gibi kritiktir. Yankee kurutucu silindirindeki kritiklik seviyesi fanlara göre daha yüksektir. Bunun sebebi ise Yankee kurutucu silindire müdahale ve bakım fanlara göre daha uzun duruş süresi gerektirir. Bu nedenle burada ölçümlerin önemi bakım ekipleri ve üretim ekipleri için çok önemlidir.

7.2.1. Redüktör arıza teşhisi

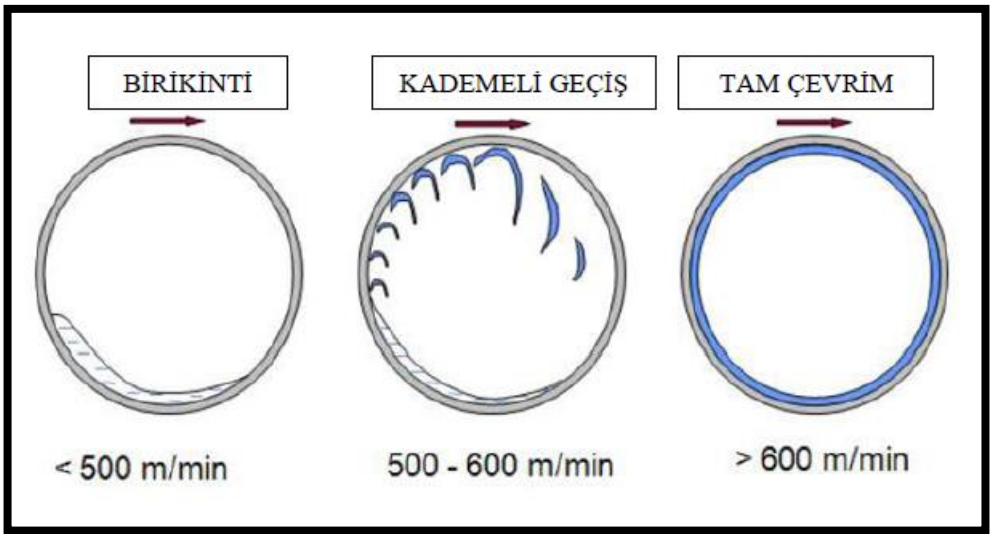
KM1 ve KM2 işletmelerinde bulunan Yankee kurutucular üzerinden ölçümler takip edilmiştir. İlk olarak KM1 hattının salon taraf rulmanına ait trend grafiği incelendiğinde ölçüm hatası tespit edilmiştir. Bunun sebebi kondens suyu nedenli yoğuşma olabilir. Ya da personel kaynaklı ölçüm hatası olabilir.



Şekil 7.11. KM1 Yankee Motor Rulmanı Trend grafiği

Şekil 7.11'deki trend grafiği incelendiğinde genel grafikte problem gözükmese dahi bazı tarihlerde tepe noktaları bulunmaktadır. Bunun sebebi ise kondens suyu nedenli vibrasyon ölçüm hatalarıdır.

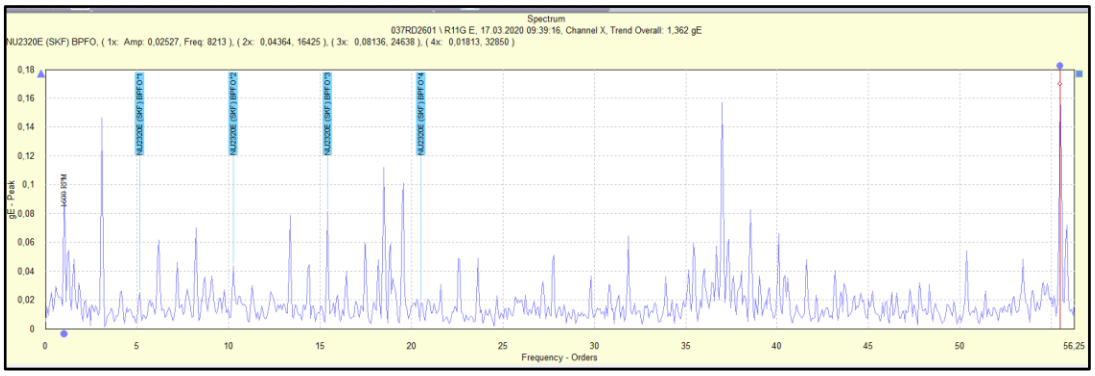
Makine duruşunda soğuyan yankee içerisindeki buhar kondens olarak sıvı hale geçtiğinden makine hızlandırılması esnasında içeride oluşan suyun ring yapmadan önce oluşan dengesiz yük redüktörün dişlilere, rulmana ve mil yatağına dinamik yük olarak etki etmektedir.



Şekil 7.12. Kondens suyunun kurutucu içindeki görünümü

Ölçümler esnasında Yankee redüktör rulman ölçümlerinde geçmişe dayalı ve bakım açısından uzun süren hasar tespiti gerçekleşmiştir.

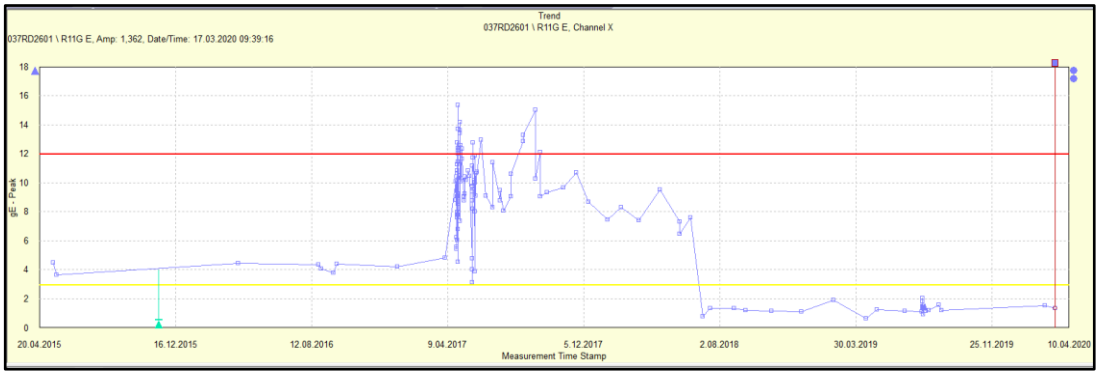
Bakımdan önce yapılan diğer bir analiz ise rulman hasarının nerede olduğunu saptamaya yöneliktir. Bunun tespiti sırasında spektrum grafiğinde dış bilezik hasarı olduğu Şekil 7.14'te olduğu gözlemlenmiştir. Ölçümler 1600 rpm de gerçekleşmiştir.



