

**SÜREKLİFORM BASKI MAKİNASININ TİTREŞİM SİNYALİ  
YARDIMIYLA KESTİRİMCİ BAKIMININ YAPILMASI**

**Serhan AÇIKEL**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2008  
ANKARA**

Serhan AÇIKEL tarafından hazırlanan SÜREKLİFORM BASKI MAKİNASININ TİTREŞİM SİNYALİ YARDIMIYLA KESTİRİMCİ BAKIMININ YAPILMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nizami AKTÜRK .....  
Tez Danışmanı, Makine Müh. Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İleri Teknolojiler Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nizami AKTÜRK .....  
Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Şefaaddin YÜKSEL .....  
Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Sadettin ORHAN .....  
Makine Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

Tarih : 13 / 02 / 2008

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN .....  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serhan AÇIKEL

**SÜREKLİFORM BASKI MAKİNASININ TİTREŞİM SİNYALİ  
YARDIMIYLA KESTİRİMCİ BAKIMININ YAPILMASI  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Serhan AÇIKEL**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ŞUBAT 2008**

**ÖZET**

Kritik süreçlerde ve sürekli çalışması gereken sistemlerde kullanılan makinaların, çalışabilirliğinin ve performansının devamlı aynı seviyede tutulması oldukça önemlidir. Bunu sağlamak için klasik “*periyodik*” bakımların yanı sıra, arızaların başlangıç ve gelişim sürecinde tespiti amacıyla kestirimci bakım teknikleri de kullanılmaktadır. Bu çalışmada öncelikle kestirimci bakım, titreşim analizi ve sıkça tekrarlanan arızaların titreşim özellikleri hakkında genel bilgiler verilmiş, matbaacılık sektöründe kullanılan sürekliform baskı makinasının kestirimci bakım uygulaması sonucunda tespit edilen farklı tipte arıza örnekleri incelenmiştir. Sürekliform baskı makinası, ünitelere ayrılmış ve bu ünitelerdeki makine elemanlarının teknik özellikleri ve titreşim ölçüm noktaları belirlenerek makinaya ait bir titreşim ölçüm planı hazırlanmıştır. Bu ölçüm noktalarından, çalışma programına göre belirlenen periyotlarda titreşim ölçümleri alınmıştır. Alınan bu titreşimler, zaman ve frekans tanım bölgelerinde incelenerek, titreşimlere ait eğilimler belirlenmiştir. Yapılan bu titreşim analizlerinde, karakteristik arızaların titreşim davranışları araştırılmış, belirlenen arızaların seviyeleri tespit edilerek, eğilim ve çoklu spektrum grafikleriyle arızaların gelişim eğilimleri takip edilmiştir. Takip edilen bu

arızaların tehlikeli seviyelere ulaşarak daha ciddi problemlerin oluşmasının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Gerekli görüldüğünde arızalara müdahale edilmiş veya arızalı makine elemanının yararlı ömrünü tamamlaması beklenilmiştir. Yapılan titreşim analizlerinin sonuçları değerlendirildiğinde, sürekli baskı makinasına ait makina elemanları arızalarının, titreşim ölçümlerinin incelenmesiyle tespit edilebileceği görülmüştür. Kestirimci bakım uygulamasıyla, arızalara gelişim döneminde müdahale edilerek, daha ciddi hasarların oluşması önlenmiş ve makine elemanlarının faydalı ömürlerini tam olarak kullanabilmeleri sağlanmıştır.

|                          |                                                            |
|--------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Bilim Kodu</b>        | <b>: 914.1.003</b>                                         |
| <b>Anahtar Kelimeler</b> | <b>: Kestirimci Bakım, Titreşim Analizi, Arıza Teşhisi</b> |
| <b>Sayfa Adedi</b>       | <b>: 99</b>                                                |
| <b>Tez Yöneticisi</b>    | <b>: Prof. Dr. Nizami AKTÜRK</b>                           |

