



T.C.
KIRSEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**SOĞUTMA FANININ KESTİRİMCİ BAKIM
YÖNTEMİ UYGULAMASI İLE TİTREŞİM
ANALİZİ VE YAPISAL ESNEKLİK
ARIZASININ GİDERİLMESİ**

ZAFER ÖMER GÜNİNDİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRSEHİR

2024



T.C.
KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**SOĞUTMA FANININ KESTİRİMCİ BAKIM
YÖNTEMİ UYGULAMASI İLE TİTREŞİM
ANALİZİ VE YAPISAL ESNEKLİK
ARIZASININ GİDERİLMESİ**

ZAFER ÖMER GÜNİNDİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN

PROF. DR. ALİ OSMAN KURBAN

KIRŞEHİR

2024

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araőtırma ve Yayın Etiği Yönergesini okuduğunu ve anladığımı ve Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dökümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik kurallara uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değeriklik yapmadığımı,
- Tez olarak sunduğum bu çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda bu konuda hakkımda yapılacak tüm yasal işlemleri ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabüllendiğimi beyan ederim. 14/06/2024

Öğrenci
Zafer Ömer GÜNİNDİ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	I
TEŞEKKÜR	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
TABLOLAR DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL VE METOT.....	9
3.1 Kestirimci Bakım.....	10
3.2 Kestirimci Bakım Yöntemleri	10
3.2 Titreşim Ölçümü	12
3.3 Arızanın Titreşim Analizi ile Tespit Edilmesi.....	13
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	35
6. KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ.....	39

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sakin ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim insanının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Prof. Dr. Ali Osman Kurban'a büyük bir içtenlikle teşekkür ederim. Tezimin her aşamasında gerek sorularıyla gerekse, yapılan tez izleme komitesi sunumlarında tezin şekillenmesinde ve nihai hale gelmesinde katkıları olan değerli jüri üyelerim Öğr. Gör. Dr. Hürvet SARIKAYA ve Dr. Öğr. Üyesi Merdin DANIŞMAZ'a teşekkürlerimi içtenlikle sunarım.

Tezimi, değerli eşim Tarih Öğretmeni Ülkü Kübra GÜNİNDİ'ye ithaf ederim.

Haziran 2024

Zafer Ömer GÜNİNDİ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SOĞUTMA FANININ KESTİRİMCİ BAKIM YÖNTEMİ UYGULAMASI İLE TİTREŞİM ANALİZİ VE YAPISAL ESNEKLİK ARIZASININ GİDERİLMESİ

ZAFER ÖMER GÜNİNDİ

KIRŞEHİR AHI EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Prof. Dr. Ali Osman KURBAN
Yıl: 2024 Sayfa: 39
Jüri: Prof. Dr. Ali Osman KURBAN
Dr. Öğr. Üyesi Merdin DANİŞMAZ
Öğr. Gör. Dr. Hürvet SARIKAYA

Hava fanı, endüstride gaz fazındaki akışkanı yönlendirmek, belirli bir hacimdeki havayı bir yerden alıp başka bir yere taşımak için kullanılan bir cihazdır. Bu prostedeki rolü, akışkan yataklı kurutucuda akış oluşturarak, zorlamalı konveksiyonlu ısı değişim prosesi yoluyla ürünün hızlı bir şekilde kurutulmasını sağlamaktır. Fanlar bu süreçteki ana ekipmandır. Bu ekipmanın arızalanması üretimin durmasına ve ürün kalitesi sorunlarına yol açabilir. Titreşim ölçüm cihazları ve diğer ekipmanlar kullanılarak yapılan ölçümlerde, titreşimin frekansı ve şiddeti değerlendirilerek makinede oluşmuş veya oluşabilecek arızalar tespit edilir. Yapısal elastikiyet arızasının vibrasyon analizi ile tespiti için yataklardan 3 eksen den de standardize alınarak hız spektrumu, ivme spektrumu ve zarf spektrumu grafikleri incelenmeli ve olması gereken değer aralıklarını sağlamalıdır. Bu araştırmada, bir maden tesisinde bulunan hava fanında ortaya çıkan yapısal elastikiyet arızasının kestirimci bakım aracı vibrasyon analizörü ölçümleri yardımıyla spektrum analizi ile erken teşhisi incelenmiştir. Esnekliğin hangi kısımdan ve hangi yatak bölgesinde bulunduğu belirlenmesi amacıyla meydana gelen spektrum analizi bilgileri ile açıklanmıştır. Arıza giderilerek sistem uygun çalışma koşulları yeniden sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kestirimci bakım, yapısal esneklik, titreşim analizi.

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

ELIMINATION OF STRUCTURAL FLEXIBILITY FAILURE AND VIBRATION ANALYSIS BY APPLICATION OF PREDICTIVE MAINTENANCE METHOD OF COOLING FAN

ZAFER ÖMER GÜNİNDİ

**KIRŞEHİR AHİ EVRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

**Supervisor: Prof. Dr. Ali Osman KURBAN
Year: 2024 Pages: 39
Juries: Prof. Dr. Ali Osman KURBAN
Assist. Prof. Dr. Merdin Danışmaz
Lecturer Dr. Hürvet SARIKAYA**

Air fans are equipment that directs the gas phase fluid used in the industry, takes the air from one place in a certain volume and transmits it to another place. Its role in the process is to provide rapid drying of the product by the forced convection heat transfer process by creating flow in the fluid bed dryer. The air fan is a primary equipment for this process. A malfunction that may occur in this equipment causes production to stop and problems in product quality. In the measurements made with a vibration measuring device and other equipment, malfunctions that have occurred or may occur in the machine are determined as a result of the evaluation of vibration frequencies and severity. In order to detect the structural flexibility failure by vibration analysis, the velocity spectrum, acceleration spectrum and envelope spectrum graphs should be examined by taking measurements from all 3 axes of the bearings, and it should be ensured that they are within the permissible value ranges. In this study, the early diagnosis of structural flexibility failure in an air fan in a mining facility is handled by spectrum analysis, by means of predictive maintenance tool vibration analyzer measurements. Spectrum analysis carried out to determine from which part and which bed region the flexibility is, is explained in detail. The fault was eliminated and the system was restored to suitable working conditions.

Key Words: Predictive maintenance, structural flexibility, vibration analysis.

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Bir makalede FFT analizörü ile yatay ve dikey yönlerde yatak civatalarının sıkılmadan önce ve sonra alınan ölçümler.....	5
Tablo 3.1. Fan devri ve şaft dönüş frekansı	16
Tablo 3.2. Fan-motor rulman ve kanat geçiş frekansları	16
Tablo 3.3. Üreticinin önerdiği titreşim limitleri	16
Tablo 3.4. ISO 10816 - Titreşim genlik limitleri	21

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Yapısal gevşeklik durumunda oluşan genlik değeri	3
Şekil 2.1. Bir makalede iç yatak rulman titreşim spektrumu sırayla öncesi ve sonrası	6
Şekil 2.2. Bir makalede dış yatak rulman titreşim spektrumu sırayla öncesi ve sonrası...	6
Şekil 3.1. Soğutma fanı çizimi.....	9
Şekil 3.2. Soğutma fanı bileşenleri	9
Şekil 3.3. Kestirimci bakım yöntemi akış şeması	11
Şekil 3.4. Sinyal çevrim akışı	12
Şekil 3.5. Titreşim ölçüm yönleri.....	13
Şekil 3.6. Hava fanı	13
Şekil 3.7. Rulman yatağı titreşim ölçüm yönleri	14
Şekil 3.8. Rulman geometrisi.....	15
Şekil 3.9. Titreşim ölçümü ve arıza tespiti.....	16
Şekil 3.10. Fan tarafı rulman yatağından dikey yönden alınan hız spektrumu.....	17
Şekil 3.11. Fan tarafı rulman yatağından yatay yönden alınan hız spektrumu.....	18
Şekil 3.12. Fan tarafı rulman yatağından aksenal yönden alınan hız spektrumu.....	18
Şekil 3.13. Center analiz programı.....	19
Şekil 3.14. Vibxpert II titreşim analiz cihazı.....	19
Şekil 3.15. Fan arka dikey ve yatay yönlerdeki hız spektrumu	21
Şekil 3.16. Ölçüm yapılan hava fanı	22
Şekil 3.17. Fan rulman yatağının çatlayan bölgenin şaseye bağlı görünümü.....	23
Şekil 3.18. Fan rulman yatağının altında kaynak ile güçlendirilmesi sonrası görünümü.....	24
Şekil 3.19. Şase altında yapılan kaynak işlemi	25
Şekil 3.20. Şasede yapılan kaynaklı bölgenin dışarıdan görünümü.....	25
Şekil 3.21. Fan arka dikey ve yatay yöndeki hız spektrumu	26
Şekil 3.22. Kaynak işlemi sonrasında fan arka dikey yöndeki hız spektrumu değişimi .	26
Şekil 3.23. Kaynak işlemi sonrasında fan arka yatay yöndeki hız spektrumu değişimi .	27
Şekil 3.24. Fanda kaplin hizasızlığı kontrolü için cihaza girilen veriler	28
Şekil 3.25. Kaplin hizasızlığı tipleri	28
Şekil 3.26. Paralel hizasızlık radyal yönde hız spektrumu	29
Şekil 3.27. Açısal hizasızlık aksenal hız spektrumu	29

Şekil 3.28. Hizasızlık giderilmeden önceki durumu	30
Şekil 3.29. Hizasızlık giderildikten sonraki durumu.....	31
Şekil 3.30. Hizasızlık giderildikten sonra hız spektrumu titreşim değişimi.....	32

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
f_{BPFO}	: Rulman dış bilezik arıza frekansı
f_{BPFI}	: Rulman iç bilezik arıza frekansı
f_{BSF}	: Bilya arıza frekansı
f_{FTF}	: Kafes frekansı
f_r	: Mil dönme frekansı
n	: Yuvarlanma elemanı sayısı
BD	: Döner eleman çapı
PD	: Bilyalar arası çapı
β	: Temas açısı

Kısaltmalar	Açıklama
FFT	: Fast Fourier Transform
CPM	: Cost Per Mille
RPM	: Revolutions Per Minute
sn	: Saniye

1. GİRİŞ

Endüstride döner ekipmanlar (pompalar, fanlar, kompresörler...) yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok önemli kritik fonksiyonları yerine getirmek için kullanılan bu ekipmanlarda meydana gelecek arızalar beklenmedik üretim kayıplarına ve plansız duruşlara sebep olabilmektedir. Bu durumda işletme maliyetlerini önemli ölçüde arttırmaktadır (Ayan, 2019).

Ekipmanların en sıkıntısız bir şekilde ve verimli arızasız bir şekilde çalışmasını sağlamak için farklı bakım stratejileri uygulanmaktadır (Yaman ve Kabadayı, 2014). Bunlar;

- Plansız bakım,
- Arıza bakım,
- Planlı bakım,
- Periyodik bakım,
- Önleyici bakım,
- Kestirimci bakım...

Ekipmanlarda arıza oluşmadan müdahale etmek, bir makinenin verimli çalışmasını sağlamak ve arıza kaynaklı bir duruştan veya bakım kaynaklı üretim kayıplarını en aza indirmek için durum izleme yöntemi ile takip edilen strateji kestirimci bakım yöntemidir. Bu yöntemlerle makine çalışırken toplanan veriler deneyimli ve eğitilmiş kişilerce incelenerek yorum yapılmaktadır. Bu yorumlar sonucunda da tahmin edilen makinelerde oluşabilecek arızalar, uygun zamanlarda duruş planlanarak makineye müdahale edilmektedir. Bu sayede makinedeki arızalı kısma müdahale edilerek oluşacak plansız duruşların, arızaların ve maliyetlerin önüne geçilebilmektedir. Durum izleme ile takip edilen bakım stratejisi aşağıda belirtilen kestirimci bakım yöntemlerini kullanarak ekipmanların arızalarının teşhisi yapılmaktadır (Yaman & Kabadayı, 2014).

- Termal kamera,
- Yağ analizleri,
- Titreşim analizleri...

Bu yöntemlerden titreşim analizi ile arıza tespiti yöntemi endüstride büyük öneme sahiptir ve günümüzde en çok kullanılan yöntemdir. Titreşim analizi yönteminin diğer kestirimci bakım yöntemlerinden daha çok uygulanmasındaki en önemli faktör makine çalışırken titreşim ölçümü ile arızanın kaynağının tespitinin yapılmasıdır. Titreşim analizi ile, ekipmanların yataklarından üç eksen den alınan titreşim değerleri, alınan bu titreşim değerlerini farklı yöntemlerle işleme ve elde edilen sonuçları arızanın varlığı veya

yokluğu açısından yorumlanmaktadır. Döner ekipmanların titreşimi, sabit bir referans eksene veya stabil bulunduğu pozisyona göre tekrarlanan hareketi veya salınımıdır.

Titreşim analizi;

- Makinenin durumunun değişip değişmediğini izlemeye,
- Makinenin durumunun sınırlandırılmasında,
- Makinede oluşan arızayı bulmak veya tahmin etmek için yapılmaktadır.

Titreşimin periyodik olarak tekrarlanan bir olayın tamamlanma süresine periyodu ifade eder ve birimi saniyedir.

Frekans ise; periyodik olarak tekrarlanan bir olayın birim zamandaki tekrarlanma sayısıdır ve birimi CPM veya Hertz'dir. CPM (RPM) dakikadaki dönüş sayısı, Hertz ise saniyedeki dönüş sayısıdır.

Genlik titreşim şiddetinin bir ölçüsüdür. FFT hızlı fourier transformu algoritmasını belirtmek için kullanılan kısaltmadır.

Titreşim ölçümleri alınarak ve alınan spektrum (hız, ivme, zarf...), zaman dalga grafikleri incelenerek ekipmandaki arızalar hakkında çözümler bulunabilir.

Bu arızaları aşağıdaki gibi olabilir.

- Balanssızlık,
- Hizasızlık,
- Gevşeklik,
- Yapısal esneklik arızası,
- Rulman arızaları,
- Dişli arızaları,
- Yatak aşınma arızaları,
- Yağlama problemleri,
- Akış problemleri,
- Kaplin hasarları,
- Kayış kasknak hasarları,
- Şase zayıflıkları gibi...