Şekil 7.13. KM1 Redüktör Rulman spektrum grafiği

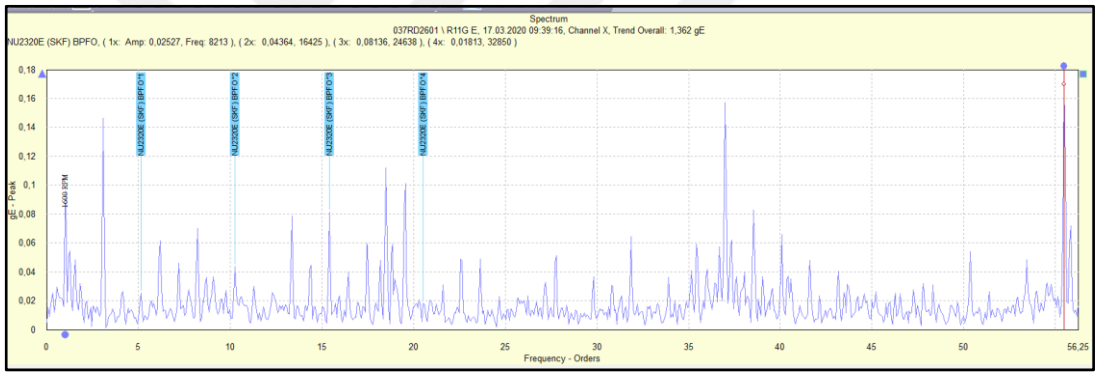
7.2.2. Redüktör arızaya müdahale ve arızanın giderilmesi

Bu rulmanın çalışmasında hasar tespiti sonrasında uygun duruş beklenmiştir. Ancak üretim yoğunluğu nedeni ile hattın arızi sebepten ötürü durma riski kabul edilerek üretim devam etmiştir. 18 ay hat üzerinde rulman değişikliği gerçekleştirilmemiştir.



Şekil 7.14. KM1 Yankee Redüktör Rulmanı trend ölçüm grafiği

Şekil 7.13'teki trend grafiğinde hasarın giderildiği ve bakımın etkileri görülmektedir. Hattın uygun duruşu sonucunda 4 günlük demontaj-montaj ve yeni ünite ile değişim gerçekleştirilmiştir. Trend grafiğinde bakım sonrasında titreşim verilerinin normale döndüğü görülmektedir.



Şekil 7.15. KM1 Redüktör Rulman spektrum grafiği

Rulman değişikliği Yankee kurutucuda ciddi anlamda emek ve duruş gerektirir. Bu rulman 2006 yılından bu yana ilk kez Ekim 2016 tarihinde değişmiştir. Yapılan değişiklik sonucunda 4 gün duruş yaşanmıştır. Bu duruş vibrasyon ölçümleri sonucunda neticesinde planlanarak gerçekleşmiştir.

GHZP 2585 /İ:15,484 flender marka redüktörün maliyeti 150.000 Euro olarak gerçekleşmiştir. Yeni redüktör ile değişim gerçekleşmeştir. Değişimi yapılan redüktörün bakımı 143.000 TL'dir. Redüktörün bakım teslim süresi ise 250 gündür.

Ölçümler esnasında dişli ölçümünde de vibrasyon tespit edilmiştir. Dişlinin trend grafiği incelendiğinde dişlide hasar olduğu ve bakım yapılması gerektiği

anlaşılmaktadır. Bakım sonrasında ise tepe noktalarındaki düşüş Şekil 7.16'da gözlenmektedir.



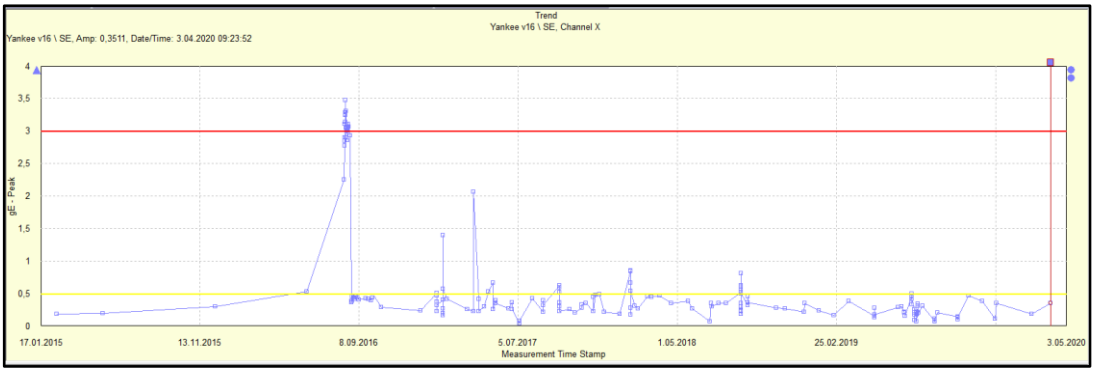
Şekil 7.16. KM1 Yankee Kurutucu Redüktörü Dişli trend ölçümü

Redüktör değişiminde kestirimci bakım uygulanmasına rağmen maddi tasarruf bulunmamaktadır. Bunun sebebi ise ünite yedeklemesi bu arızaya istinaden üst yönetim tarafından onaylanmış ve buna istinaden yeni ünite ile değişim sağlanmıştır.

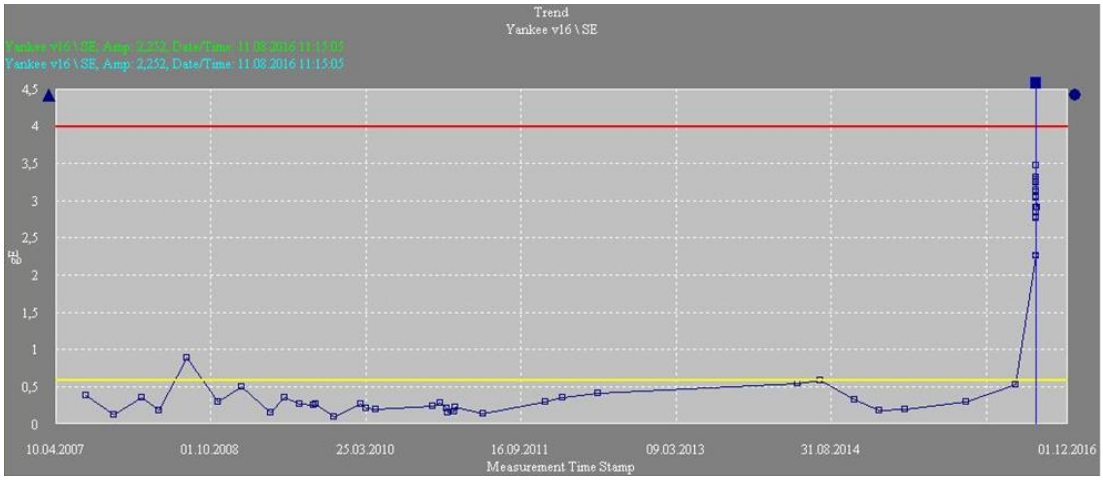
Ölçümler göz önünde bulundurulmasına güvenilerek henüz redüktörün bakımı gerçekleştirilmemiştir. Bakıma istinaden maliyet onayı gelmesi doğrultusunda bakım işlemi gerçekleştirilecektir.

7.2.3. Rulman arıza teşhisi

KM1 işletmemizde çalışan Yankee kurutucuya ait salon taraf yatak rulmanı incelenmeye devam etmektedir. Trend grafiğinde değişkenlik göze çarpmıştır.