**PREDICTIVE MAINTENANCE OF A CONTINUOUS FORME PRINTING  
PRESS MACHINE BY VIBRATION MEASUREMENT AND ANALYSIS**

**(M.Sc. Thesis)**

**Serhan AÇIKEL**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
February 2008**

**ABSTRACT**

It is quite important to keep continuous operability and performance of the machines used in critical processes and constantly working systems at the same level. To achieve this predictive maintenance techniques are used beside the conventional ones in order to determine any malfunctions at the beginning and in the development process. In this study first of all a general information about predictive maintenance, vibration analysis and the vibration characteristics of typical malfunctions has been given and different types of malfunctions which were determined after the predictive maintenance care of continuous form printing pres machine which is used in the printing sector have been analysed. A continuous forum printing pres machine has been separated into different units and a vibration measurement plan for the machine has been prepared by determining the technical properties and vibration measurement points of the models. Vibration measurements from these measurement points have been obtained on the basis of determined periods in the study programmes. The vibration tendencies of the vibrations which are obtained have been determined by anaysing them at their period and frequency description areas. In these vibration analysis characteristics of typical malfunctions have been are investigated and after the consequence of determining the

levels of defined malfunctions, the development of malfunctions tendencies have been determined by trends and multiple spectrum graphics. It has been targeted to prevent further problems by preempting these malfunctions which are under observation before they reach dangerous levels. If it is required malfunctions have been interfered with or irregular elements have been expected to fulfil their service life in the machinery. When the results of the vibration analysis are evaluated it is observed that malfunctions of machine parts of the continuous form press machine could be identified by way of the vibration analysis. Thanks to the application of predictive maintenance, the risk of more serious damage has been obviated by being interfered with malfunctions in the evolution phase and it has been achieved that machine parts are able to use exactly their full service of life expectancy.

|                     |                                                                      |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Science Code</b> | <b>: 914.1.003</b>                                                   |
| <b>Key Words</b>    | <b>: Predictive Maintenance, Vibration Analysis, Fault Diagnosis</b> |
| <b>Page Number</b>  | <b>: 99</b>                                                          |
| <b>Adviser</b>      | <b>: Prof. Dr. Nizami AKTÜRK</b>                                     |

## TEŞEKKÜR

Bana bu çok değerli konuda çalışma fırsatı veren, danışmanlığımı üstlenerek yoğun çalışma temposuna rağmen her zaman her konuda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Nizami AKTÜRK' e, bilgi ve tecrübelerinden, bir ağabey gibi güler yüzüyle pratik cevaplarıyla faydalanmamı sağlayan, tıkanıdığım noktalarda ve karamsarlıklarımda hep bir çözüm yolu gösterip yolumu açan Dr. Tuncay KARAÇAYA' a, Sürekli form baskı makinasının, ölçüm cihazının ve ölçüm sonuçlarının kullanılmasına müsaade eden "M.E.B. Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğüne", sevgi, saygı, hoşgörü ve destekleri için aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

|                                      | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------|--------------|
| ÖZET .....                           | vi           |
| ABSTRACT .....                       | viii         |
| TEŞEKKÜR .....                       | x            |
| İÇİNDEKİLER .....                    | xi           |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....           | xiv          |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....               | xv           |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....             | xvii         |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....        | xviii        |
| 1. GİRİŞ .....                       | 1            |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....           | 4            |
| 3. SÜREKLİ FORM BASKI MAKİNESİ ..... | 11           |
| 3.1. Teknik Özellikler .....         | 11           |
| 3.2. Ofset Baskı Tekniği .....       | 13           |
| 3.3. Makina Üniteleri .....          | 14           |
| 3.3.1. Boşaltma ünitesi .....        | 15           |
| 3.3.2. Ofset üniteleri .....         | 15           |
| 3.3.3. Karbon ünitesi .....          | 17           |
| 3.3.4. Baskı sonrası üniteleri ..... | 18           |
| 4. KESTİRİMCİ BAKIM .....            | 20           |
| 4.1. Bozulunca Bakım. ....           | 20           |
| 4.2. Koruyucu Bakım .....            | 21           |