Titreşim ölçümleri hangi yönden alındığına göre arızaların tespiti yapılabilir. Örneğin; titreşimin yüksek olduğu yataktan dikey ve yatay yönden ölçüm alınarak esneklik problemini daha kolay tespit edebiliriz. Başka bir örnek verecek olursak, kapline yakın yataklardan üç eksenenden ölçüm alınarak hizasızlık probleminin tespit edebiliriz. Titreşim ölçümü ile veri toplamak için titreşimi elektriksel sinyale dönüştüren bir sensör, bu sinyali algılayacak sinyal işleme özelliğine sahip bir cihazla yapılmaktadır. Bu titreşimin analizi için cihaz ile entegre analiz programları kullanılmaktadır. Makine titreşimi ölçüm analizi ile arızanın tespiti ile ilgili deneyimli ve bu konuda bilgi sahibi

olması gerekmektedir. Endüstriyel ekipmanların, yataklarından alınan titreşim ölçümleri ile durumlarının tayini için ISO titreşim genlik limitleri standartları kullanılmaktadır.

Bu arızalardan yapısal esnekliğin nedeni, makinenin temele gevşek bağlanmasıdır. Bu arıza türü genellikle;

- Gevşek bağlantı,
- Sağlam olmayan temel,
- Kalitesiz bağlantı elemanları,
- Yamuk temel (bozuk yüzey) ler,
- Makine ile bağlı olduğu zemin arasındaki, temel betonunda, taban plaka sacında ya da makine ayaklarında meydana gelen gevşekliklerden kaynaklanır.

Yapısal esneklik (gevşeklik) arızası ölçüm alınan ekipman hız spektrumu, faz ve zaman dalga ölçümü analiz edilerek tespit edilmektedir. Makine ayaklarından dikey pozisyonda radyal faz ölçümlerinde 180° faz farkı oluşturur. Şekil 1.1’de verilen FFT spektrumunda olduğu gibi baskın titreşim frekansı (arıza frekansı) dönme devrinin birinci katı (1x CPM) baskındır (Ayan, 2019).



Şekil 1.1. Yapısal gevşeklik durumunda oluşan genlik değeri

Döner ekipmanlarda sağlam olmayan temel ve bozuk yüzeyler beklenmeyen bir arızaya sebep olarak ekipmanda daha büyük hasarlara yol açabilmektedir. Bu durum plansız duruşlara ve beraberinde ekonomik kayıplara yol açabilir. Kaymalı yataklar ve rulmanlı yataklar üzerinde yüksek titreşimlerin sebebinin durum izleme odaklı teşhis edilerek giderilmesi ve ekipmanın daha verimli sağlam şekilde çalışmasını sağlama açısından kestirimci bakım yöntemi ile titreşim ölçüm ve analizi çok önemlidir.

Bu çalışmada bir maden işletmesinde kullanılan soğutma fanının kestirimci bakım yöntemlerinden biri olan titreşim ölçümü yöntemiyle ekipmanda ölçümler alınarak titreşimin seviyesi takip edilmiştir. Bu alınan ölçümler ile detaylı spektrum analizleri yapılarak ekipmanda önceden arıza tespitinin nasıl yapıldığı gösterilmektedir.

Fan yataklarında beklenmeyen bir arızanın olması ekonomik kayıplara neden olabilir. Bu nedenle yataklardaki arıza teşhisi yoğun araştırmalara konu olmakla beraber önem teşkil etmektedir. Rulman yataklarından oluşabilecek arızalar birden fazladır ve bu arızaların kendilerine ait titreşim karakteristikleri vardır. Fan yatağından alınan titreşim ölçümlerinde spektrum analizi oldukça önemlidir. Analiz esnasında radyan yönde oluşan devrin 1 katında baskın titreşim sinyallerinin yaratmış olduğu büyük titreşimlerin hız spektrumunda net bir şekilde görülmesi spektrumların ne kadar önemli olduğunu desteklemektedir.

Rulmanlar, yüksek hızlarda ağır yüklerin taşınmasını sağlayan ve çok düşük yuvarlanma kayıplarına sahip olan döner ekipmanların bir parçası olarak sanayide çok yaygın olarak kullanılır. Bu nedenle rulman arızalarının erken teşhisi, ekipmanın sağlam bir şekilde çalışmasını sağlama açısından çok önemlidir. Rulmanlı yataklar, yuvarlanma elemanları (rulmanlar) sayesinde en az sürtünmeyle millerin veya aksların istenen yöndeki hareketlerine olanak sağlayan, istenmeyen yönlerdeki hareketlerini de engelleyen bir güç aktarım elemanıdır.

Rulmanlı yataklar;

- İç bilezik,
- Dış bilezik,
- Kafes,
- Yuvarlanma elemanı (bilyalı, makaralı, masuralı veya iğneli olabilir) oluşur (Şekil 3.8).

Ekipmanda sabit bilyalı rulmanlar ve makaralı rulmanlar kullanılmıştır. Motor ve fan ekipman dizisi şaseye rijit bağlantılı ve şase ise, betona esnek bağlantılı olacak şekilde konumlandırılmıştır.

Mevcut tez çalışması, döner bir ekipmanda kestirimci bakım araçlarından olan endüstride büyük öneme sahip olan ve günümüzde en çok kullanılan titreşim ölçümü ile ekipmanlarda daha büyük arıza oluşmadan müdahale etmek için, daha verimli çalışmasını sağlamak ve arıza kaynaklı duruşların veya bakım kaynaklı üretim kayıplarını en aza indirmek için ISO 10816 titreşim standartları veya önceki ölçümlerle trend değerlerini referans alarak birçok arıza teşhisini ortaya çıkararak tesis için durum izleme odaklı bakımın katkısı aynı zamanda bu yöntem kullanılarak döner bir ekipmanda yapısal esneklik arızasının tespitinin teşhisi nasıl yapıldığını anlatmaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

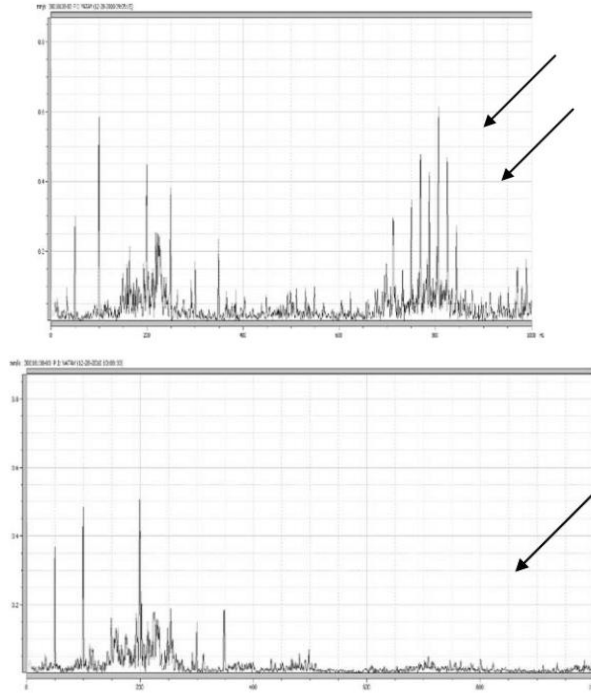
Mevcut tez çalışması ile ilgili bugüne kadarki literatür incelenmiş ve elde edilmiş bulgu ve sonuçlar araştırılan konu çerçevesinde tekrar değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu konu üzerine yapılan bir çalışmada (Ahirrao ve ark., 2018) dizel motor destek yapısındaki titreşim ölçümü için yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Doğrudan temel civatalarının gevşemesinden kaynaklanan klasik bir gevşeklik örneği gösterilmiştir. Montajların rijitliği, yapılara geçen titreşimlerin azaltılmasında kilit unsurdur. Her türlü yanlış hizalamalara dikkat edersek, o zaman bile gevşeklikten dolayı yapısal titreşim olasılığı her zaman vardır. Temel civatalarının uygun şekilde sabitlenmesi ile titreşimler ortadan kaldırılacak ve titreşimleri ortadan kaldırmak için sistemi etkin ve destekleyici hale getirecektir. İvmeölçer ve FFT analizörü ile titreşim ölçümü, motor titreşimlerinin doğru nedenini belirlemede önemli bir unsurdur.

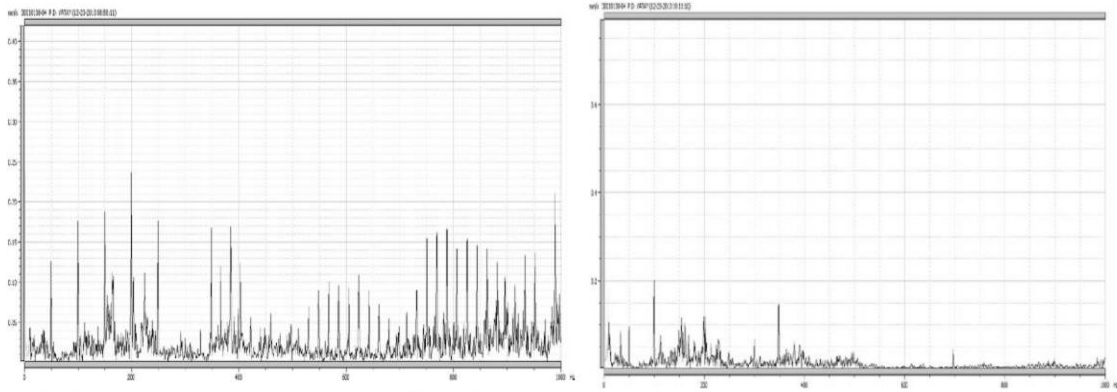
Tablo 2.1. Bir makalede FFT analizörü ile yatay ve dikey yönlerde yatak civatalarının sıkılmadan önce ve sonra alınan ölçümler.

Method of Vibration Detection	Readings				
	Observation No.	Speed of Engine rpm	Conditions	Position	Velocity (mm/s)
Measurement (Velocity) at Bearing Housing by FFT Analyzer	1	1500	Before the tightening of bolts	X-axis-Radial	0.71 1.18 1.8
				Y-axis-Radial	0.71 1.40 1.8
	2	1500	After the tightening of bolts	X-axis-Radial	0.71 0.73 1.8
				Y-axis-Radial	0.71 0.82 1.8

Titreşim analizi ile pompalarda arıza tespiti ve kestirimci bakım için örnek bir çalışmada kızgın bir yağ pompasının ekipmanların titreşim ölçümleri alınmıştır. Ölçümler sonucunda aksenal hizasızlık tespit edilmiş ve bu hizasızlık giderildikten sonra tekrar ölçümler alınmıştır. Kaplin hizasızlığı giderildikten sonra alınan ölçümler neticesinde rulmanlarda oluşan şok darbeleri artış göstermemiş ve titreşim seviyesinin önemli ölçüde azaldığı normale döndüğü anlatılmıştır (Şekil 2.1, Şekil 2.2). Eğer bu kaplin hizasızlığı düzeltilmemiş olsaydı titreşim genliklerinin artışına bağlı olarak rulman arızası kaçınılmaz olacaktı. Kestirimci bakım stratejisi yöntemlerinden titreşim analizi ile arızaların tespiti yapılmış ve işletmeler için kritik ekipmaların durum izlemesi yapılarak gereksiz üretim kaybı ve bakım maliyetlerinin önlenmiştir (Yaman ve Kabadayı, 2014).



Şekil 2.1. Bir makalede iç yatak rulman titreşim spektrumu sırayla öncesi ve sonrası



Şekil 2.2. Bir makalede dış yatak rulman titreşim spektrumu sırayla öncesi ve sonrası

Rulman arızasının titreşime etkisini araştırmak amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada SKF6205 kodlu rulmanlar kullanılmış olup, frekans analiz yöntemi ile iç bilezik hasarının tespit edilebildiği gözlemlenmiştir. Gerçek bir çalışma ortamında bir fan motorunun titreşim ölçümlerini kullanarak, fan kanatlarındaki yabancı maddelerden kaynaklanan dengesizliğin titreşimi nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Titreşim analizi izlemenin ekipman sağlığı açısından olumlu sonuçlara sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca titreşim analizinde titreşim ölçümlerinde kullanılan yöntem ve ölçü birimlerinin önemi ortaya konmuştur. Makaralı rulmanların arıza analizine uygulandığında, hıza göre v-RMS olarak ölçülen titreşimlerin ISO10816'ya göre belirlenen sınırlar dahilinde olduğu, ancak ivmeye göre ölçüldüğünde sorunlu olduğu açıkça doğrulanmıştır. Sonuçlar, dönen makinelerin titreşim analizinin, rulman arızalarının ve titreşimlerin nedenlerini

belirlemek için etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Sonuçlar, titreşim analizi kullanılarak rulman arıza tespitinin başarıyla gerçekleştirilebileceğini göstermiştir (Kam ve Gülle, 2023).

Yapılan deneysel bir çalışma, ofset miller kullanılarak üretilen ve 1380 rpm sabit hızda dönen bir elektrik motorundan g alan bir mekanik sistemin titreşimleri üzerinde mil kaçıklığı ve dengesizliğinin etkilerini araştırmıştır. Sonuç olarak döner makine sisteminde yatay yönde elde edilen kol değeri (x-Ch1), dikey yönde elde edilen değerden (y-Ch2) daha büyük çıkmıştır. Deneysel parametrelere göre D4'e kadar her iki eksenin değerleri azalmış, D5'ten sonra ise her iki eksenin değerleri giderek artmıştır. Genel değer de D1'den D4'e düştü, ancak bu deneyden sonra değerde bir artış gözlemlendi. Bu durum, farklı değişken parametrelerin kullanılmasının veya elektrik motorunun sabit hız yerine hızının kademeli olarak arttırılmasının titreşimleri arttırılabileceğini ve gürültü seviyesini daha da arttırılabileceğini göstermektedir. Bu durum, dönen şaftı destekleyen rulmanlara daha büyük ve düzensiz yükler bindirir ve bu da zamanla rulman arızasına yol açarak dönen mekanik sistemin rezonans yapmasına ve kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir (Kam ve Alçelik, 2020).