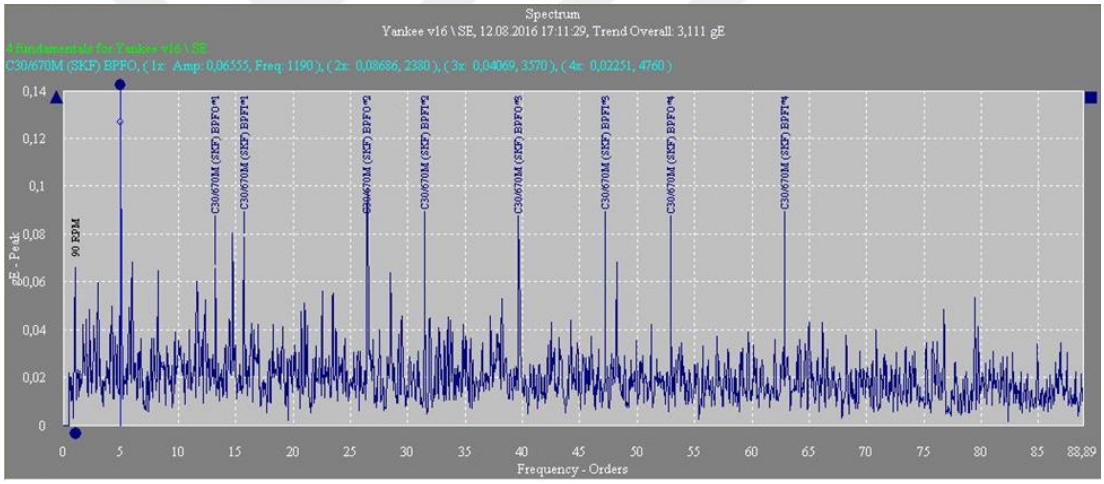


Şekil 7.17. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı trend grafiği



Şekil 7.18. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı trend grafiği-2

Şekil 7.18'de KM1 Yankee silindiri rulmanı değişim dönemi ve öncesindeki trend grafiğinde rulman hasarı olduğu gözlenmiştir.

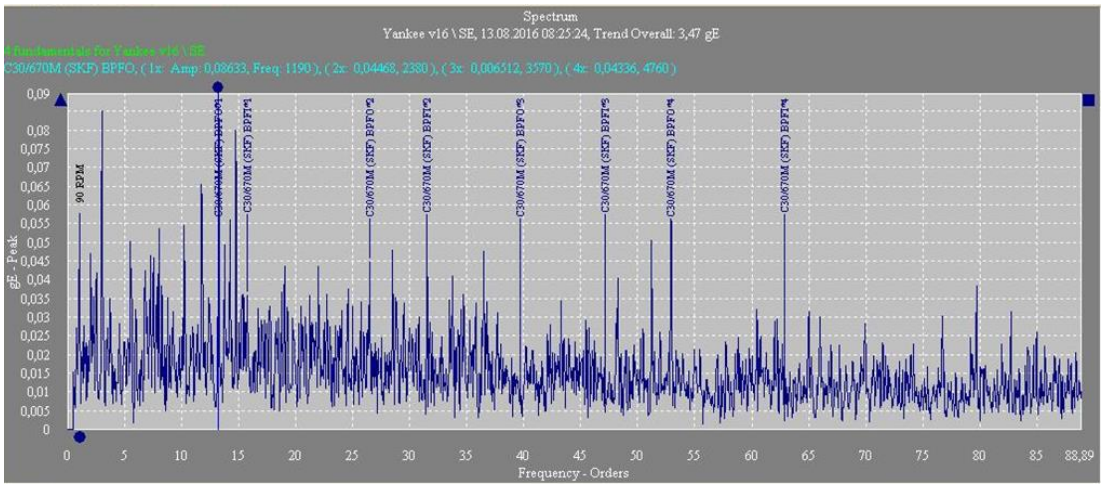


Şekil 7.19. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı spektrum grafiği

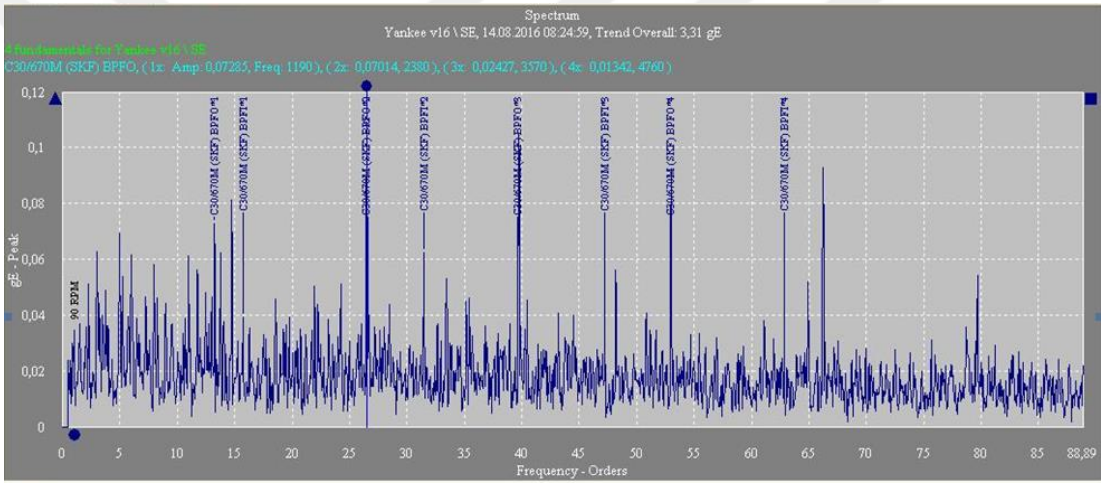
Şekil 7.19'da rulman dış bilezik arızası verirken alınan spektrum grafiği bulunmaktadır.

12.08.2016 tarihinde alınan ölçüme ait rulmanın dış bilezik hasarı grafikte görülmektedir.

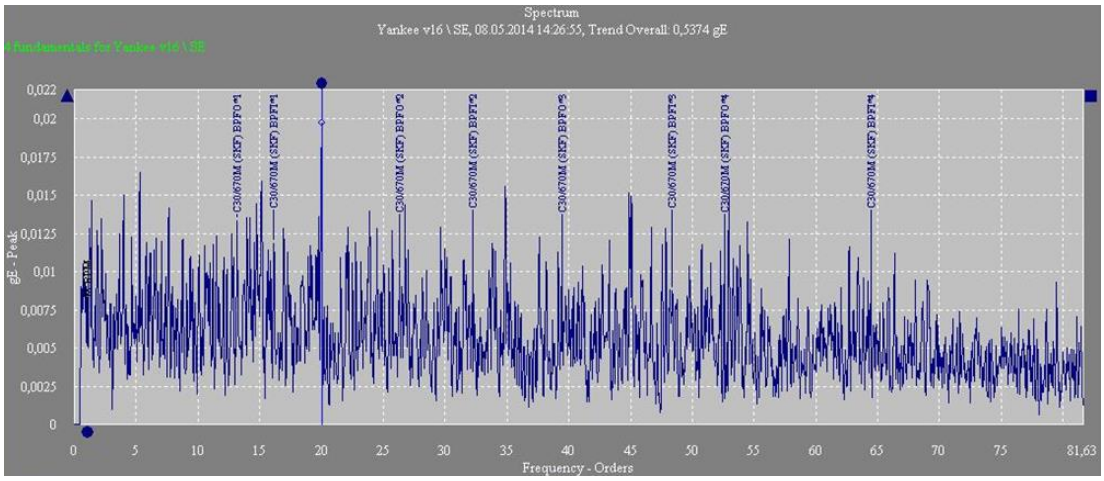
Aynı görüntü 13.08.2016 ve 14.08.2016 tarihlerinde de grafikte gözlenmiştir. Şekil 7.20.'de 13.08.2016 tarihindeki ölçüm, Şekil 7.21'de ise 14.08.2016 tarihindeki ölçüme ait grafik bulunmaktadır.