**Sayfa**

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 4.3. Kestirimci Bakım .....                          | 21 |
| 4.3.1. Termografi .....                              | 22 |
| 4.3.2. Yağ analizi .....                             | 23 |
| 4.3.3. Titreşim analizi .....                        | 23 |
| 5. TİTREŞİM ANALİZİ İLE KESTİRİMCİ BAKIM .....       | 25 |
| 5.1. Tespit .....                                    | 25 |
| 5.2. Analiz ve Teşhis .....                          | 26 |
| 5.3. Düzeltme .....                                  | 26 |
| 6. TİTREŞİMİN ÖLÇÜLMESİ VE ANALİZİ .....             | 28 |
| 6.1. Titreşim Parametreleri .....                    | 29 |
| 6.2. Analiz Teknikleri .....                         | 33 |
| 6.2.1. Zaman tanım bölgesi analiz teknikleri .....   | 33 |
| 6.2.2. Frekans tanım bölgesi analiz teknikleri ..... | 35 |
| 6.2.3. Zaman/frekans analizi teknikleri .....        | 36 |
| 7. ARIZALAR VE TİTREŞİM KARAKTERLERİ .....           | 38 |
| 7.1. Dengesizlik .....                               | 39 |
| 7.1.1. Tek düzlem dengesizliği .....                 | 40 |
| 7.1. 2. Çok düzlem dengesizliği .....                | 40 |
| 7.2. Eksen kaçıklığı .....                           | 41 |
| 7.3. Mekanik gevşeklik, boşluk .....                 | 42 |
| 7.4. Dişli arızaları .....                           | 43 |
| 7.5. Rulman arızaları .....                          | 45 |
| 7.5.1. Rulman hasar frekansları .....                | 46 |

**Sayfa**

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8. DENEYSEL ÇALIŞMA .....                                                                      | 49 |
| 9. BULGULAR, YORUMLAR VE TARTIŞMA .....                                                        | 53 |
| 9.1. Dengesizlik .....                                                                         | 53 |
| 9.2. Eksenel Ayarsızlık .....                                                                  | 58 |
| 9.3. Mekanik Gevşeklik Boşluk .....                                                            | 61 |
| 9.4. Dişli Arızası .....                                                                       | 69 |
| 9.5. Rulman Arızaları .....                                                                    | 73 |
| 10. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                                    | 83 |
| 10.1. Dengesizlik .....                                                                        | 83 |
| 10.2. Eksenel Ayarsızlık .....                                                                 | 84 |
| 10.3. Mekanik Gevşeklik Boşluk .....                                                           | 84 |
| 10.4. Dişli Arızası .....                                                                      | 85 |
| 10.5. Rulman Arızaları .....                                                                   | 86 |
| 10.6. Daha Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler .....                                              | 86 |
| KAYNAKLAR.....                                                                                 | 89 |
| EKLER.....                                                                                     | 94 |
| EK-1 Sürekli form baskı makinası titreşim ölçüm planı.....                                     | 95 |
| EK-2 Commtest marka titreşim ölçme cihazı (Spektrum Analiz Cihazı) ve<br>Titreşim sensörü..... | 96 |
| EK-3 ISO2372-TS2782 Standardı.....                                                             | 97 |
| EK-4 Arızalar ve oluşturdıkları belirgin titreşim frekansları.....                             | 98 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                  | 99 |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                               | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 8.1. Titreşim ölçüm periyot çizelgesi.....                    | 49    |
| Çizelge 9.1. FAG 6310 rulman frekansları ve frekans harmonikleri..... | 73    |
| Çizelge 9.2. FAG 6204 rulman frekansları ve frekans harmonikleri..... | 79    |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                   | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 6.1. Harmonik titreşim ve parametreler.....                       | 29    |
| Şekil 6.2. Zaman-Frekans dönüşümü.....                                  | 34    |
| Şekil 7.1. Dengesizlik spektrum grafiği.....                            | 39    |
| Şekil 7.2. Rulman geometrisi ve hasar titreşim frekansları.....         | 45    |
| Şekil 7.3. Hasarlı rulman titreşim sinyali [45].....                    | 46    |
| Şekil 8.1 Örnek dalga form, spektrum ve eğilim grafiği.....             | 50    |
| Şekil 9.1. Fan dalga form (hız zaman) grafiği.....                      | 53    |
| Şekil 9.2. Fan ilk ölçüm spektrum grafiği.....                          | 54    |
| Şekil 9.3. Fan spektrum ölçümü (10–04–2004).....                        | 55    |
| Şekil 9.4. Fan çoklu spektrum grafiği.....                              | 56    |
| Şekil 9.5. Fan eğilim grafiği.....                                      | 56    |
| Şekil 9.6. Dişli kutusu şaft bağlantısı ilk ölçüm spektrum grafiği..... | 58    |
| Şekil 9.7. Dişli kutusu şaft bağlantısı çoklu spektrum grafiği.....     | 59    |
| Şekil 9.8. Dişli kutusu şaft bağlantısı eğilim grafiği.....             | 59    |
| Şekil 9.9. 8-C spektrum grafiği.....                                    | 61    |
| Şekil 9.10. 8-C düşey 14.06.2004 tarihli spektrum grafiği.....          | 62    |
| Şekil 9.11. 8-C düşey 17.08.2005 tarihli spektrum grafiği.....          | 62    |
| Şekil 9.12. 8-C düşey dalga form grafiği.....                           | 63    |
| Şekil 9.13. 8-C düşey çoklu spektrum grafiği.....                       | 63    |
| Şekil 9.14. 8-C düşey titreşim eğilim grafiği.....                      | 64    |
| Şekil 9.15. Perfore kazanı dalga form grafiği.....                      | 66    |