Literatürde yapılan çalışmalarda; R. Gohar ve N. Aktürk, iki eğik bilyalı rulmanla desteklenen mil yataklama sisteminin halkalarının eksenden kaydırıldığı geometrik olarak sağlam bir rulmanda titreşimleri gzlemledikler (Gohar ve Aktürk, 1998). Karadoğan ve Belek laboratuvar ortamında kontrollü bir şekilde fan gevşekliği, dengesizlik ve eksen kaçıklığı oluşturmuş ve bu hataların titreşim spektrumundaki bağlamını araştırmışlardır (Karadoğan ve Belek, 1988). Hariharan ve Srinivasan, dönen makine elemanları üzerinde elastik tripod kaplinleri kullanarak rulman ve mil bağlantılarını oluşturdular ve hizasızlık hatalarını gzlemledikler (Hariharan ve Srinivasan, 2009). Xu ve Marangoni, eksenel yanlış hizalama veya dengesizliğin etkisi altında esnek bir kaplin yoluyla bağlanan motor-rotor grubunun tepkisini referans olarak kullanan bir mekanizma üzerinde çalıştılar (Xu ve Marangoni, 1994).

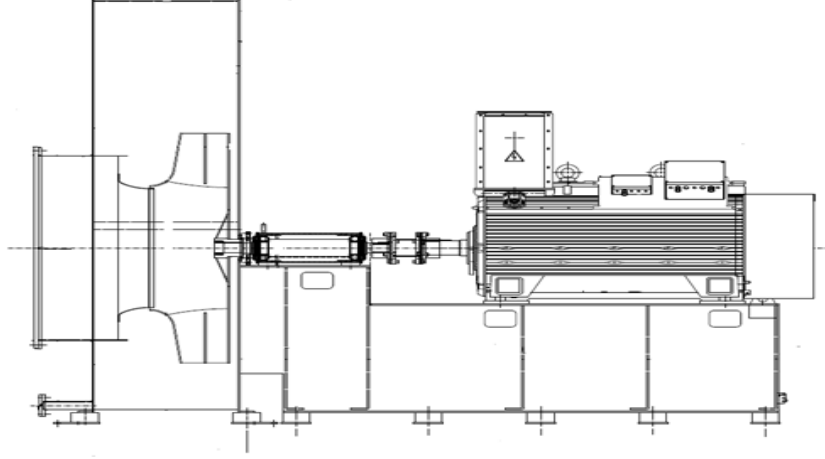
Köse araştırmasında dengesizliklerin, kaplin yanlış hizalamalarının, mekanik gevşemenin ve dönen makinelerdeki dişliler, yataklar, kaymalı yataklar, kayışlar ve motorlardaki arızaların FFT spektrumlarını göstermek için örnekler kullanmıştır (Köse, 2003). Sinha ve arkadaşları, esnek bir kaplin aracılığıyla bir elektrik motoruna bağlanan iki rulmana sahip dönen bir makinede dengesizliğin ve eksenel kaıklığın etkilerini inceledi. Bu yöntemi kullanarak karşılaşılan hataların belirlenmesi açısından olumlu sonuçlar elde etmişlerdir (Sinha ve ark., 2004). Orhan, araştırmasında fan ve pompalardan

oluşan bir mekanik aksam üzerinde belirli zaman aralıklarında titreşim ölçümleri gerçekleştirdi. Test sonuçlarından elde edilen verilerin frekans analiz teknikleri kullanılarak değerlendirilmesi ile makinelerdeki potansiyel dengesizliklerin, mekanik gevşekliklerin, mil kaçıklıklarının ve rulman arızalarının önceden tespit edilmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir (Orhan, 2002). Kalkat ve Yiğiter, her iki ucunda rulmanlarla desteklenen şaftta dengesizlik gözlemlemişler ve bu dengeli mekanizmanın titreşimi azalttığını belirtmişlerdir (Kalkat ve Yiğiter, 2000). Kiran Kumar ve meslektaşları dönen makinelerdeki dengesizlik hatalarını tespit etmek için yapılmış bir rotor test düzeneğini araştırdılar (Kumar ve ark., 2012).

Yapılan bir çalışmada, aynı yükleme koşulları ve çalışma hızları altında, kriyojenik ve temperlenmiş millerin rulmanlı ve kaymalı yataklardaki olası titreşim davranışı ve nedenleri deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla yapılan deneysel bir çalışmada makaralı miller ve kaymalı yataklı millerin kilometre sayaçlarından elde edilen veriler analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Rulmanlı yataklı miller ve kaymalı yataklı miller için sonuçlara göre en düşük genlik değerleri, kaymalı yatak destekli kriyojenik işlem görmüş millerde gözlenmiştir (Kam ve Saruhan, 2019).

3. MATERYAL VE METOT

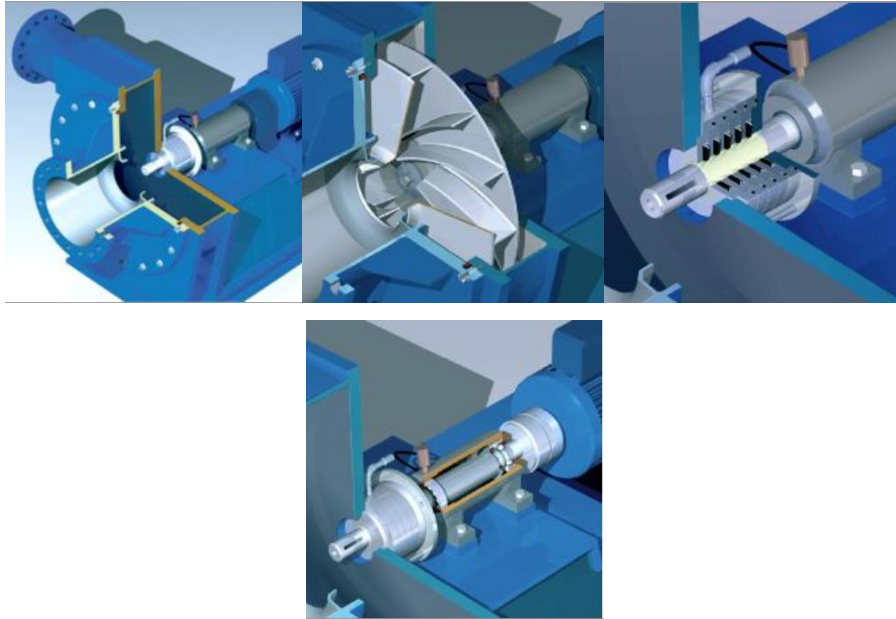
Fanlar endüstride birçok alanda kullanılmakta olup, gaz fazındaki akışkan olan havayı belirli bir hacimde ve basınçta bir yerden alıp başka bir yere ileten ekipmanlardır (Şekil 3.6). Bu çalışmada ölçümü yapılan fan, proses için birinci derece kritik ekipman olup akışkan yataklı kurutucuda ısı transferi yolu ile ürünün hızla kurumasını sağlamaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Soğutma fanı çizimi

Bu soğutma fanının dört önemli mekanik bileşeni vardır (Şekil 3.2). Bunlar;

- Muhafazalar,
- Pervaneler,
- Mil sızdırmazlıkları,
- Yatak kaideleridir.



Şekil 3.2. Soğutma fanı bileşenleri

Bakım, makinaların arızalarından en sorunsuz şekilde belirtilen yaşam döngüsü içinde arızasız bir şekilde verimli çalışmasının sağlanması şeklinde tanımlanır. Bir bakım işlemi izleme, planlı/plansız bakım, durum izleme, rutin bakım, revizyon bir dizi bakım faaliyetini içerebilir. Avrupa standardına göre ise bakım, bir ürünün yaşam döngüsü süresince tutması veya gerekli işlevi gerçekleştirebileceği bir durumda geri getirmesi veya eski haline getirmesi amaçlanan bütün teknik, idari ve yönetsel faaliyetlerin birleşimi olarak tanımlanır. İşletme şartlarına göre farklı bakım yaklaşımları mevcuttur. Bunlar şu şekildedir;

- Arıza bakım
- Periyodik-koruyucu bakım
- Kestirimci bakım
- Pro-aktif bakım

3.1 Kestirimci Bakım

Makinelerin çalışır durumda iken durumlarının izlenmesi, oluşabilecek arızaları, analizler neticesinde arızaları tahmin ederek bakım zamanının planlanılarak arızayı giderme çalışmalarıdır.

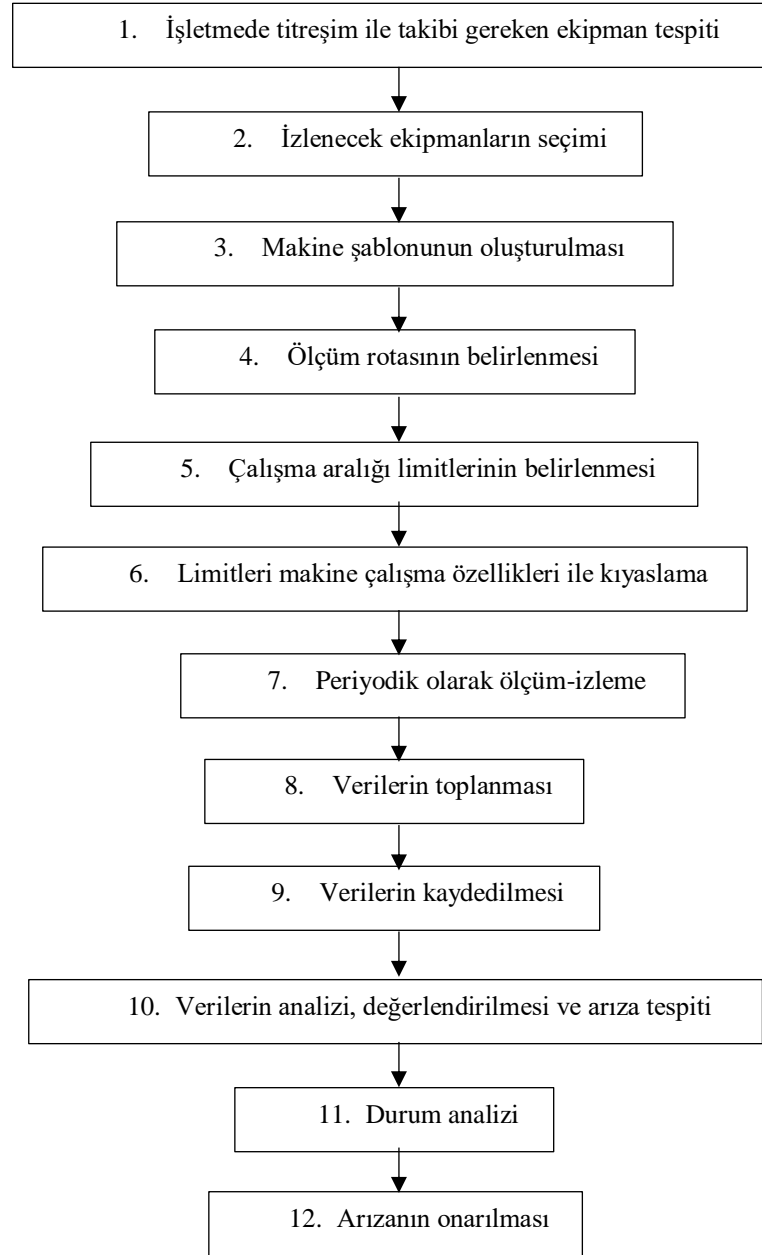
Makinelerin plansız arızaları nedeniyle durması üretim kayıplarına ve yüksek bakım maliyetlerine neden olmaktadır. Üretimin sürekliliğini sağlamak ve verimi artırmak için en önemli aşama; bakım stratejilerinin incelenmesi ve en doğru metodların uygulanması olmalıdır. Bu durumda bakım stratejileri içerisinde uygulanabilecek en doğru yöntemlerden biri “Kestirimci Bakım” dır.

Kestirimci bakım stratejisi; makinenin ve parçalarının arıza çıkarmadan önce durumlarının takip edilmesi ve toplanan dataların çözümsel yollarla analiziyle çalışma ömürlerinin önceden anlama ile arıza çıkarma olasılıklarını değerlendirerek zamanında tedbir almaktır. Böylelikle ekipmanın belirli değişkenleri ve hangi arızaları çıkarma ihtimali sergiliyor takip edilir. Kestirimci bakımın iki amacından birisi ekipmanda oluşan veya oluşabilecek arızayı belirlemek, ikincisi ise bu arızaya öncesinden planlama yapılarak büyümeden önceden müdahale etmektir. Kestirimci bakımı periyodik bakımdan ayıran özellik, bakımın zaman ve performans bazlı değil de durum izleme bazlı olmasıdır.

3.2 Kestirimci Bakım Yöntemleri

Kestirimci bakım stratejini uygulamak için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler kullanılarak makineler çalışır durumda iken belirli periyotlarla makinelerden veriler toplanarak ölçümler alınır. Bu ölçümler analiz edilerek sorunlar önceden kestirilir. Bu

analizler deneyimli ve eğitimli kişilerce yapılmaktadır. Uygun bakım zamanı planlanarak kestirimci bakım yöntemi uygulanmış olur (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kestirimci bakım yöntemi akış şeması

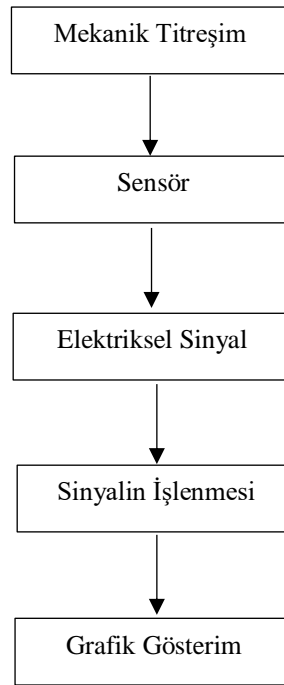
Kestirimci bakım stratejisi işletmelerde uygulanabilmesi için kullanılan yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Termal kamera ile izleme,
- Yağ analizleri,
- Ultrasonik izleme,
- Motor akımı izleme,
- Kondensatör izleme,
- Titreşim analizi...

Kestirimci bakım yöntemlerinden titreşim analizi yöntemi işletmelerde büyük öneme sahiptir. Titreşim analiz yönteminin diğerlerinden daha çok uygulanmasının sebebi çalışan makinede durdurmadan veriler toplamak ve bu veriler ışığında sorunları hızlı bir şekilde tespit edilebilmektir. Makine titreşimi standardize analizi ile arıza deposu ile alakalı kati ve net karar verebilmek için vibrasyon analizi ile alakalı tecrübe ve bilgi sahibi olması gerekmektedir.