Şekil 7.20. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı spektrum grafiği-2

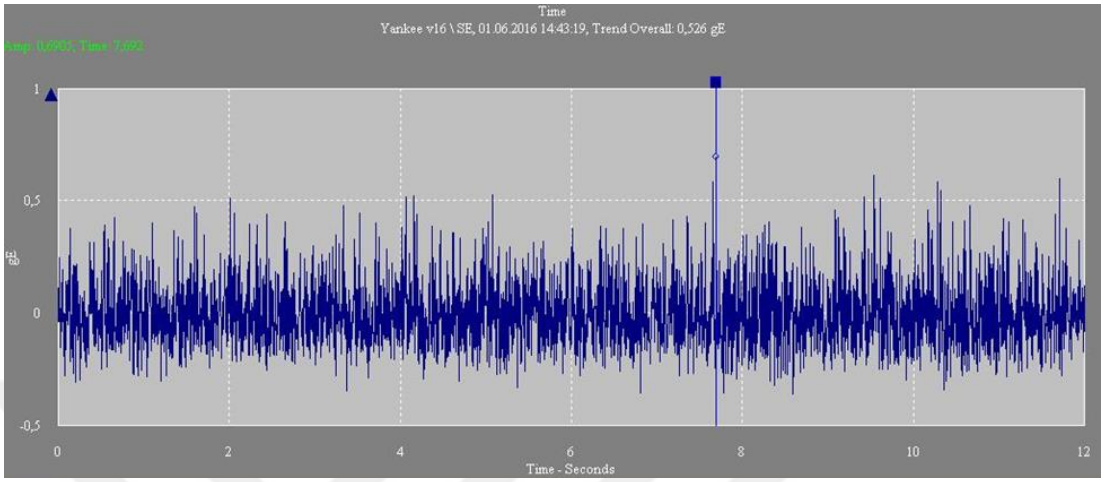


Şekil 7.21. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı spektrum grafiği-3

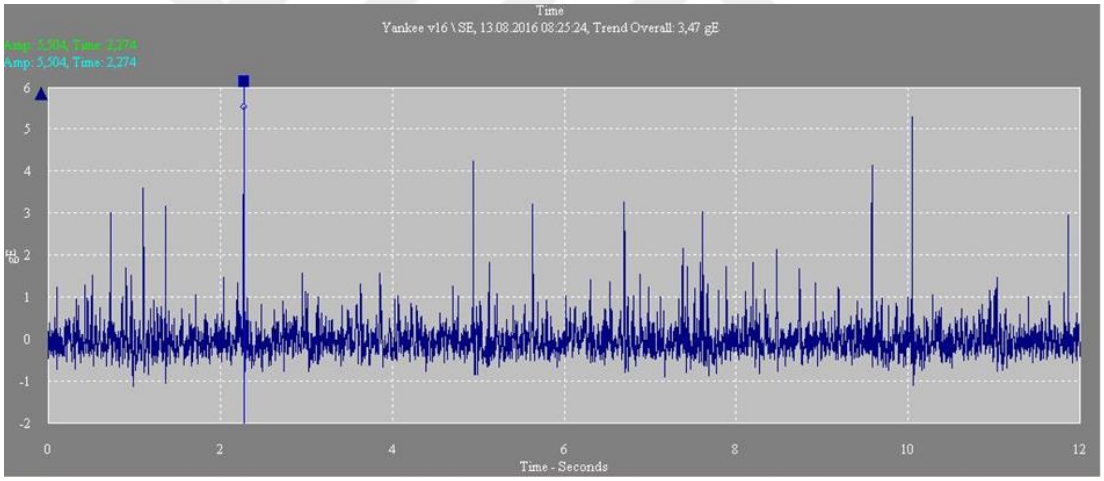


Şekil 7.22. KM1 Yankee kurutucu salon taraf yatak rulmanı spektrum grafiği-4

Şekil 7.22'de rulmanda problem olmadığı döneme ait spektrum grafiği mevcuttur. Rulman arızası olduğu dönem ile bir hafta öncesindeki zaman grafiğine baktığımızda ise arıza tespiti Şekil 7.23. ve 7.24. kıyasında ayrıştırılmaktadır.



Şekil 7.23. Rulman arızası olmadığı durum zaman grafiği



Şekil 7.24. Rulman arızası olduğu durum zaman grafiği

7.2.4. Rulman arızasına müdahale ve arızanın giderilmesi

Periyodik ölçümler sonucunda yankee salon taraf rulman değeri normalde 0.500ge iken 3.300ge değerlere kadar yükselmiştir. Rulman analizinde dış bilezik hatası görünmektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda ölçümler günlük olarak devam etmiştir. Yankee kurutucu silindiri işletmenin üretim devamlılığı açısından önemlidir. Bu nedenle ölçümlerin periyodik olması önemlidir. Gerçekleştirilen tespitler sonrasında rulman tedarik

edilmiştir. Rulmanın tedariğine kadar günlük ölçümler günlük olarak alınmıştır. Rulman 04.10.2016'da tedarik edilmiş ve 07.10.2016 tarihinde acil bakım planına alınarak hat durdurulmuş ve rulman değişikliği gerçekleşmiştir.

Yankee rulman değişimi zor olması nedeniyle arızaya müdahale kritiktir ve arızaya müdahale safhaları önem taşımaktadır.

Rulman montaj ve demontaj işlemleri esnasında SKF rulman sökme takma talimatlarından faydalanılmıştır. Rulmana ait bilgilere istinaden SKF firması internet sitesi üzerinde talimatlar bulunmaktadır. Rulman değişim aşamaları şu şekildedir.

- İlk olarak buhar başlığı ve rulman ön kapağı sökülmüştür.



Şekil 7.25. Buhar başlığı demontajı

Şekil 7.25.'ve Şekil 7.26.'da buhar başlığının ve rulman kapağı sökme işlemi aşamasına ait görseldir.

- Rulman üst kapağı söküldü ve rulman somunu sökülerek alındı. Şekil 7.27 Somun demontajı bulunmaktadır.

- Rulmanın üzerindeki dikeydeki 70 tonluk yükü almak için hidrolik kriko ile şaft desteklenerek rulman rahatlatıldı. Şaft sentil çakısı ile rulman boşlukları

kontrol edildi.



Şekil 7.26. Rulman kapağı demontajı

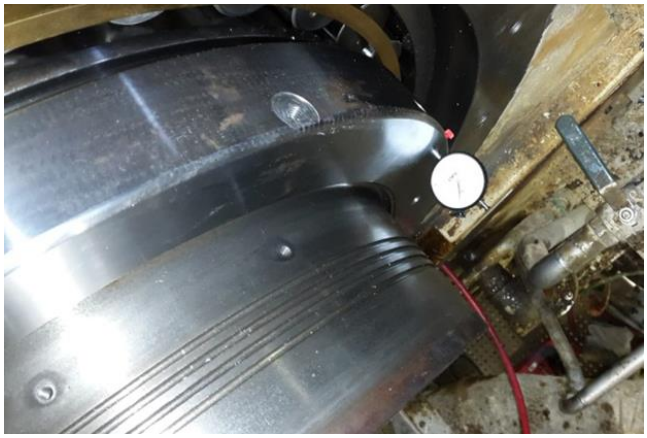
- Sökme talimatlarına göre hidrolik somun montaj edildi ve komparatör sıfırlanarak hidrolik pompa ile basınçlandırılarak rulmanın yataktan ayrılması sağlandı.