| <b>Şekil</b>                                                    | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 9.16. Perfore kazanı spektrum grafiği.....                | 66           |
| Şekil 9.17. Perfore kazanı çoklu spektrum grafiği.....          | 67           |
| Şekil 9.18. Perfore kazanı titreşim eğilim grafiği.....         | 67           |
| Şekil 9.19. Dişli kavrama frekansları ve harmonikleri.....      | 69           |
| Şekil 9.20. Dişli çoklu spektrum grafiği.....                   | 70           |
| Şekil 9.21. Dişli eğilim (trend) grafiği.....                   | 71           |
| Şekil 9.22. Dişli dalga form grafiği.....                       | 71           |
| Şekil 9.23. Dişli yakınlaştırılmış dalga form grafiği.....      | 72           |
| Şekil 9.24. Motor 14.06.2004 Yatay eksen spektrum grafiği.....  | 74           |
| Şekil 9.25. Rulman bilezikleri hasar frekansları.....           | 75           |
| Şekil 9.26. Ana motor çoklu spektrum grafiği.....               | 76           |
| Şekil 9.27. Ana motor eğilim grafiği.....                       | 76           |
| Şekil 9.28. Fan motoru ilk ölçüm spektrum grafiği.....          | 77           |
| Şekil 9.29. 08.04.2005 tarihli fan motoru spektrum grafiği..... | 78           |
| Şekil 9.30. Fan motoru yatay çoklu spektrum grafiği.....        | 80           |
| Şekil 9.31. Fan motoru dalga form grafiği.....                  | 80           |
| Şekil 9.32. Fan motoru yakınlaştırılmış dalga form grafiği..... | 81           |
| Şekil 9.33. Fan motoru titreşim eğilim grafiği.....             | 81           |