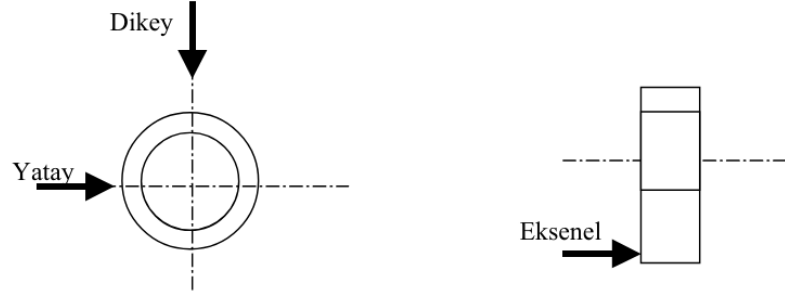
3.2 Titreşim Ölçümü

Veri toplama ile titreşim ölçümü, titreşimi elektriksel sinyale dönüştüren bir sensör, bu sinyali algılayacak sinyal işleme özelliğine sahip bir cihaz gereklidir. Sinyal çevrim akışı şu şekildedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Sinyal çevrim akışı

Makine arızalarının planlı olarak takibinde, rulman yataklarından ölçümler alınır. Rulmanın bulunduğu yataklardan en yakınına sensör dokundurularak ölçüm alınır. Analiz için ölçüm yönleri ve alındığı noktaların sürekliliği, doğruluğu oldukça önemlidir (Şekil 3.5, Şekil 3.7).

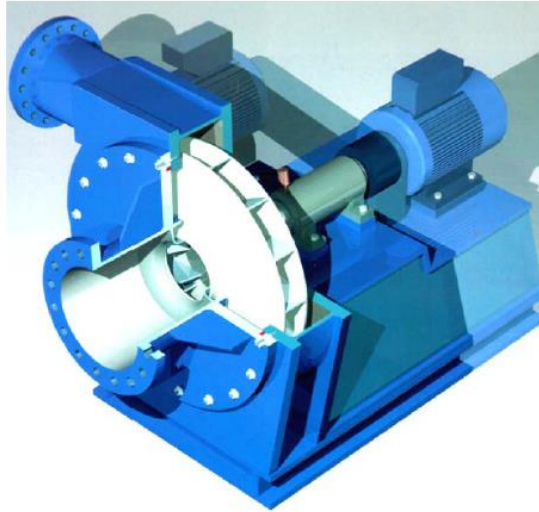


Şekil 3.5. Titreşim ölçüm yönleri

3.3 Arızanın Titreşim Analizi ile Tespit Edilmesi

Titreşim ölçümleri, makinenin durumu hakkında bilgi edinmeyi sağlayabilecek pratik bilgiler verir. Örneğin; makinelerin güvenli çalışması için bilgi sağlamak, makine koşullarındaki değişiklikleri tespit etmek, değişikliklerin nedenlerini teşhis etmek ve makine koşullarını sınıflandırmak için kullanılabilir. Titreşimleri ölçmek için makineyi durdurmaya gerek yoktur. Bu normal çalışma koşulları altında yapılır.

Titreşim, bir makinenin mevcut durumundan kaynaklanan bir etkidir ve en basit anlamıyla, titreşimin bir referans noktasına göre hareketidir (Örneğin; mil makine gövdesine göre titreşir, rulman ise rulman yatağına göre titreşir). Sistemler iç ve dış etkilere bağlı olarak titreşim üretir ve üç temel tipte sınıflandırılabilir. Bunlar; serbest cisim, geçici titreşim, sürtünme titreşimidir.

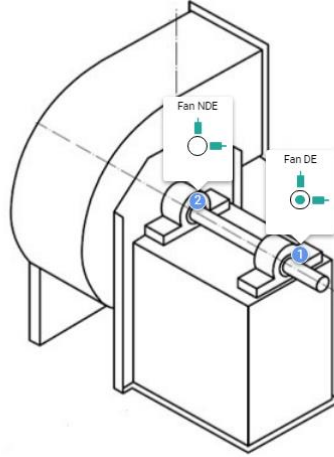


Şekil 3.6. Hava fanı

Titreşimin derecesi, sistemden yayılan itici kuvvet ve kütlelerin yanı sıra sistemin sönümlemesi ve sertliği tarafından belirlenir. Titreşimler, mükemmel şekilde tasarlanmayan veya doğru şekilde monte edilmeyen makinelerden kaynaklanır. Örneğin mükemmel bir makine tasarlanabilseydi, dönen bir elemanın kütle merkezi, ağırlık merkeziyle tam olarak çakışırdı. Bu, rotor üzerinde eşit ağırlık dağılımı sağlar ve

dengelesizlik yaşanmaz. Bu dengelesizliğin neden olduğu titreşimler fazla ağırlığın miktarıyla doğru orantılıdır. Titreşim seviyelerini etkileyen diğerk faktörler ise makine toleransları, makine yapısı, rulman tasarımı, yükler ve yağlama miktarları ve makine montaj yapısıdır.

Titreşim analizi yapabilmek için, titreşimin temel bileşenleri ve terminolojisi ortaya konmuştur.



Şekil 3.7. Rulman yatağı titreşim ölçüm yönleri

Şaft dönüş hızı(1x) aşağıdaki (1) numaralı formül ile hesaplanmaktadır. Yani ekipman dönüş devrinin 60'a bölünmesiyle bulunur.

$$\text{Şaft Dönüş Hızı}(1x) = \frac{\text{RPM}}{60} \quad (1)$$

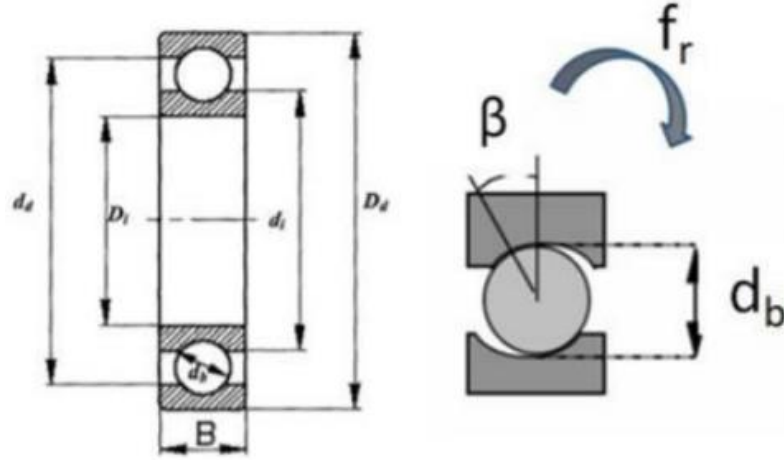
Kanat geçiş frekansı (BPF) ise makinenin devri ile kanat sayısının çarpımıdır. Aşağıda (2) numaralı formül ile gösterilmiştir.

$$\text{Kanat Geçiş Frekansı}(BPF)=\text{Makinenin Devri} \times \text{Pervane Sayısı} \quad (2)$$

Arızalı Ekipman Bilgileri:

- Beypazarı Eti Soda A.Ş.
- Motor – Fan
- Rijit kaplin bağlantılı
- Fan devri: 2985 d/d
- Güç: 630 kW
- Kanat sayısı: 12
- Fan rulmanları: 6316 C3, NU 316 ECP C3
- Motor rulmanı: 6317 C3
- Zemin bağlantı şekli: esnek

Titreşim ölçümü fima marka radyal fandan alınmıştır. Rulmandan gelen bu arıza belirtilerini tanımlamak için, bunların temel arıza frekansları (dış bilezik, iç bilezik, bilya, kafes) aşağıdaki denklemler ile belirlenmektedir (Tablo 3.2).



Şekil 3.8. Rulman geometrisi

$$PD = \frac{D_d + D_i}{2} \quad BD = \frac{D_d - D_i}{2}$$

$$f_{BPFO} = \frac{n}{2} f_r \left[1 - \frac{PD}{BD} \cos \beta \right] \quad (3)$$

$$f_{BPFI} = \frac{n}{2} f_r \left[1 + \frac{PD}{BD} \cos \beta \right] \quad (4)$$

$$f_{BSF} = \frac{1}{2} f_r \frac{PD}{BD} \left[1 - \left(\frac{BD}{PD} \cos \beta \right)^2 \right] \quad (5)$$

$$f_{FTF} = \frac{1}{2} f_r \left[1 - \frac{BD}{PD} \cos \beta \right] \quad (6)$$

Burada;

- f_{BPFO} : Rulman dış bilezik arıza frekansını,
- f_{BPFI} : Rulman iç bilezik arıza frekansını,
- f_{BSF} : Bilya arıza frekansını,
- f_{FTF} : Kafes frekansını,
- f_r : Mil dönme frekansını,
- n : Yuvarlanma elemanı sayısını,
- BD : Döner eleman çapını,
- PD : Bilyalar arası çapı,
- β : Temas açısını temsil etmektedir.

Ekipmanın rulman yatağı sarkık rotorludur. Üretici tarafından önerilen titreşim limitleri tabloda gösterildiği şekildedir. Bu durumda shaft dönüş frekansı (1x), kanat geçiş frekansı (BPF) ve 3 farklı rulman vardır. Bunlar da ilgili tabloda sunulduğu gibidir.

Tablo 3.1. Fan devri ve şaft dönüş frekansı.

Şaft	Şaft Hızı (RPM)	Şaft Hızı (Hz)
1	2985	49,75

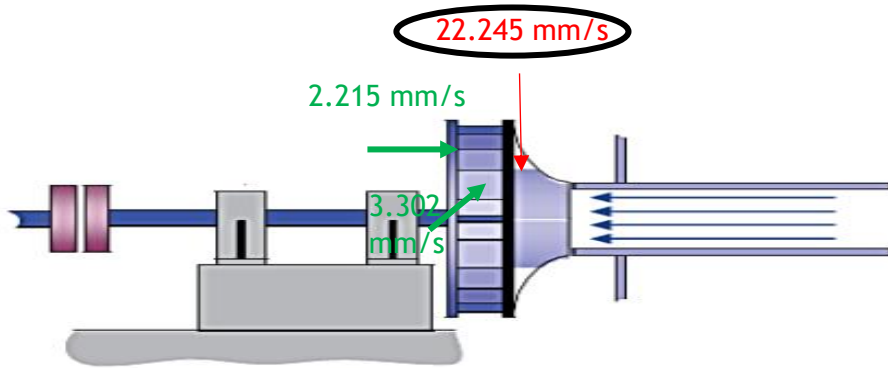
Motor dönüş devri 2985 RPM'dir. Fan devride arada herhangi bir ara ekipman olmadığı için direk kaplin ile bağlantılı olduğu için motor dönüş devri ile aynıdır (Tablo 3.1).

Tablo 3.2. Fan-motor rulman ve kanat geçiş frekansları.

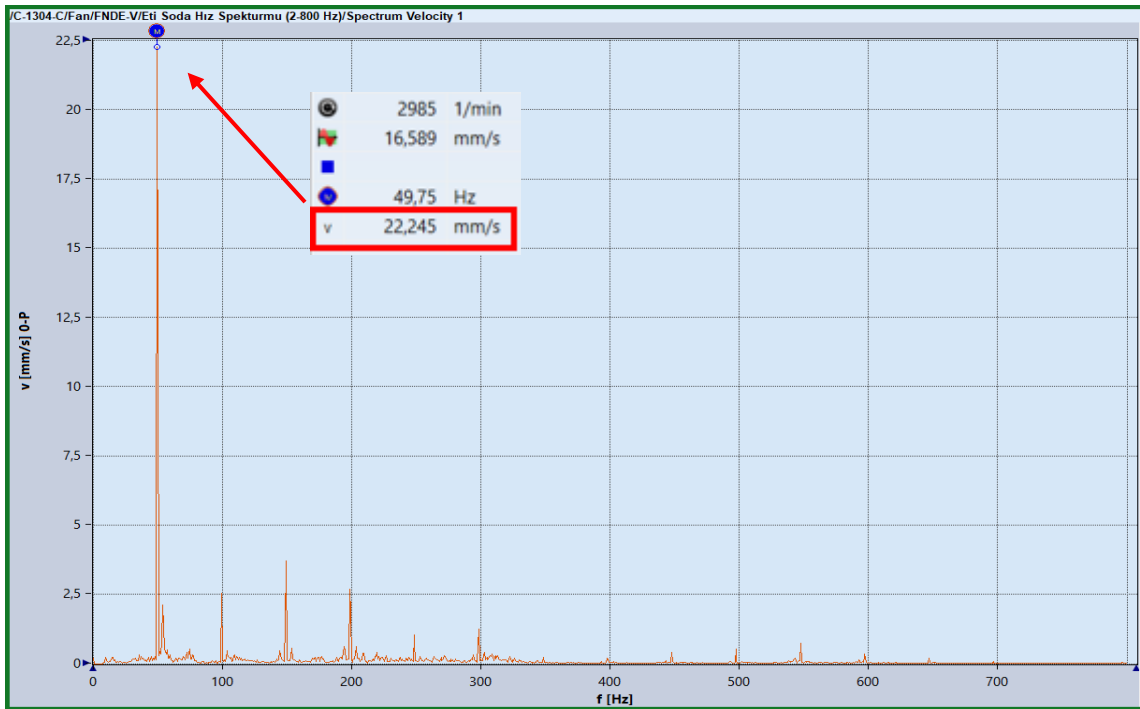
Fan Ön Rulman	6316 C3	BPFI, İç Bilezik Frekansı (Hz)= 244,47 BPFO, Dış Bilezik Frekansı (Hz)= 153,53 BSF, Bilya Frekansı (Hz)= 206,26 FTF, Kafes Frekansı (Hz)= 19,2
Fan Arka Rulman	NU 316 ECP C3	BPFI, İç Bilezik Frekansı (Hz)= 380,09 BPFO, Dış Bilezik Frekansı (Hz)= 266,66 BSF, Bilya Frekansı (Hz)= 273,62 FTF, Kafes Frekansı (Hz)= 20,4
Motor Ön-Arka Rulman	6317 C3	BPFI, İç Bilezik Frekansı (Hz)= 244,27 BPFO, Dış Bilezik Frekansı (Hz)= 153,73 BSF, Bilya Frekansı (Hz)= 207,26 FTF, Kafes Frekansı (Hz)= 19,2
Kanat Sayısı	12	BPF, Kafes Frekansı (Hz)= 600

Tablo 3.3. Üreticinin önerdiği titreşim limitleri.