Şekil 7.27. Rulman somun demontajı



Şekil 7.28. Hidrolik kriko kullanımı



Şekil 7.29. Kompratör ile sıfırlama -1



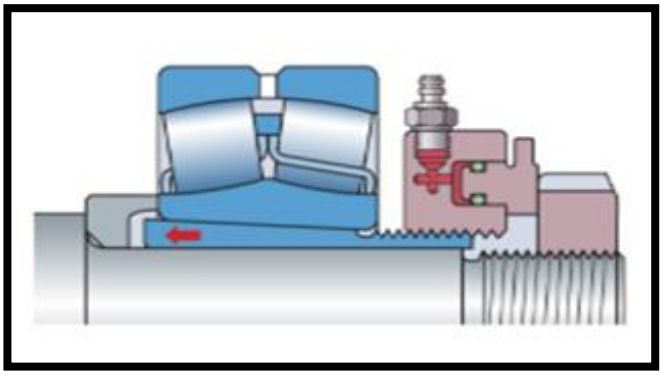
Şekil 7.30. Kompratör ile sıfırlama -2



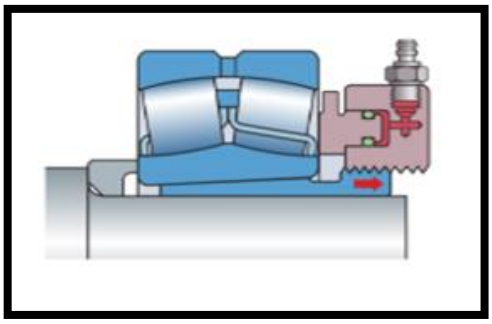
Şekil 7.31. Kompratör ile sıfırlama -3

- HMV …E bir adaptör manşonunu serbest bırakmak için somun ve durdurma halkası yerinde (Şekil 7.32.)

- HMV …E bir somun geri çekme manşonunu serbest bırakmak için kullanılır.



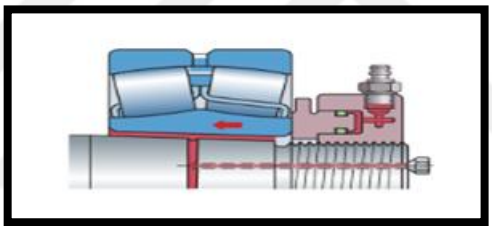
Şekil 7.32. Somun pozisyonu yerinde



Şekil 7.33. Manşon serbest temsili

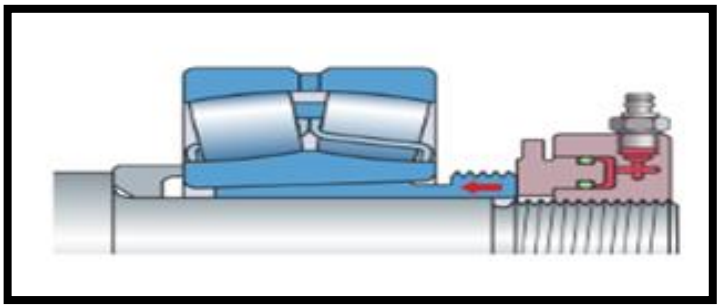
- Yeni rulman, rulman yatağına yerleştirildi ve hidrolik somun ile montaj esaslarına göre montaj edildi. Sentil çakısı ile rulman boşlukları kontrol edildi toleranslar dahilinde olduğundan emin olunduktan sonra somun kilidi sıkıldı, üst-ön kapak kapatıldı buhar başlığı ve girişi bağlanarak montaj tamamlandı.

- HMV E rulmanı konik bir oturma düzenine sürmek için somun (Şekil 7.34.)



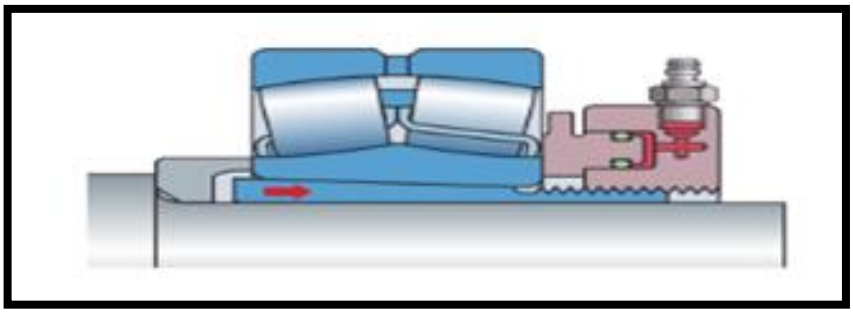
Şekil 7.34. Konik düzende somun

- HMV …E geri çekme manşonu için şaft üzerine vidalanmış somun (Şekil 7.35.)



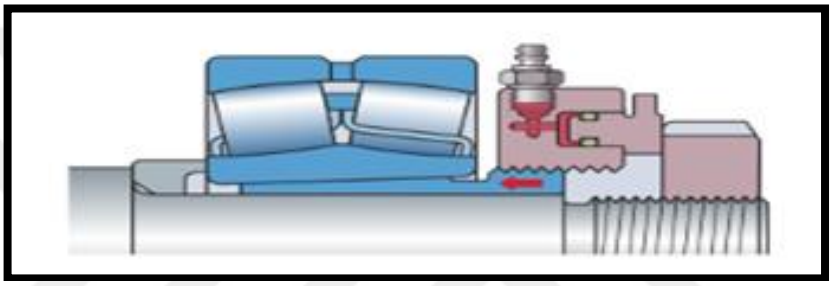
Şekil 7.35. Şaft üzerine vidalanmış somun

- Rulmanı bir adaptör manşonuna sürmek için HMV… E somunu (Şekil 7.36.)



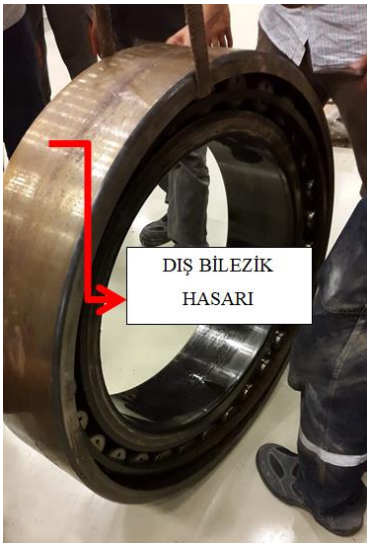
Şekil 7.36. HMV…E somunu

- HMV… E somun ve geri çekme manşonunda sürüş için özel durdurma sonunu (Şekil 7.37.)