## RESİMLERİN LİSTESİ

| Resim                                                  | Sayfa |
|--------------------------------------------------------|-------|
| Resim 3.1. Sürekli form baskı makinası.....            | 10    |
| Resim 3.2. Ana motor.....                              | 11    |
| Resim 3.3. Şaft ve dişli çarklar.....                  | 11    |
| Resim 3.4. Yağlama sistemi damlalıkları.....           | 12    |
| Resim 3.5. Boşaltma ünitesi.....                       | 14    |
| Resim 3.6. Ofset üniteleri.....                        | 15    |
| Resim 3.7. Katlama ünitesi.....                        | 18    |
| Resim 8.1 Yataklardaki ölçüm noktaları.....            | 48    |
| Resim 9.1. Ana motor fan sistemi.....                  | 53    |
| Resim 9.2. Fan ölçüm noktaları.....                    | 53    |
| Resim 9.3. Dişli kutusu şaft bağlantısı.....           | 57    |
| Resim 9.4. Makine 8. ünite şaft yatağı.....            | 60    |
| Resim 9.5. Perfore ünitesi ve perfore kazanı.....      | 65    |
| Resim 9.6. Baskı ünitesi dişlisi.....                  | 68    |
| Resim 9.7. Sürekli form baskı makinası ana motoru..... | 73    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler       | Açıklama                                        |
|----------------|-------------------------------------------------|
| $d$            | Bilye çapı, m                                   |
| $D$            | Rulman ortalama çapı, m                         |
| $f$            | Frekans, Hz                                     |
| $n$            | Bilye sayısı                                    |
| $N$            | Dönme hızı, d/d                                 |
| $T$            | Periyot, s                                      |
| $\omega$       | Açısal frekans, rad/s                           |
| $\omega_c$     | Kafes frekansı, Hz                              |
| $\omega_b$     | Bilya dönüş frekansı, Hz                        |
| $\omega_{bp}$  | Dış bilezik bilya geçiş frekansı, Hz            |
| $\omega_{bpi}$ | İç bilezik bilya geçiş frekansı, Hz             |
| $X_0$          | Genlik tepe değeri, mm, mm/s, mm/s <sup>2</sup> |
| $\emptyset$    | Faz açısı, rad, deg                             |
| $1X$           | Dönme devri birinci katı                        |

| Kısaltmalar | Açıklama                            |
|-------------|-------------------------------------|
| <b>BSF</b>  | Ball Spin Frequency                 |
| <b>BPFO</b> | Ball Pass Frequency Outer Race      |
| <b>BPFİ</b> | Ball Pass Frequency Inner Race      |
| <b>FTFİ</b> | Fundamental Train Frequency         |
| <b>FD</b>   | Fourier Dönüşümü                    |
| <b>HFD</b>  | Hızlı Fourier Dönüşümü              |
| <b>ISO</b>  | International Standart Organization |

**Kısaltmalar****Açıklama****KOK**

Karelerin Ortalamasının Karekökü

**KZFD**

Kısa Zaman Fourier Dönüşümü

**M.E. B.**

Milli Eğitim Bakanlığı

**RPM**

Revolution Per Minute

**RMS**

Root Mean Square

**TS**

Türk Standartları

## 1.GİRİŞ

Üretim maliyetini etkileyen faktörler arasında bakım maliyetleri önemli bir yer tutar. Kontrollü bir bakımla, çalışan makinelerin ve sistemlerin ekonomik ömürleri uzatılarak üretim sürekliliği sağlanabilir. Modern işletmelerde üretimin kesintisiz ve ürünlerin istenilen kalitede olması istenmesine rağmen, üretim sırasında ortaya çıkan arızalardan dolayı bu istek yerine getirilemeyebilir. Makinalarda üç türlü bakım tekniği uygulanmaktadır. Bu bakım tekniklerinden ilki makina arıza verdiğinde arızalanmış parçanın değiştirilmesi ikincisi, makine elemanlarının çalışma ömürleri dikkate alınarak yapılan parça değişimi yani periyodik bakım yapılması, üçüncüsü ise titreşim, gürültü, yağ kalitesi, elektrik akımı gibi parametreleri takip ederek makine elemanlarındaki bozulmanın tahmin edilmesi yoluyla, gerektiğinde parça değiştirilmesi şeklindedir. Günümüzde bu bakım tekniği, işletme ve bakım maliyetinin düşürülmesi amacıyla *kestirimci bakım* ismi ile ilk iki klasik bakım tekniğinin yerine tercih edilmeye başlamıştır.