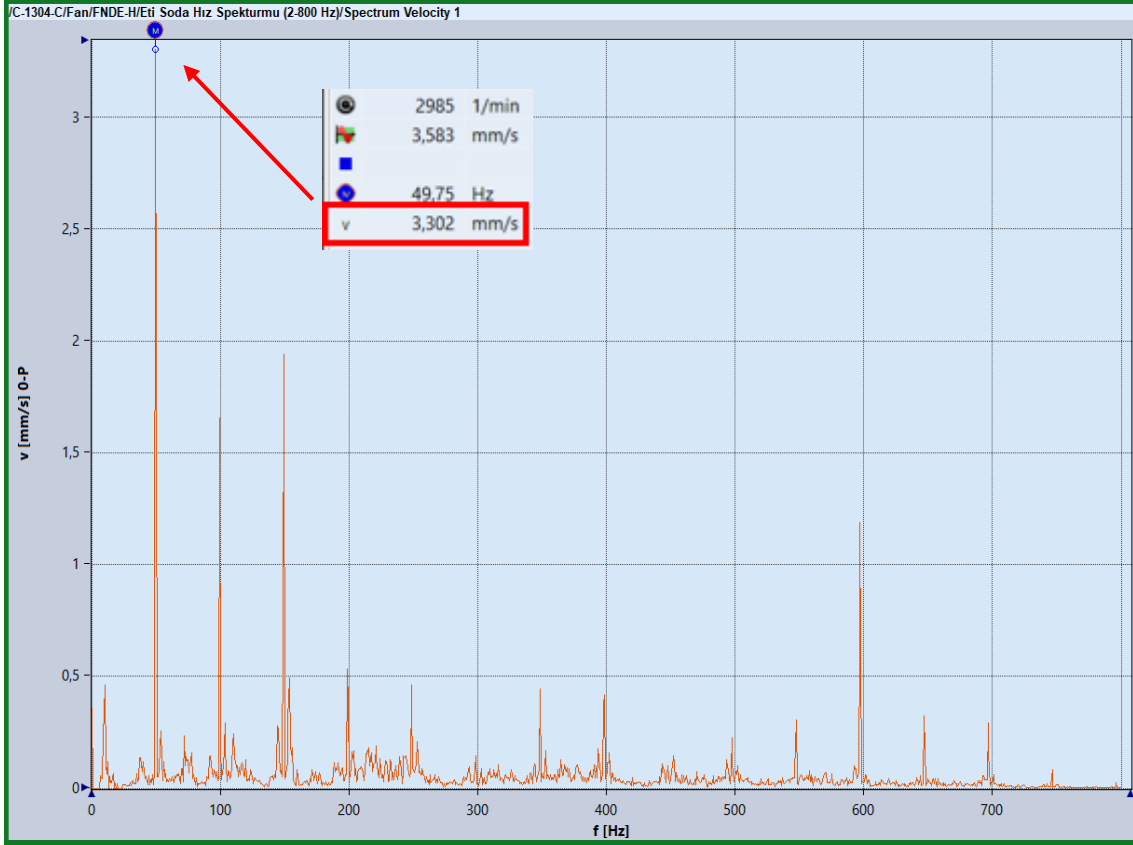
MSR- Pozisyon	Birim	Alt sınır			Üst sınır			Değerlendirme
		Normal	Ön- alarm	Ana alarm	Normal	Ön- alarm	Ana Alarm	
Titreşim	mm/s				2,8	4,0	5,0	Ölçüm aralığı 10mm/s=100%

**Şekil 3.9.** Titreşim ölçümü ve arıza tespiti

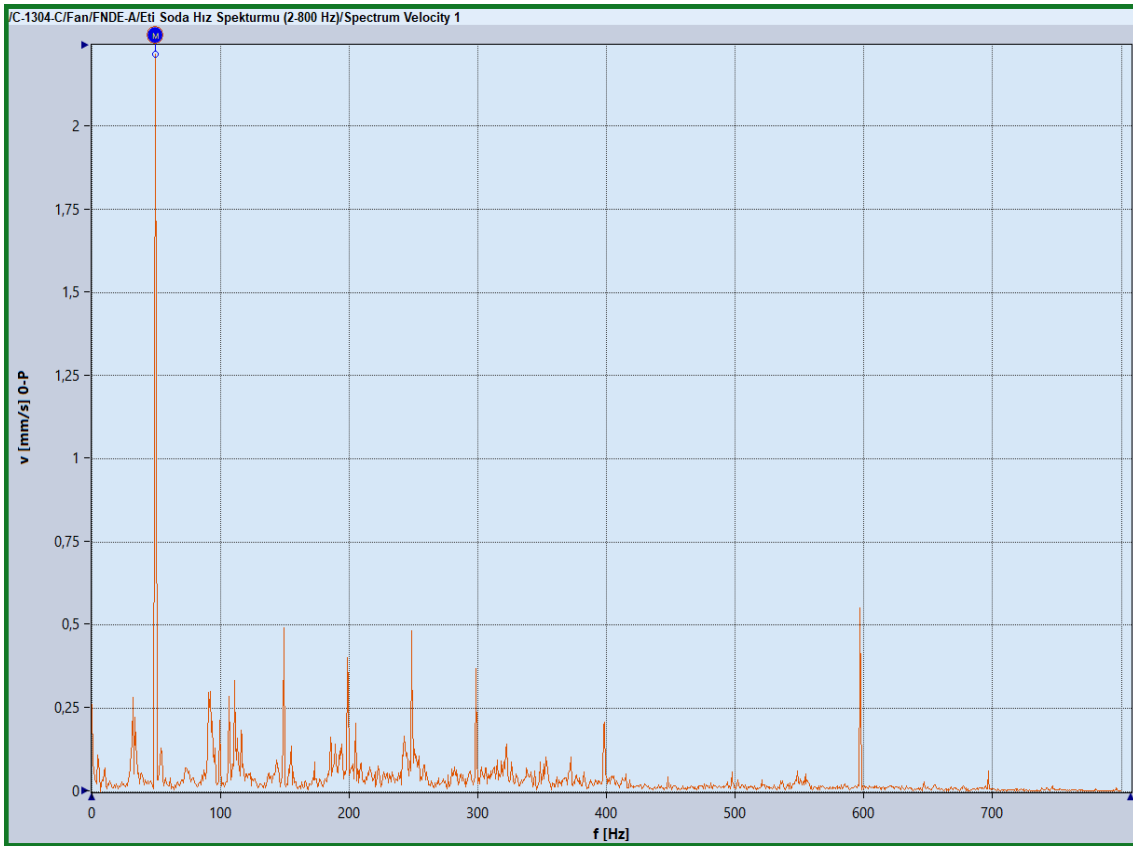
Tablo 3.3'te üreticinin önerdiği titreşim limitleri verilen bilgilerle rulman yataklarından alınan titreşim verileri incelendiğinde, şiddeti yüksek darbeler gözlemlenmiştir. Spektrumlar analiz edildiğinde fan tarafı yatakta dikey yönde devrin 1 katı frekanslarında titreşim artışı görülmesine rağmen, zaman dalga formu detaylı analizinde periyodik ve şiddeti yüksek darbeler görülmemiştir (Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12). Bu vaka yapısal esneklik arızasının olabileceğini göstermektedir. İki tip gevşeklik veya esneklik arızası mevcuttur; bunlardan birincisi yapısal gevşeklik (çözülme, temel yapısı, parçalı muhafaza, rulman yuvası, rulman destekleri...), ikincisi ise yuvarlanma elemanındaki gevşeklik (pompa kanatları, fanlar, rulmanlar, kaplinler...). Problemin hangi sebepten kaynaklandığını bulmak için, alınan hız spektrum ölçümlerinin detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.10. Fan tarafı rulman yatağından dikey yönden alınan hız spektrumu



Şekil 3.11. Fan tarafı rulman yatağından yatay yönden alınan hız spektrumu



Şekil 3.12. Fan tarafı rulman yatağından eksenel yönden alınan hız spektrumu

Yapısal esneklik arızası makinenin bir yöndeki titreşiminin diğer yönler göre daha rahat bir şekilde titreşmesi durumu ile açıklanır. Bir makine dizisinden alınan ölçümlere göre devrin 1 katındaki titreşim seviyesi, rijitliği daha düşük olan yönde, diğer yönler göre çok daha yüksektir. Yukarıda bahsi geçen çalışma, bu bildiride aşağıda belirtilen fanda yapılan titreşim analizi ile yapısal esneklik arızasının tespitini destekler niteliktedir.



Şekil 3.13. Center analiz programı

Titreşim ölçüm analiz yazılımında analiz yapılan kısmı kullanmak ve ölçüm grafiğini açmak için analiz perspektifi kullanılmıştır. Makine ağacı, ölçüm konumları, ölçüm görevleri oluşturmak için makine şablonu kısmı kullanılmıştır. Ölçüm verilerinin aktarımı cihazdan programa ve programdan cihaza ölçüm verilerini aktarmak için iletişim perspektifi kullanılmıştır.



Şekil 3.14. Vibxpert II titreşim analiz cihazı

Makinelere titreşim verilerini toplamak için titreşim analizörleri ve dönüştürücüler kullanılır ve arızaların nedenini belirlemek amacıyla makinelere toplanan titreşim verilerini analiz etmek için analitik yazılım ve bilgisayarlar kullanılır (Şekil 3.13, Şekil 3.14).

Fandaki titreşim ölçümleri Vibxpert II model titreşim analizörü ile alınmıştır. Daha önceden titreşim analizörü ile entegre yazılım olan Omnitrend Center'te hazırlanan fabrikanın tüm ekipmanlarını içeren rota hazırlanmıştır. Beypazarı'nda bulunan ve titreşim analiz yöntemi ile analiz yaptığımız maden fabrikasının bir motor – fan ikilisinin durumu titreşim analizörü cihazı ile ölçülen titreşim verileri üzerinden aylık periyotlarla takip edilmektedir.

Titreşim ölçüm programının temel amacı, makine arızalarını arızalanıp kapanmadan önce tespit etmektir.

Titreşim izleme sisteminin temel amacı, gözle görülmeyen veya yeni oluşmuş gibi görünen arızaları teşhis etmektir. Arıza teşhisini tahmin etmek için kullanılan yöntemler, mevcut titreşim verilerinin, bu makine veya aynı koşullar altında çalışan benzer makineler için tanımlanmış referans verilerle karşılaştırılmasını içerir. Bu karşılaştırma iki yöntem kullanılarak gerçekleştirilir:

- Endüstriyel standartlar ile karşılaştırma – ISO 10816-3-7
- Önceki bir ölçümle karşılaştırma

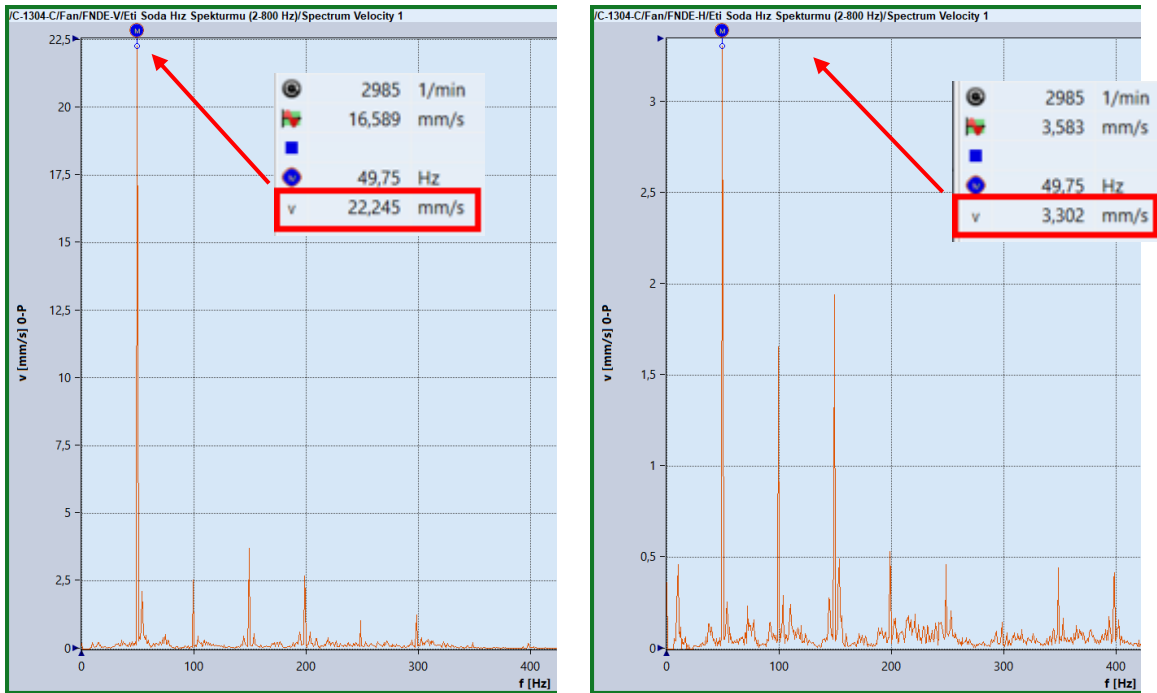
ISO 10816-3, rulman titreşimini ölçerek endüstriyel ekipmanın durumunu belirleyen bir ISO standardıdır (Tablo 3.4). Bu, hem rutin ölçümlerde hem de kabul testlerinde ilk değerlendirmeye olanak tanır.