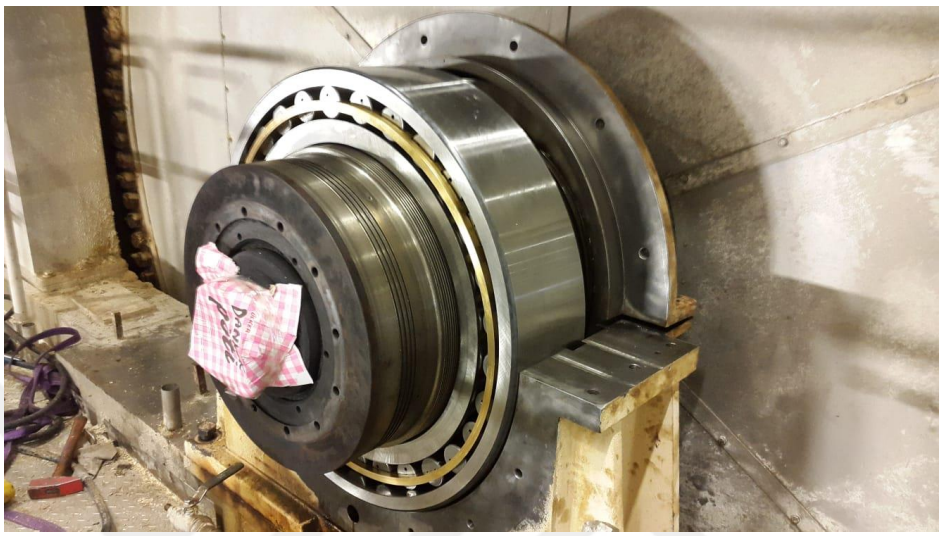
Şekil 7.37. Özel durdurma somunu

Şekil 7.38.'de titreşim ölçümlerinde yorumladığımız dış bilezik hasarını rulman demontajı sonrasında görülmektedir.

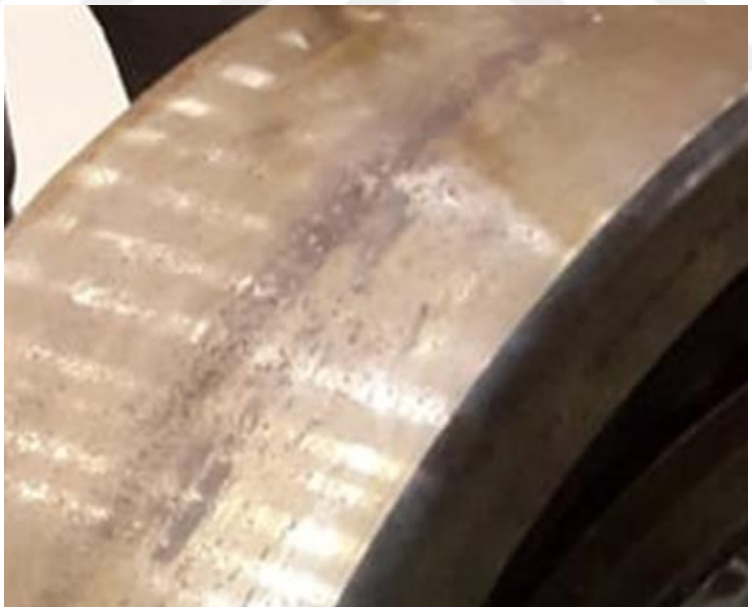


Şekil 7.38. Demonte rulman dış bilezik hasarı

Yapılan bakım çalışması sonucunda Şekil 7.39.'da rulman değişimi sorunsuz bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.40.'ta rulman hasarı net bir şekilde görülmektedir. Bakım esnasında kullanılan rulmanın bilgileri sonuçlarda belirtilmiştir.



Şekil 7.39. Montajı gerçekleştirilmiş rulman



Şekil 7.40. Dış bilezik hasarı

8. GÜNCEL YÖNTEMLER

8.1. Yaklaşık Entropi ile Rulman Hasarı Tespiti

Yaklaşık entropi; bir sinyalin düzgünlüğünü ve kestirilebilirliğini niteleyen istatistiksel bir ölçüm tekniğidir [30]. Elde edilen ham titreşim verileri yüksek frekans demodülasyon işleminden geçirilerek, yaklaşık entropi değerleri hesaplanır. Hesaplanan değerler kullanılarak hatalı ve hatasız rulmanların birbirinden ayırt edilmesi, daha sonraki aşamada ise hata büyüklüğünün tespit edilmesi amaçlanmıştır. Hatasız rulmanın düşük genlikli fakat çok sayıda frekans bileşenine sahip yapısı, hatalı rulmanın belirli frekanslardaki yüksek genlikli bileşenleri ve karakteristik yapısı, yaklaşık entropi ile ayırt edilebilir.

8.2. Permutasyon Entropisi ile Rulman Hasar Tespiti

Son zamanlarda, rassallığı ölçmek ve zaman serilerinin dinamik değişikliklerini tespit etmek için Bandt ve Pompe tarafından permütasyon entropisi (PE) önerilmiştir. Gürültüye karşı bağışıktır ve çevrim içi izleme için uygundur [31, 32].

Permütasyon entropisi, zaman serilerinin dinamik değişikliklerini tespit etmek için tanımlanmıştır. Mekanik sistemin karmaşıklığı için, titreşim sinyali her zaman farklı ölçeklerde çok daha önemli arıza bilgileri içerir. Bu nedenle, farklı ölçeklerde yatak titreşim sinyalinden doğrusal olmayan arıza karakteristiklerini çıkarmak için kullanılır.

Arıza varsa, titreşim sinyali grup ampirik mod ayrışması ile bir dizi iç mod işlevine ayrıştırılır. İlk birkaç değerin titreşim sinyalinin çok ölçekli içsel özelliklerini ortaya çıkarmak için hesaplar. Sonra hata tipini ve hata şiddetini sınıflandırmak için özellik alanındaki kümeler arası mesafe ile optimize edilmiş destek vektör makineleri kullanır [33].

8.3. Dalgacık Paket Dönüşümü Hasar Tespiti

Dalgacık dönüşümü son yıllarda oldukça sık olarak kullanılan ve etkinliği

ispatlanmış zaman-frekans işaret analizi yöntemidir. Hem zaman uzayı hem de frekans uzayı bilgilerini içererek FFT tekniğinin, işaretin yalnızca genel karakteristiğini verip yerel karakteristiğini dışlaması dezavantajını engellemiş olur.

Paket dönüşümü, dalgacık dönüşümünün daha detaylı ve esnek işaret işleme olanağı tanıyan genel bir formdur. Çünkü paket dönüşümünde detaylar ve yaklaşımlar birbirinden ayrılmıştır.

Ayrık dalgacık dönüşümü; bir önceki yaklaşım katsayılarını yüksek ve alçak geçiren filtrelerden geçirilmesi ile hesaplanırken, dalgacık dönüşümünde hem detay hem de yaklaşım katsayıları kullanılmıştır.

8.4. Ayarlanabilir Q Faktör ile Dalgacık Dönüşümü

Ayarlanabilir Q-Faktörü Dalgacık Dönüşümü esnek, tamamen ayrık bir dalgacık dönüşümüdür [34]. İdeal olarak seçilen dalgacık dönüşümünün Q faktörü; osilatöre göre kısmen seçilmiş sinyalin uyguladığı davranıştır. Dolayısıyla, dönüşüm salınım sinyalinin uygulandığı davranışına göre ayarlanabilir.

- Tamamen ayrık, mütevazi derecede fazla
- Tam mükemmel yeniden yapılandırma ("kendini ters çevirme")
- Salınımlı sinyaller için daha yüksek frekans çözünürlüğü elde edebilir.
- FFT tabanlı uygulama
- Zaman-frekans düzlemini hem zaman hem de frekansta daha yoğun örnekler

8.5. Lempel – Ziv Karmaşıklığı

Bilgi teorisine dayanan ve sonlu serilerin rastgeleliğini bulmada kullanılan bir karmaşıklık ölçütüdür. Sembolik diziler üzerinden hesaplanmaktadır. Bu nedenle, zaman serisi şeklindeki sinyaller 0-1 şeklindeki S ile gösterilen sembolik bir diziye dönüştürülür. Sinyalin genliği tanımlanan eşik değerinden büyükse bire, küçükse sıfıra çevrilerek söz konusu dönüşüm yapılmaktadır [35].