Alışlagelmiş onarıcı ve koruyucu bakım anlayışlarında ya arıza çıktıkça bakım onarım yapılmakta ya da bir plan dâhilinde üretime ara verilerek planlı bakım gerçekleştirilmektedir. Bu bakım anlayışlarının dezavantajlarından en önemlileri üretime sık sık ara verilmesi, üretim kaybının fazla olması ve gereksiz yedek parça sarfiyatından dolayı bakım maliyetlerinin artmasıdır.

Üretim sırasında oluşabilecek arızaların önceden belirlenmesi çok önemlidir. Kestirimci bakımda, işletmelerdeki makinalar belirli cihaz ve tekniklerle belirli noktalardan izlemeye alınır. Sistemde oluşabilecek arızalar önceden tespit edilerek eğilimleri incelenir ve gerekirse bakıma karar verilir. Kestirimci bakım uygulamanın, bakım işletmelerinin daha rahat programlanabilmesi, tüm makinelerin en yüksek verimle çalıştırılabilmesi, arızalanan elemanların ekonomik ömürlerinin sonuna kadar kullanılabilmesi, en az yedek parça ile stokun tutulması, bakım maliyetlerinin azaltılması gibi faydaları vardır.

Kestirimci bakım sayesinde sistem veya makinelerde arızaların önceden belirlenmesi nedeniyle daha büyük zararlara yol açmaları önlenmektedir.

Kestirimci bakım tekniklerinden olan titreşim analizi, genellikle dönel makinalarda tercih edilen bir bakım yöntemidir. Eksenel kaçıklık, yatak ve dişli hataları, dengesizlik, mil eğrilikleri, kavrama ve yataklardaki ayarsızlıklar, montaj hataları, zamanla hassasiyetini kaybetmiş yataklar dönel makinalarda belli başlı titreşim oluşturan etkenlerdir. Titreşime neden olan kuvvetler, makina elemanının dairesel hareketi esnasında belirli bir frekansla tekrarlarlar. Her bir hatanın kinematiğinden veya geometrik özelliğinden kaynaklanan karakteristik titreşim frekansları olduğundan arızanın kaynağının ve seviyesinin belirlenmesinde titreşim analizi önemli rol oynamaktadır.

Titreşim analiziyle yapılan kestirimci bakım uygulamasında, makina üzerinde belirli noktalardan uygun titreşim ölçüm cihazlarıyla periyodik titreşimler alınmaktadır. Bu titreşimler, analiz yazılımının bulunduğu bilgisayar ortamına alınarak çeşitli analiz teknikleri ile analiz edilir ve arızalar, başlangıç ve gelişim süreçlerinde tespit edilmeye çalışılır. Makine elemanlarının faydalı ömürlerini tam olarak kullanması hedeflenir ancak, gerektiğinde müdahale edilerek, gelişen arızanın daha ciddi problemlere yol açması önlenmektedir.

Matbaacılıkta *Sürekli form Baskı Makineleri* yaygın olarak kullanılırlar ve dönel makinalara iyi bir örnek teşkil ederler. Dairesel hareket eden mil, kasnak, dişli, rulman, merdane, kazan gibi titreşime neden olan birçok makina elemanına sahiptir. Çalışma prensibi genellikle rulolar halindeki belirli özelliklere ve ebatlara sahip kâğıtların boşaltma ünitesinden alınarak baskı işlemleri ve diğer işlemlerden sonra istiflenmesi esasına dayanır.