Tablo 3.4. ISO 10816 - Titreşim genlik limitleri

								v r.m.s	v r.m.s	HIZ DEĞERİ (2-1000 Hz n > 600 1/min >120 1/min)
								11	0.433	
								7,1	0.280	
								4,5	0.177	
								3,5	0.138	
								2,8	0.110	
								2,3	0.091	
								1,4	0.055	
								0,7	0.028	
								mm/s	inch/s	
Rijit	Esnek	Rijit	Esnek	Rijit	Esnek	Rijit	Esnek	KAİDE		
Pompalar > 15 kW				Orta Boy Makineler		Büyük Makineler		MAKİNE TİPİ		
Radyal Eksenel Diyagonal				300kW>P>15kW		500MW>P>300kW				
Direkt Sürücülü (Kayış,Kasnak vb.)		Dıştan Tahrikli (Kaplin Bağlantısı vb.)		Motorlar 160mm >H>315 mm		Motorlar 315 mm>H				
Grup 4		Grup 3		Grup 2		Grup 1				
								GRUP		
								A	Yeni Devreye Alınmış	
								B	Uzun Süre Çalışabilir	
								C	Arıza Başlangıcı	
								D	Arızaya Bağlı Titreşim	

630 kW, Esnek

Ölçüm görevi titreşim analiz cihazı ve titreşim analiz programın yazılımında yer alan hız spektrumu (2-800Hz, Çizgi sayısı: 3200), ivme spektrumu (2-12800Hz, Çizgi sayısı: 51200), zarf spektrumu (2-800Hz) gibi ölçüm görevleri kullanılmış ve alınmış olan spektrumların zaman dalga formları da kayıt altına alınmıştır.



Şekil 3.15. Fan arka dikey ve yatay yönlerdeki hız spektrumu



Şekil 3.16. Ölçüm yapılan hava fanı

Şekil 3.16’te görülen hava fanında alınan yapılan titreşim analizi incelemesinde, fan arka dikey yöndeki hız spektrumundaki 1x frekansındaki genlik 22,245 mm/s iken (Şekil 3.15), fan arka yatay yöndeki hız spektrumundaki 1x frekansındaki genlik 3,302 mm/s’dir (Şekil 3.15). Yatay ve dikey titreşim genliklerinde yaklaşık ~7 kat fark olduğu görülmekte olup üreticinin önerdiği titreşim limitlerinde olmadığı görülmektedir.

Titreşim analizine göre, fanda dikey doğrultuda alınan ölçümde 1x (şaft dönüş hızı) titreşim seviyesi, yatay doğrultuda alınan ölçümdeki 1x (şaft dönüş hızı) titreşim seviyesinden yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum ekipmanda yapısal esneklik durumu olduğunu göstermektedir.

Titreşim detaylı analizlerinden sonrasında planlı olarak gerçekleştirilen bakım çalışmalarında, dikey yönde titreşim görülen yatağın bağlı olduğu bölgede çatlak olduğu ve arıza tespitinin doğru olduğu görülmektedir. Şasenin altında görülen kılcal çatlaklar ve titreşim seviyesini düşürmek için yapılan kaynak ile güçlendirme fotoğraflarda gösterilmiştir (Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19, Şekil 3.20).

Şekil 3.17’de şasenin alt kısmında kırmızı çerçeve içerisinde görülen alan rulman yatağının üzerinde bulunan şasenin alt kısmı görülmektedir. Şase ekipman bütünüyle zemini birbirine bağlayan kısım olup üzerinde bulunan kaynak dikişleri bulunan bir yapıya sahiptir. Şasenin yapısal bütünlüğü kaynak dikişleriyle sağlanmaktadır. Kaynaklarda oluşacak çatlaklar veya kopmalar ekipmanın yapısal esneklik arızası ile rulman yatakları üzerinde yükler oluşturarak yüksek titreşimlere sebep olabilir. Bu çalışmada Şekil 3.16’da detaylı analizler sonucunda kırmızı çerçeve ile gösterilen alanda ve aynı zamanda yüksek titreşime sebep olan kısımda şaseye bağlı bölgede çatlak tespit edilmiştir. Çatlak olan kısım gözle görülemeyecek kadar kılcal olup şasenin belli noktalarında alınan titreşim ölçümlerinde titreşimin en yüksek olduğu bölge ve bu kısımda olduğu için kaynak çatlağının olabileceği bölgenin bu alanda bir bölgede olabileceği varsayılarak yapısal esnekliğe sebebiyet verebileceği öngörülmüştür. Bu kestirimci yaklaşımla yüksek titreşime sebep olabilecek bütün detaylı analizler bu bölgede çatlağın olduğunu güçlü olarak işaret etmektedir. Ekipman yapısal olarak kontrol edildiğinde, yapının altında kırmızı bölge içerisindeki bölgede şasenin köşesinde çatlak olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.17. Fan rulman yatağının çatlayan bölgenin şaseye bağlı görünümü

Fan rulman yatağının bağlı olduğu şasede çatlak olabileceği kestirimci yaklaşımıyla bir rapor hazırlanarak fanın bu bölgesinde kaynak yapıldığı taktirde titreşimin çalışabilir aralığa gelmesi için bakım planlaması yapılmıştır. şekil 3.18’de yapılan kaynak çalışması yeşil ereve ile gösterilen alanda yapılarak yapısal esnekliğin giderilmesi için güçlendirme yapılmıştır.



şekil 3.18. Fan rulman yatağının altında kaynak ile güçlendirilmesi sonrası görünümü

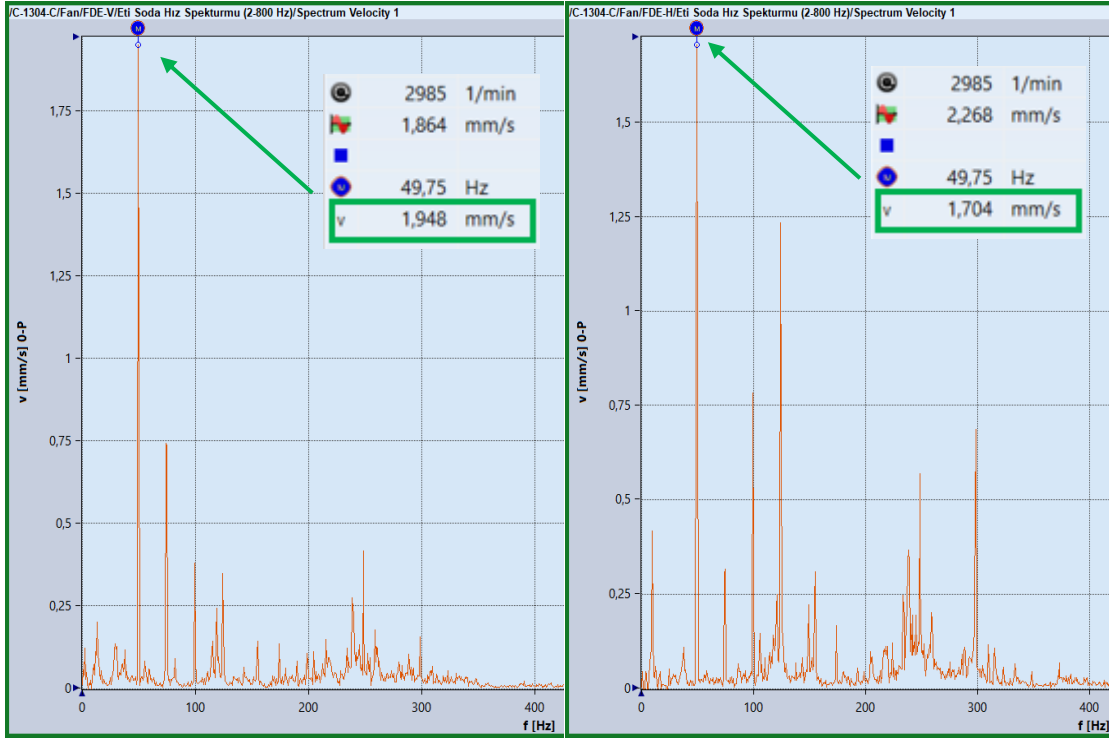
şasede gerekli kaynak işlemleri yapıldıktan sonra yapılan ölçümlerde (şekil 3.18, şekil 3.19, şekil 3.20)’da görüldüğü gibi fan arka dikey yöndeki hız spektrumundaki 1x frekansındaki genlik 1,948 mm/s iken, fan arka yatay yöndeki hız spektrumundaki 1x frekansındaki genlik 1,704 mm/s’dir.



Şekil 3.19. Şase altında yapılan kaynak işlemi

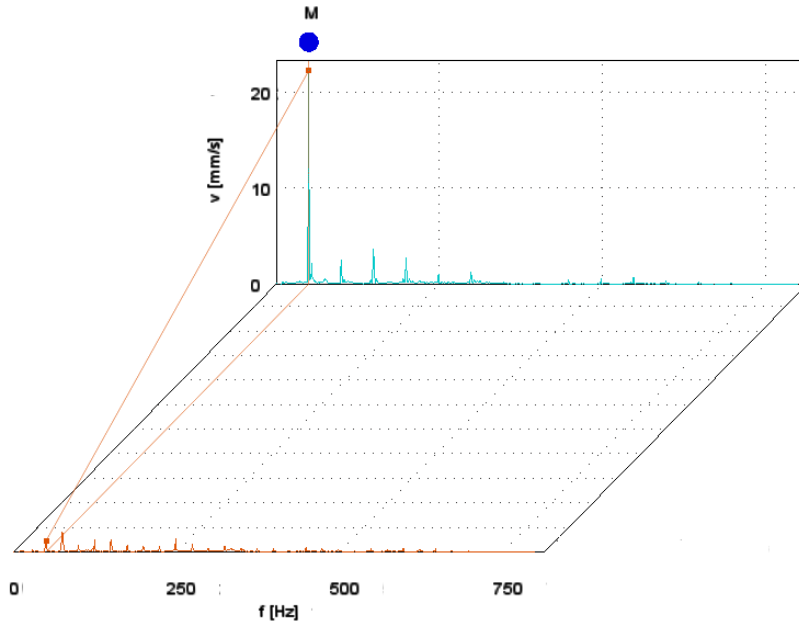


Yatağın bağlı olduğu şasede yapılan kaynak işlemlerinden sonra alınan ölçümlerde, dikey yönde yüksek görülen 1x titreşimi ile yatay yöndeki 1x titreşimi birbirine yakın seviyede olduğu görülmektedir (şekil 3.21).



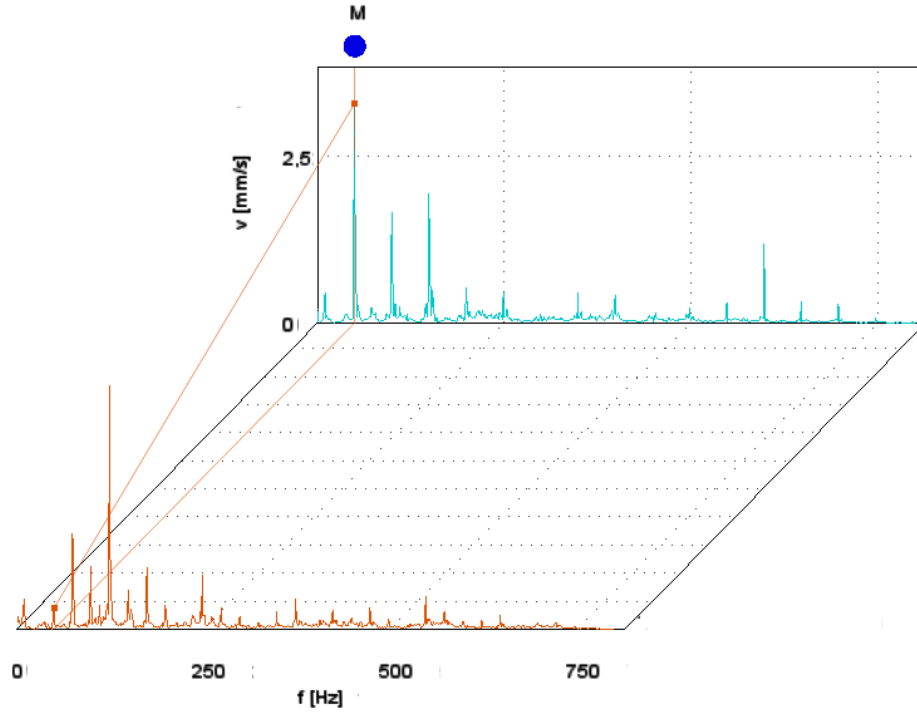
şekil 3.21. Fan arka dikey ve yatay yöndeki hız spektrumu

şase güçlendirildikten sonra fan arka yatak dikey yönde meydana gelen trend değişimi (şekil 3.22)'de görülmektedir.



şekil 3.22. Kaynak işlemi sonrasında fan arka dikey yöndeki hız spektrumu değişimi

şase güçlendirildikten sonra fan arka yatak yatay yönde meydana gelen trend değişimi (şekil 3.23)'de görülmektedir.

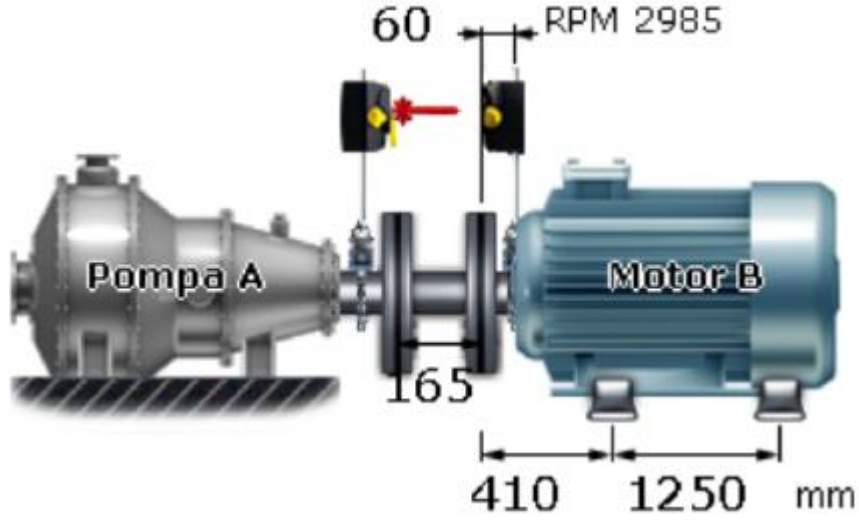


Şekil 3.23. Kaynak işlemi sonrasında fan arka yatay yöndeki hız spektrumu değişimi

Kaynak işlemi yapılarak şase güçlendirmesi yapıldıktan sonra yapılan ölçümlerde hız spektrumuna bakıldığında 1x titreşim seviyesinin daha önceki ölçümlere göre düştüğü gözlenmiştir. Fakat motor yatağı ve rulman yatağı kapline yakın yataklarda alınan ölçümlerde hız spektrumu grafiğine bakıldığında 1x ve 2x titreşimin görülmesiyle beraber 1x ve harmonikleri görülmektedir. Kaplin hizasızlığı gibi arızalar da titreşim analizi yöntemi ile tespit edilebilir. Eksenel yönde, devrin 1 ve 2 katında oluşan baskın titreşim sinyalleri, iki şaft arasındaki hizasızlığı belirtir ve ekipmanda hizasızlık durumunun olabileceği durumunu göstermektedir.