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1. Kestirimci Bakımın Faydaları

İşletme gerçekleştirilen kestirimci bakım sayesinde arızi duruşlarına müdahale sürelerini azaltmıştır. Azalan bu süre sayesinde üretim performansı artmış ve hatların çalışabilir sürelerinde artış gözlenmiştir.

Kestirimci bakım sayesinde arıza maliyetleri düşmüş ve gerekli bakım çalışması üretim ve planlama departmanları ile koordineli gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bu sayede üretim kayıpları minimize edilmiştir.

İşletme kurulduğunda kestirimci bakım için gerçekleştirilen yatırım maliyeti cihazlar ve personelin eğitimi 30.000 $'dır. Bu yatırım sadece silindir rulmanı değişiminde 56 günlük üretim kazancı (2.419.200 $) ve 30.000 $ malzemem depolama kazancı yatırımın geri dönüşümünü sağlamıştır.

Kestirimci bakım ölçüm cihazları sayesinde arıza tespitleri kolaylaşmış ve büyük üretim kayıpları, mali zararların önüne geçilmiştir. Yatırım maliyeti sadece depolamada yapılan gereksiz maliyet rakamı kadardır.

Sonuç olarak küçük kestirimci bakım yatırımı bile büyük maliyetlerin oluşmasına engel olmuştur.

9.2. Kestirimci Bakım Yapılmaması Durumunda Zararlar

Arıza esnasında rulman değişimine ihtiyaç duyulsaydı işletme iki ay çalıştırılamayacaktı. Bunun karşılığında işletmedeki üretim kaybı;

10 ton/saat x 24 saat x 60 gün x %90 verim = 12.960 ton üretim kaybı

Bunun karşılığında işletmedeki zarar;

200 $/ton x 12.960 ton = 2.592.000 $ işletme zararıdır.

Bunların dışında rulmanın tedarik sürecinin hızlandırılması amacı ile lojistik ve tedarik masrafları artmaktadır. Hammadde kullanımı olmaması nedenle depolama maliyetinde artış yaşanmaktadır. Özetle kurutma silindirlerinin arıza tespiti işletme için çok önemlidir.

Yankee silindiri salon taraf rulmanı SKF CARB C 30/670 KM/HA3/C4 ve maliyeti 28.000 Euro'dur. Bu nedenle depo maliyetini yükseltmemek için stok tutulmamaktadır. Ancak takipler sonucunda gerekli stoklar alınmış ve duruş gerçekleşmiştir. Aksi taktirde envantere kayıtlı malzeme maliyetleri de yüksek olacaktır.

Yankee silindiri için özetlersek;

Üretim Kaybı ; 12.960 ton

İşletme Zararı : 2.592.000 $

Depolama Maliyet : Yaklaşık 30.000 $

9.3. Sonuçlar

Yankee kurutucu silindiri kondens atımı için 550 adet kullanılan pipet tıkandığı zaman makinenin kurutma kapasitesi düşmektedir. Bu durum makinadaki balansı arttırmaktadır. Balans artması sonucunda ise redüktör ve rulman yataklarına zarar vermektedir. Kullanılan rulmanlar prosesten kaynaklı yaşanılan arızalar sonucu rulmanlarda deformasyona yol açmıştır.

Fabrika enerji üretimini türbin vasıtasıyla gerçekleştirebilmektedir. Bu sayede kurutucu ısı için herhangi bir cihaz kullanılmamaktadır. Türbinin yanma odasından çıkan 500°C derecedeki hava türbinin çıkış bacasından yaş kısım sirkülasyon fanına alınmaktadır. Bu transfer esnasında yaşanan hava akışındaki düzensizlikler fanların dengesiz yük almasına sebep olmaktadır. Bu yükler nedeniyle fan yatağına ve mile balans olmasına neden olur.

Türbinde şebekeye bağlı olduğunda enerji dalgalanmaları nedeni ile duruşlar gerçekleşmektedir. Enerji sistemi ada ve paralel modda çalışabildiğinden iki tip kullanım söz konusudur. Paralel yani şebekeye bağlıyken aldığı enerji darbesi türbini

durdurmaktadır. Bu duruş kağıt makinasının kurutma sisteminin durmasına neden olur. Ani duruşlar makinanın plansız yüklenmesine ve dinamik yüklere sebep olduğundan rulmanlarda deformasyon ve fanda balanssızlık olarak sonuçlar oluşturur. Bunun sonucunda uzun ekipman ömrü için dinamik/statik noktalarda boşluk ve çözülmelerin kontrolü/giderilmesi kuvvetle önerilir. Bunların dışında hat performansında yaşanan değişimler;

- Yaş kısım sirkülasyon fanında arıza tespiti sonrasında üretim hızı onarıma kadar 1700 m/dk gerçekleşmiştir. Fan değişimi sonrasında bu hız 1900 m/dk olarak artış göstermiştir. Hattın hız performansında %11,76 artış gözlenmiştir. Ayrıca fan değişimi sonrasında fandan kaynaklanan ekstra duruş yaşanmamıştır. Fan performans artışı ile çalışmaya devam etmektedir.

- Yankee redüktör rulmanında ve yankee salon taraf tahrik rulmanında yaşanan arıza sonrası ölçüm değerlerini düşürmek amacı ile hat yavaşlatılmış olup olası arızanın önüne geçilmiştir. Ancak bu durum hattın hızını 1900 m/dk'dan 1550 m/dk'ya kadar düşürmüştür. Yankee rulmanı ve redüktör rulmanının değişimleri sonucunda hattaki %22,58'lik hız kaybı ortadan kaldırılmıştır. Hattın hız performansında kazanç sağlanmıştır.

9.4. Öneriler

Fanların çalışma ömürlerinin uzaması için dinamik/statik noktalarda boşluk ve çözülmelerin kontrolü/giderilmesi önem kazanmaktadır. Ayrıca yaşanan bu plansız duruşların önüne geçebilmek için türbinin dış enerji hattından gelen darbelerde duruş sinyalinin fana önceden ulaşması sağlanmalı ve hat kendini kapatmalıdır. Bu sayede fandaki dinamik yük dengesizliği ortadan kalkmış olacaktır.

Endüstride artan kağıt üretim fabrikalarının kestirimci bakım uygulamalarında kullanabilmeleri için titreşim ölçümlerinin ve ölçüm noktalarının kritiklik seviyesine göre analiz gerçekleştirilmiştir. Bu sayede grafiklerde de yer alan genlik değerlerinin kritik noktaları endüstride kazanç sağlayacaktır. Ölçümler esnasında belirlemiş olduğumuz değerlerinin üzerindeki veriler önem taşımaktadır. Öncelikli olarak trend grafiğindeki yükseliş gözlemlenmiştir. Sonrasında ise iç bilezikten başlayarak sırasıyla kafes ve dış bilezik hasarları grafiklerde okunmuştur. İç bilezik tepe

noktalarını testindeki amacımız hasarın hangi boyutta olduğunu anlamaktır. İç bilezik hasarın son noktası olduğu için ilk kontrol alanımız olmuştur. Devrin katlarındaki tepe noktaları ve temel tepeciğin aşılması sonucunda hasarın ne boyutta olduğunu söyleyerek analizlerimiz sonuçlandırılmıştır. Eğer ilk olarak iç bilezik veya kafeste hasar tespit edilmiş olsaydı diğer ekipmanlara zarar vermemek adına hat kapatılacaktı ve hızlı kargolama ile işlem gerçekleştirilecekti. Bu nedenle ölçüm sıklığımızın haftalık olması sorunların hızlı tespitine fayda sağlamıştır.