Bu çalışmada, M.E.B. Eğitim Teknolojileri Genel Müdürlüğü bünyesinde bulunan sürekli form baskı makinasına yapılan kestirimci bakım uygulaması incelenmiştir. Makine üzerinde önceden belirlenen noktalardan alınan titreşimler zaman ve frekans tanım bölgelerinde incelenerek titreşimlere ait

eğilimler belirlenmiştir. Titreşim eğilimlerinin incelenmesiyle, tespit edilen arızalara başlangıç ve gelişim sürecinde müdahale etmek amaçlanmış, gerekli görüldüğünde ise arızaya müdahale kararı verilmiştir. Eğilim grafiklerinden faydalanılarak, arıza seviyelerinin kabul edilemez seviyelere çıkma zamanları hakkında kestirim yapılmıştır.

## 2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Belek ve Güvenç çalışmalarında günümüzde kullanılmakta olan kestirimci bakım faaliyetini inceleyerek, bu yöntemi dinamik erken uyarıcı bakım olarak isimlendirmişlerdir. Bu bakım yönteminde; makinanın stratejik noktalarından alınan titreşim ölçümlerinin, arızaları daha oluşma aşamasında haber vererek makine performanslarının hep üst düzeyde tutulabileceğini belirtmişlerdir. Böylece üretim artışı sağlanacağı maliyetlerin düşeceği ve yedek parça yatırımının azalacağını vurgulamışlardır. Çalışmasında ayrıca ölçüm sistemlerine ve parametrelerine değinerek, erken uyarıcı bakım faaliyeti uygulayan tesislerden örnek pratik sonuçlara da yer vermişlerdir [1].

Sönmez ve Baykasaoğlu çalışmalarında bilgisayar yardımı ile küçük ve orta ölçekli işletmeler için bakım sistemi planlamasını incelemişlerdir. Bakım tekniklerinden bahsederek bu teknikleri kıyaslamışlardır. Kestirimci bakımın üstünlüklerinden bahsederek, bakım metotları içerisinde ön yatırım ve uygulama maliyetleri içermesine rağmen kestirimci bakımı iyi bir alternatif olarak değerlendirmişlerdir. Özellikle can güvenliği içeren ve pahalı sistemlerde kestirimci bakımlı ön yatırımın kısa sürede kendini amorti edeceğini vurgulamışlardır [2].

Köse ve Sümen çalışmalarında, bakım yöntemlerinin etkinliğini inceleyerek gelişim sürecindeki bakım anlayışlarını birbirleri ile mukayese etmişlerdir. Onarım anlayışının arıza oluştuktan, olumsuz sonuç doğup zarar yaşandıktan sonra müdahale etmeyi öngördüğünden günümüzde kabul görmediğini belirtmişlerdir. Periyodik bakımın ise belirli zaman aralıklarıyla ekipmanı muayene etmek ve elde edilen bulgulara göre bakım işlemlerini gerçekleştirmek olduğundan oldukça büyük kaynak gerektirdiğini ve her zaman doğru müdahalelerin zamanında gerçekleşemediğini ifade etmişlerdir. Ancak son zamanlarda bu bakım anlayışlarının yerine doğru zamanda, doğru müdahale olanağı vermesi nedeniyle 'Kestirimci Bakım' felsefesinin tercih edilmeye başlandığını vurgulamışlardır [3].

Altay çalışmasında önleyici bakım amacıyla titreşim analizini incelemiştir. Titreşim mühendisliğinin, spektral analiz olarak tanımlanan, makine titreşimlerinin frekanslarına göre genliklerinin incelenerek arıza kaynaklarını tanımlama yöntemi ile arızaların başlangıcından itibaren gelişimini inceleyerek doğru zamanda müdahale edilmesini amaçladığını belirtmiştir [4].

Feyzullahoğlu çalışmasında işletmelerdeki kestirimci bakım uygulamalarının önemine dikkat çekerek, zamanla yaygınlaşması ve işletmelere kazandırdığı faydalara değinmiştir. Başlangıçta işletmeye getirdiği maliyetin, bakım onarım ve yedek parça maliyetlerindeki azalma ile zamanla işletmeye kar olarak kazandırdığı faydaları incelemiş ve ülkemizde de bilgisayar destekli kestirimci bakım uygulamalarının yaygın olarak kullanımının faydalı olacağını vurgulamıştır [5].