Kaplin hizasızlığı kontrolü ekipman durduğunda kaplinin bağlı olduğu millere lazerli kaplin ayar cihazının braketleri ve üzerindeki optik sensörler sayesinde bağlı iki şaftın geometrik merkezlerinin, rotasyon eksenini boyunca aynı doğrultuda olup olmadığına bakılarak yapılmaktadır.

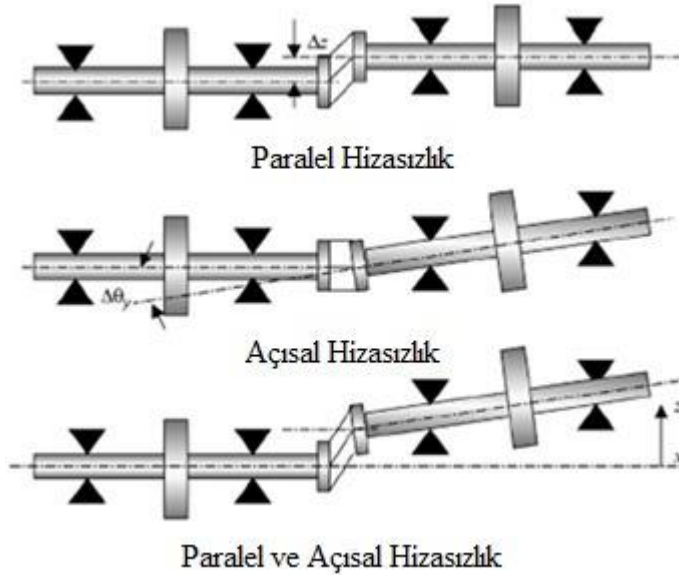
Hızlamamın düzgünlüğü, Şekil 3.24'te gösterildiği gibi girilen makine ebatlarına dayanan toleranslar ile RPM'nin karşılaştırılmasıyla kontrol edilir.



Şekil 3.24. Fanda kaplin hizasızlığı kontrolü için cihaza girilen veriler

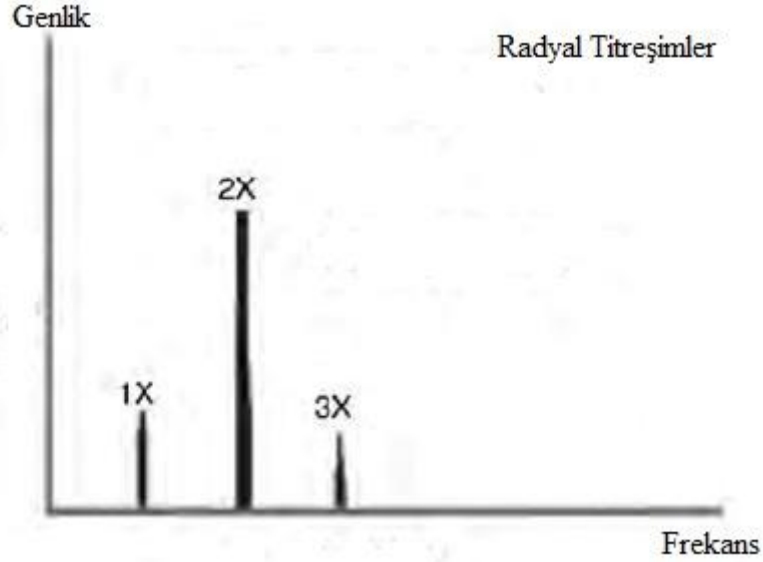
Kaplin hizasızlığı üç farklı şekilde karşımıza çıkar (Şekil 3.25). Bunlar;

- Paralel hizasızlık,
- Açısal hizasızlık,
- Hem açısal hizasızlık hem de paralel hizasızlık,



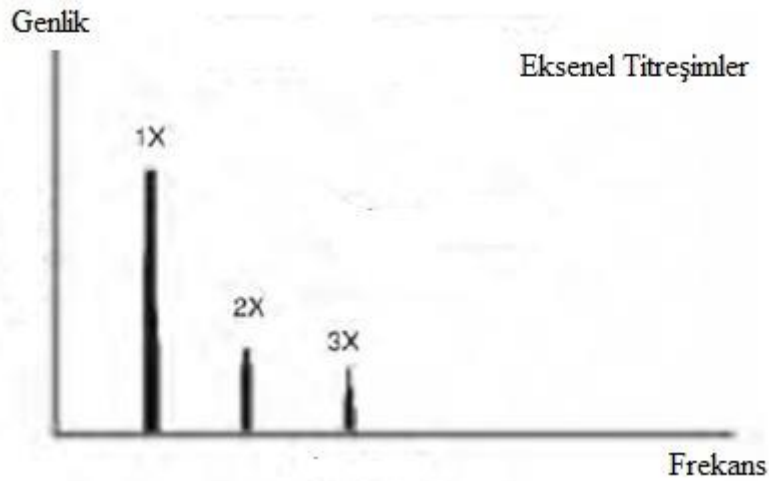
Şekil 3.25. Kaplin hizasızlığı tipleri

Paralel yanlış hizalama, paralel olsalar bile merkezler arasında bir yanlış hizalama varsa paralel yanlış hizalamadır. Spektrumda (Şekil 3.26) iki kat dönüşte yüksek radyal titreşimler, bir dönüşte düşük radyal titreşimler ve bağlar arasında 180 derecelik faz farkı gözlemliyoruz. Bu sinyaller eksenel yönde de düşük seviye ve fazlarda gözlemlenebilir.



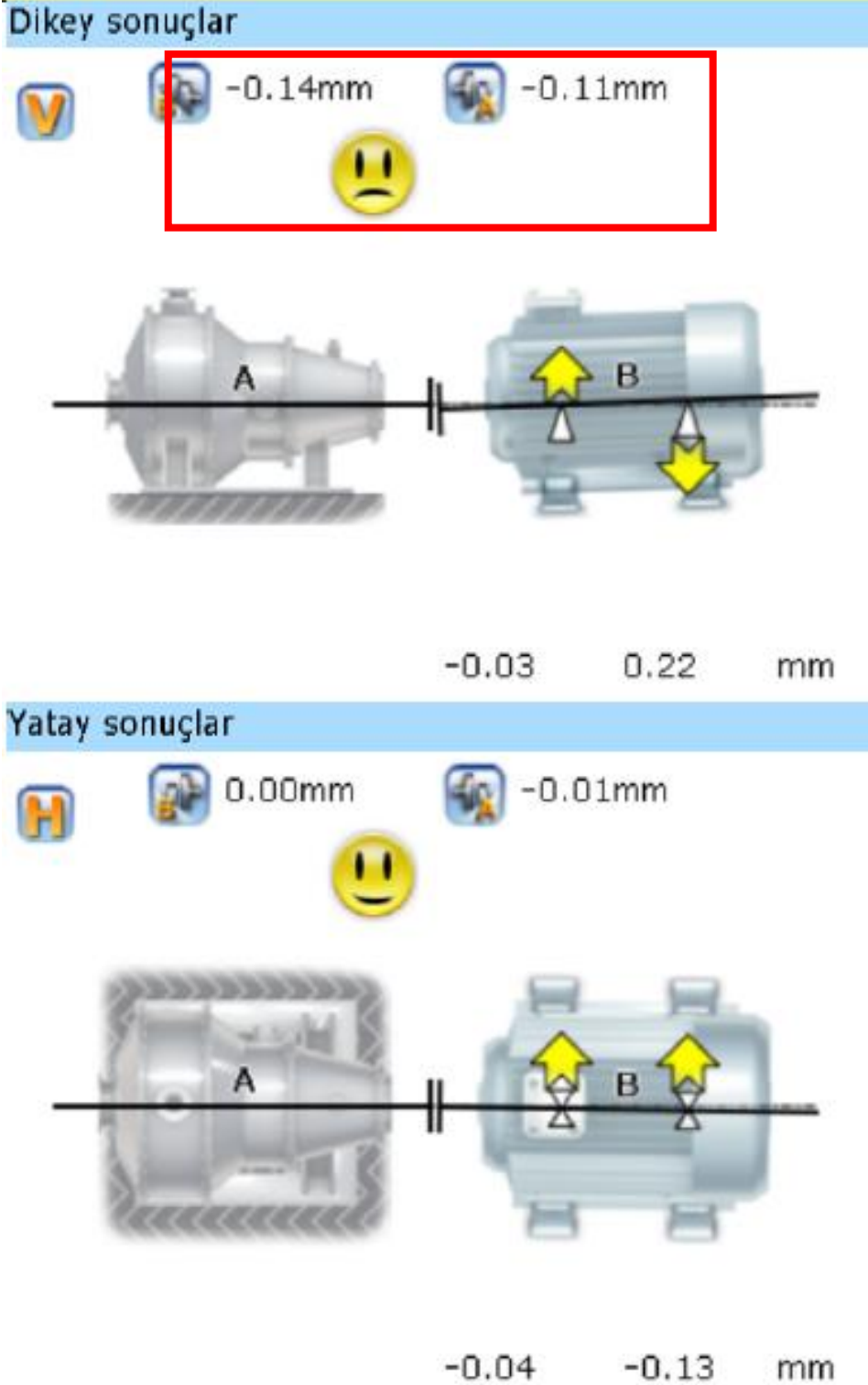
Şekil 3.26. Paralel hizasızlık radyal yönde hız spektrumu

Açısal hizasızlık, shaft merkezleri, her iki shaftın izdüşüm eksenleri boyunca bir noktada kesiştiği durumdur. Eksenel yönde spektrum alındığında (Şekil 3.27) devrin 1 katında, 2 katında, 3 katında yüksek titreşim ve kaplinin sağ ve sol tarafındaki yataklardan eksenel yönde alınan faz ölçümlerinde faz farkının 180 derece olması beklenmektedir.



Şekil 3.27. Açısal hizasızlık eksenel hız spektrumu

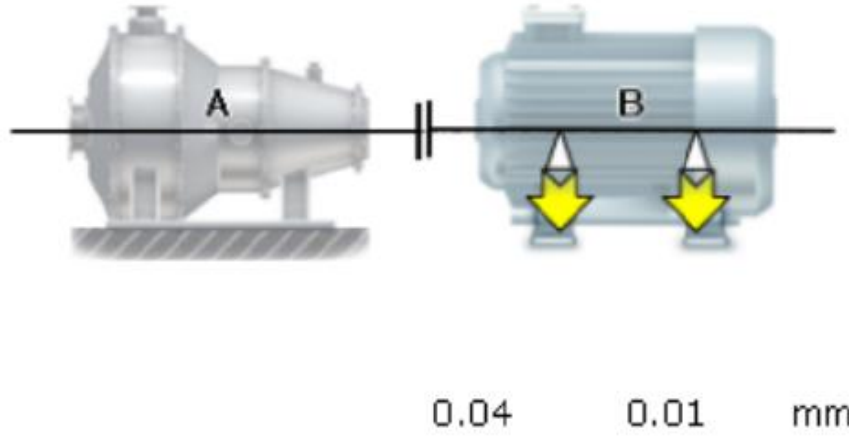
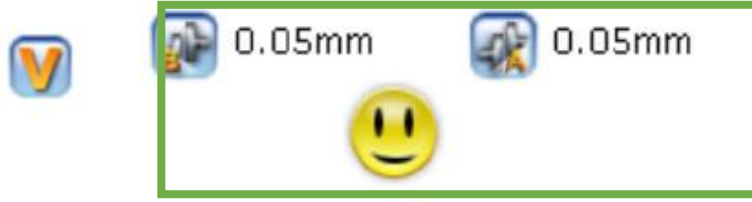
Ekipmanda kaplin hizasızlığı kontrol edildiğinde Şekil 3.28’de görüldüğü gibi hizasızlık durumu olduğu bu durumun giderilmesi için kaplin hizalama işleminin yapılarak titreşim değerleri çalışabilir aralıklara getirilerek rulman üzerine gelen yüklerin azaltılması gerekmektedir.



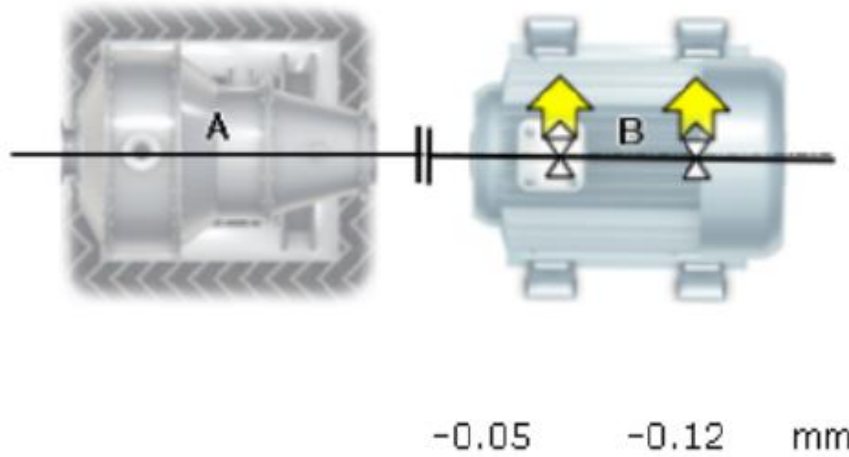
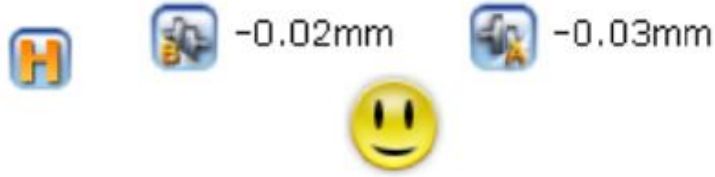
Şekil 3.28. Hizasızlık giderilmeden önceki durumu

Kaplin hizalama işlemi yapıldıktan sonra Şekil 3.29’de görüldüğü gibi kabul edilebilir limitler aralığına getirilmiştir.