Kağıt fabrikalarının yatırım aşamasında vibrasyon ölçüm cihazı ve diğer kestirimci bakım ekipmanları kesinlikle alınması gerekmektedir. Kestirimci bakım faaliyetleri üretim hatlarının kurulumu ile birlikte data olarak kaydedilmeli ve ilk çalışma sonrasında belirlenen periyodik ölçümler doğrultusunda gerçekleştirilmelidir. Çünkü kağıt fabrikalarında plansız arızalar ve hat duruşları işletmeye ciddi maddi zararlara yol açacaktır.

KAYNAKLAR

[1] Carnero M.C., Selection of Diagnostic Techniques and Instrumentation in a Predictive Maintenance Program. A Case Study, *Decision Support Systems*, 2005, **38**(4), 539-555.

[2] Belek T., Toprak T., Endüstriyel Tesislerde Makina Performansının İzlenmesi ve Bilgisayar Destekli Bakım Planlanması, *Brüel & Kjaer Teknik Personel Eğitimi Kurs Notları*, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul, 1991.

[3] Smith R., Mobley R. K., *Rules of Thumb for Maintenance Reliability Engineers*, 1st ed., Butterworth-Heinemann, U.S.A. 2008.

[4] Karabay S., Uzman İ., Importance of Early Detection of Maintenance Problems in Rotating Machines in Management of Plants: Case Studies From Wire and Tyre Plants, *Engineering Failure Analysis*, 2009, **16**(1), 212–224.

[5] Belek T., Toprak T., Titreşim Ölçümüne Dayalı Makina Bakımı, *Brüel & Kjaer Teknik Personel Eğitimi Kurs Notları*, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul, 2003.

[6] Tekelioğlu M., Titreşim Analiziyle Kestirimci Bakım, Bilgilendirme Semineri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir, 1992.

[7] Karahan F., Titreşim Analizi İle Makinalarda Arıza Teşhisi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 2005, 197557.

[8] Orhan S., Rulmanlarla Yataklanmış Dinamik Sistemlerin Titreşim Analiziyle Kestirimci Bakımı, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2002, 127394.

[9] Arslan S., Titreşim Analizi İle Fanlarda Arıza Teşhisi ve Kestirimci Bakım, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2010, 258885.

[10] Ghafari S.H., Wang W., Golnaraghi M.F., Condition Monitoring of Industrial Fans, Presented in Canadian Machinary Vibration Association Conference, Ottawa, 2004.

[11] Al-Najjar B., Accuracy, Effectiveness and Improvement of Vibration Based Maintenance in Paper Mills: Case Studies, *Journal of Sound Vibration*, 2000, **229**(2), 389–410.

[12] Mechefske C.K., Machine Condition Monitoring and Fault Diagnostic, *Computer Science*, DOI:10.1201/9781420039894.ch25.

[13] Lacey S.J., An Overwiev of Bearing Vibration Analysis, *Manintanence & Asset Management*, 2008, **23**(6), 32-42.

[14] Gupta K., Prakash O., Tiwari M., Dynamic Response of Unbalanced Rotors Supported on Ball Bearings, *Journal of Sound and Vibration*, 2000, **238**(5), 775-779.

[15] Bannister R.H., A Review of Rolling Element Bearing Techniques, In IMechE Conference on Condition Monitoring of Machinery and Plant, 1985, 11-24.

[16] Girdhard P., Scheffer C., *Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance*, 1st ed., Newness, Oxford, 2004.

[17] SKF Condition Monitoring, *Vibration Diagnostic Guide*, 1994.

[18] Kalyoncu M., Titreşim Analizi ile Makina Elemanları Arızalarının Belirlenmesi, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 2004, **552**(47), 28-35.

[19] Makina Mühendisliği El Kitabı Cilt 1, Bölüm 6, T.M.M.O.B., **169**, 1994.

[20] Gluzman D. Recognizing Impeding Bearing Failure. Reliab Mag 2000, May–June.

[21] CSI Division-USAEğitim Notları 1999

[22] Köse R.K., Makina Arızalarının Belirlenmesinde Titreşim Analizi, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 2004.

[23] Bartos F.J., Predictive Maintenance Maximizes Machinery Healths, *Control Engineering*, 1999, **46**(7), 51 -52.

[24] Wowk V., Machinery Vibration: Measurement and Analysis, McGraw- Hill Inc., 1991.

[25] Reeves T., Failure Modes of Rolling Element Bearings, DoctorKnow®Application Paper, Computational Systems Incorporated, Knoxille TN., USA, 1994.

[26] Berry J.E., Analysis II Concentrated Vibration Signature Analysis And Related Condition Monitoring Techniques, *Technical Associates Of Charlotte*, 1997.

[27] Cheten S.S. , Raju P.K., Introduction to Engineering Through Case Studies, Tavenner Publishers, 3rd ed., 2003.

[28] Ergun C., Gül Ö., Kalenderli Ö., Özdemir E., Yılmaz U., Piezoelektrik Malzemeler ve Uygulamaları, Proceedings of 11th International Materials Symposium, Denizli, Türkiye, 19-21 Nisan 2006.

[29] SKF GROUP Eğitim Dökümanları, 2017, 29-32.

[30] Robert X. Gao, Ruqiang Yan, Approximate Entropy As A Diagnostic Tool For Machine Health Monitoring, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2007, **21**(2), 824-839.

[31] Bandt C., Pompe B., Permutation Entropy: A Natural Complexity Measure for Time Series, *Physical Review Letters*, 2002, **88**(17), 1-5.

[32] Bandt C., Keller G., Pompe B., Entropy of Interval Maps Via Permutations, *Nonlinearity*, 2002, **15**(5), 1595–1602.

[33] Cheng J., Yang Y., Zheng J., Multiscale Permutation Entropy Based Rolling Bearing Fault Diagnosis, *Shock and Vibration*, 2014, **2014**(1), 1-8.

[34] Selesnick I.W., Wavelet Transform With Tunable Q-Factor, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2011, **59**(8), 3560–3575.

[35] Jensen E.W., Roy, R.J., Zhang, X.S., EEG Complexity As A Measure of Depth of Anesthesia for Patients, *IEEE Trans Biomed Eng.*, 2001, **48**(12), 1424–1433.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Dereoğlu F.,** Karabay S., Yarar E., Kağıt İşletmelerinde Kestirimci Bakım Uygulamaları ve Titreşim Analizi**,** *4. Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi*, Imascon, Kocaeli, 19-20 Haziran 2020.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih Dereoğlu, 1988'de Kocaeli'de doğdu. Lise öğrenimini Atılım Süper Lisesi'nde tamamladı. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Mühendisliği alanında lisans eğitimini 2011 yılında tamamladı. 2012 yılından bu yana Hayat Kimya Sanayi A.Ş. makina mühendisi olarak çalışmaktadır. Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine 2016 yılında başlamıştır. Tez süreci içerisinde Hayat Kimya Nijerya Fabrikasında da kalıcı olarak görev almıştır. Mevcut araştırma ilgi alanları arasında TPM uygulamaları ile Kaizen/5S uygulamaları ile sürekli iyileştirme bulunmaktadır.