Dikey sonuçlar

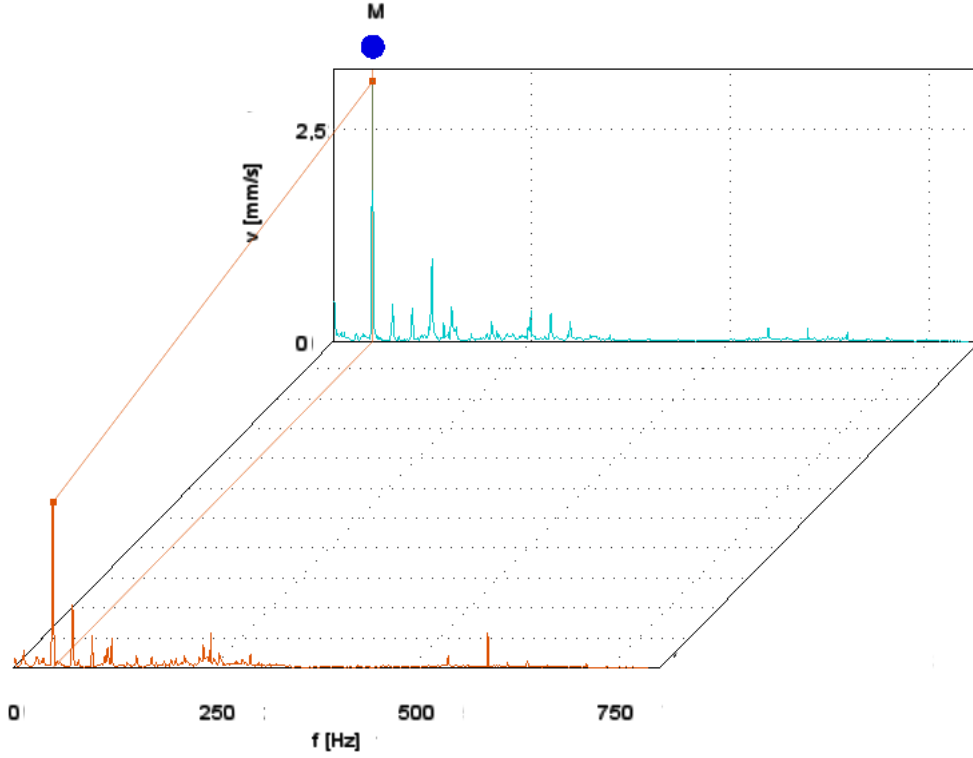


Yatay sonuçlar



Şekil 3.29. Hizasızlık giderildikten sonraki durumu

Hizasızlık durumu giderildikten sonra fan ve motor yataklarında meydana gelen trend değişimi Şekil 3.30’da gösterilmektedir.



Şekil 3.30. Hizasızlık giderildikten sonra hız spektrumu titreşim değişimi

Ekipmanlarda şase gclendirmeden önce ve sonra gerçekleştirilen titreşim ölçümleri ve hizasızlık durumundan önce ve sonrası yapılan ölçümlerde titreşim seviyelerinin düştüğü, kestirimci bakım stratejisi yöntemlerinden olan titreşim ölçümü ve analiz yöntemi ile nasıl tespit edileceği, titreşim seviyelerinin çalışabilir seviyeye gelmesiyle beraber rulmana gelen yüklerin azaldığı ve kestirimci bakım sayesinde arızaların önlenebileceğini bu sayede ani üretim duruşlarının kontrol edilebileceği açıkça gösterilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Rulmanlar, dönen ekipmanlarda sıklıkla kullanılan mekanik elemanlardan biridir. Makinenin sorunsuz çalışması rulmanların kusursuz çalışmasıyla doğru orantılıdır. Rulman hasarı üretimin durmasına neden olabilir ve yüksek hacimli üretim tesislerinde üretim, zaman ve maliyet kaybına neden olabilir. Periyodik bakım ekipmanların çalışma ömrünün uzatılması ve fabrikadaki plansız duruşların azaltılmasını hedefleyen bir planlı bakım türüdür. Bu bakım stratejisinde arıza çıkmadan, daha önce planlanan zaman veya performans bazlı periyotlarda yapılan bakımlarla arızaların önüne geçilmektedir. Fakat bu durumda arıza gerçekleşmemiş, daha uzun sürede çalışabilecek parçaların değişimi ve üretimin gereksiz yere durdurulması, daha fazla bakım personeline ihtiyaç duyulması, stokta birçok parçanın hazır bulundurulması durumunu ortaya çıkartır. Bu durumda yedek parça maliyetinin artmasının yanı sıra stoklama problemini de getirir. Bu nedenle titreşim analizi, makinelerin maksimum verimlilikte çalışmasını ve üretim kayıplarının en aza indirilmesini sağlamak amacıyla kestirimci bakım ve arıza tahmininin temel yöntemlerinden biri olarak kullanılmaktadır. Bakım stratejileri içerisinde kestirimci bakım etkili bir yöntem olarak ekipmanlara uygulanırken, bakım gerektiğinde makinelere uygulanır. Kestirimci bakım makinede sorun oluşmadan önce durum izleme ile toplanan analitik veriler ışığında gerçekleştirilir. Titreşim analizi ile rulmanlarda; birçok arızanın yanı sıra yapısal esneklik arızalarını da teşhis edebiliriz.

Yapısal esneklik arızası makinenin bir yöndeki titreşiminin diğer yönler göre daha rahat bir şekilde titreşmesi olarak açıklanır. Bu gibi durumlarda döner ekipmanlar çalışırken yorulma, aşınma, esneklik, gevşeme gibi durumlar olabilir. Bu etkiler makinelere zaman içerisinde titreşimlerin artmasına sebep olabilir. Yüksek titreşimler makine yatakları üzerinde kuvvetler oluşturur ve titreşim seviyeleri giderek artabilir. Sonuç olarak makinelere ani arızalar meydana gelebilir ve makine devre dışı kalabilir.

Periyodik olarak ölçümler alınarak makinelerin durumu izlenebilmektedir. Bu sayede arıza başlangıçları bu şekilde tespit edilebilir ve makine duruşları olmadan üretimin sürekliliği sağlanmaktadır. Yapılan periyodik ölçümlerle titreşim seviyelerinden yola çıkarak ne zaman arıza olacağı kestirilebilir. Bu durum esaslı yaklaşımı olan kestirimci bakım sayesinde ani arızalar önlenir ve bakım masrafları düşer.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kestirimci bakım stratejisi döner ekipmanların arızasız bir şekilde çalışmalarını sağlamak ve üretim kayıplarının en az düzeyde tutabilmek için titreşim analizi ile arıza tahminleri yapılan ana yöntemlerden birisi olarak kullanılmaktadır. Titreşim analizi makinede sorun oluşmadan önce veya hasar miktarı büyümeden durum izleme ile toplanan veriler ışığında gerçekleştirilir. Bu yöntem ile rulmanlı ve kaymalı yataklarda, birçok arızanın yanı sıra yapısal esneklik ve kaplin hizasızlığı arızalarını da teşhis edebiliriz.

Bu çalışmada yüksek titreşimden dolayı titreşim limitleri standardına uygun olmayan hava fanına titreşim analizi yapılmıştır. Bu yapılan analiz doğrultusunda fan yatağını bağlı olduğu alt şasede kaynak kısmında çatlak tespiti yapılarak yapısal bütünlüğün sağlanamaması bu da ekipmanının yüksek titreşime sebep olabileceği sonucuna işaret etmektedir. Yapılan kaynak işlemi ve kaplin hizasızlığını giderilmesi işlemlerinden sonra yapılan ölçüm sonuçları ve analizleri sonucunda yüksek titreşim değerlerinin önemli ölçüde düştüğü gözlemlenmiş ve titreşim değerlerinin çalışabilir limitler arasına getirilmiştir.

Sonuç olarak, gerçekleştirilen bu çalışmada fan yataklarında gerçekleştirilen titreşim ölçümlerinde spektrum analizlerinin çok önemli olduğu ve gerçekleştirilen titreşim analizi ile arızaların teşhis edilebildiği vurgulanmıştır. Bu arızalardan yapısal esnekliğin tespiti ve döner ekipman için kritik öneme sahip bu arızanın nasıl ortadan kaldırılacağından bahsedilmiştir. Bu analizler ile ekipman titreşim limitleri kabul edilebilir aralığa getirilmiştir. Arızaların teşhis edilebilmesi, durum izleme odaklı bakım stratejilerinin daha güçlü hale gelmesine ve tesisin güvenilirlik oranının artmasına ciddi oranda katkıda bulunmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Ahirrao, N. S., Bhosle, S. ve Nehete, D. (2018). *Dynamics and Vibration Measurements in Engines*. Elsevier Yayınevi.
- Alsalaet, J. (2015). *Dynamic Balancing and Shaft Alignment*. College of Engineering-University of Basrah
- Ayan, Ö. A. (2019). *Döner Makine Elemanlarının Titreşim Analizi ile Kestirimci Bakımı* [Yüksek Lisans Tezi], Trakya Üniversitesi.
- Demir, H. G. ve Müştak, O. (2021). Rulman Hasarlarının Titreşim ve Gürültü Analizi ile Tespiti. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 571-581.
- Engür, A. İ. (2007). Kestirimci bakımda titreşim analizi. *Mühendis ve Makina*, 48(570), 27-31.
- Gohar, R. ve Akturk, N. (1998). Vibrations associated with ball bearings. *ImechE*, 43-64.
- Günindi, Z. Ö., Kurban, A. O. ve Danışmaz, M. (2022). Soğutma fanının kestirimci bakım yöntemi uygulaması ile titreşim analizi ve yapısal esneklik arızasının giderilmesi. *Icontech Uluslararası Dergisi*, 33-41.
- Gürsoy, M. Ü., Çolak, U. C., Gökçe, M. H., Akkulak, C. ve Ötleş, S. (2019). Endüstri İçin Kestirimci Bakım. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 56-66.
- Hariharan, V. ve Srinivasan, P. (2009). Vibration analysis of misaligned shaftball bearing system. *Indian Journal of Science and Technology*, 2(9), 45-50.
- İnce, M., Bekiroğlu, N. ve Ayçiçek, E. (2017). *Kestirimci Bakım Teknolojilerinin Araştırılması ve Endüstriyel Bir Motorun Amt Sistemi ile Arıza Analizlerinin Çıkarılması*. Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Makinaları Anabilim Dalı, 2017.
- Kalkat, M. ve Yiğiter, N. (2000). Kütle dengesizliğinden kaynaklanan şaft Mekanik titreşimlerinin yapay sinir ağları ile analizi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimler Dergisi*, 4(1), 51-59.
- Kam, M. ve Saruhan, H. (2019). Kriyojenik işlem uygulanmış millerin yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda deneysel titreşim analizi. *Politeknik Dergisi*, 22(1), 129-134. <https://doi.org/10.2339/politeknik.385565>
- Kam, M. ve Gülle, S. (2023). Fan kanatlarındaki dengesizliğin ve yuvarlanmalı yatak arızasının titreşime etkisi. *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 7(1): 1-8.
- Kam, M. ve Alçelik, N., (2020). Dönen makinelerde aksel kaçıklık ve dengesizliğin titreşim analizi *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi 7. Cilt - Milli Mücadele ve TBMM'nin Açılışının 100. Yılı Anısına-100. Yıl Özel Sayısı* 256-269.
- Karadoğan, H. ve Belek, T. (1988). Endüstriyel vantilatörlerde uyarıcı dinamik bakım. 3. *Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu*, DEU, İzmir, 94-105.
- Köse, R. K. (2009) Topaz Makine-“Vibrasyon Analizi Eğitim Notları-1,2”
- Köse, R. K. (2003). *Kestirimci Bakım*, 1. Bakım Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı, Yayın No: E/2003/334 TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- Köse, R. K. *Kestirimci Bakım-2* (2005). 2. Bakım Teknolojileri Kongresi Bildiri Kitabı, Yayın No: E/2005/370 TMMOB Makina Mühendisleri Odası.
- Köse, R.K. (2003). Makina arızalarının belirlenmesinde titreşim analizi. *Mühendis ve Makine*, 45(538), 24-32.
- Orhan, S. (2002). Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakımı. [Doktora Tezi]. Kırıkkale Üniversitesi.
- Sinha, J.K., Lees A.W. ve Friswell M.I. (2004). Estimating unbalance and misalignment of a flexible rotating machine from a single run-down. *Journal of Sound and Vibration*, 272, 967-989.

- Xu, M. ve Marangoni R.D. (1994). Vibration analysis of a motor-flexible coupling-rotor system subject to misalignment and unbalance, Part I: theoretical model analysis. *Journal of Sound and Vibration*, 663– 679.
- Yakar, Ö. (2001). *Pruftechnik Türkiye-Eğitim Notları “Titreşim Ölçüm ve Analizi Eğitimi” Standard E. Maintenance terminology. In: European Committee for Standardization. Brussels.*
- Yaman, G. ve Kabadayı, H. M. (2014). Titreşim analizi ile pompalarda arıza tesbiti ve kestirimci bakım için örnek bir çalışma. *Tesisat Mühendisliği Dergisi* 140, 36-51.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı:	Zafer Ömer GÜNİNDİ
Uyruğu:	T. C.
Orcid Numarası:	0000-0001-8109-3197

EĞİTİM BİLGİLERİ	
Lisans	
Üniversite:	Erciyes Üniversitesi
Fakülte:	Mühendislik Fakültesi
Bölümü:	Makine Mühendisliği
Mezuniyet Yılı:	2011
Yüksek Lisans	
Üniversite:	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü:	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı:	Makine Mühendisliği
Mezuniyet Yılı:	2024

Tezden Üretilen Makaleler ve Bildiriler
Günindi, Z.Ö., Kurban, A.O. ve Danışmaz, M. (2022). Soğutma fanının kestirimci bakım yöntemi uygulaması ile titreşim analizi ve yapısal esneklik arızasının giderilmesi. <i>Icontech International Journal of Surveys, Engineering, Technology</i> , 6 (1), 33-41.