Orhan vd. çalışmalarında titreşim analizine dayalı kestirimci bakım uygulamasına değinerek tekniğin gerçek bir sistemde uygulanmasını örnek olarak vermiştir. Örnek olarak santrifüj pompa rulmanlarının çalışabilirliğini titreşim analizi ile incelemişlerdir. Zamanla rulman titreşimlerindeki genlik artışını tespit ederek rulmanları değiştirmiş, incelediklerinde tahmin edildiği gibi rulmanların ömürlerini tamamlamak üzere olduğunu gözlemlemişlerdir. Yeni rulmanların takılmasıyla titreşim seviyesindeki gözle görülür düşüşü gözlemlemişlerdir [6].

Çağlayan çalışmasında pompalar üzerinden alınan titreşimlerin analiz edilerek pompa arızalarının tespit edilebileceğine değinmiştir. Pompalar üzerinde yapılan genellikle titreşim ivmesi ölçümü ve FFT yöntemleriyle pompanın titreşim imzasının elde edilerek, arızaların kaynaklarını bulmada büyük kolaylık sağladığını ifade etmiştir. Özellikle balans bozukluğu, kaplin ayarsızlığı, şase gevşekliği, ankraj zayıflığı, rulman arızaları, akış problemleri ve kavitasyon gibi pompalarda karşılaşılabilecek arızaların titreşim analizlerini tartışmıştır [7].

Orhan çalışmasında dönel makinalarda oluşan dengesizlik, eksen kaçıklığı, gevşeklik ve rulman arızalarının genel özelliklerini ve bu arızaların sebep oldukları titreşimleri ele almıştır. Örnek olarak bir fabrikada çalışan makinaların oluşturduğu titreşim davranışlarını incelemiş ve dönel makinalarda oluşan arızaların titreşim analizi ile belirlenebileceğini belirtmiştir [8].

Hamzaoui vd.'nin çalışmaları ise dönel makinalarda dengesizlik ve eksen kaçıklığının belirlenmesine yöneliktir. Çalışmanın ilk kısmında sistemin matematiksel modeli elde edilmiş ve ikinci aşamasında elde edilen sonuçlar deneysel çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada hataların tespiti için hem titreşim, hem de akustik teknikler kullanılmıştır [9-10].

Çağlayan çalışmasında titreşim analizi ile makine arızalarının doğru ve hassas şekilde tespit edilebilmesi için ölçüm noktalarının ve parametrelerinin önemine değinmiştir. Makinaların üç doğrusal yönde hareket yetenekleri olduğundan dolayı, ölçümlerin düşey yatay ve eksenel yön olmak üzere üç eksenle yapılması gerektiğini vurgulayarak faydalarını açıklamıştır [11].

Köse çalışmasında dönel makinaların sağlığı ile ilgili ayrıntılı bilgi için titreşim analizinin önemine değinmiştir. Titreşim verilerinin tek başına anlam ifade edemeyeceğini, verilerin birbiriyle etkileşimi ve neden sonuç ilişkisi ile analiz edilmesi gerektiğini belirtmiş, her arızanın fiziksel özelliklerine göre farklı frekanslarda kendini göstereceğini vurgulamıştır [12].

Köse bir başka çalışmasında sürekli titreşim izleme sistemlerinin önemine değinmiştir. İşletmeler için son derece önemli, durması kesinlikle istenmeyen makinaların sürekli titreşim izleme sistemleri ile takip edildiğinde üretim kayıplarının önüne geçileceğini böylece işletmenin maliyetlerinin azalarak üretim miktarının artacağını vurgulamıştır [13].

Orhan ve Aktürk çalışmalarında aktarma organı dişlilerinde oluşan fiziksel hataların titreşim analizi ile belirlenmesini incelemişler, bir kompresör dişli

kutusunda yapılan uygulama çalışmasının sonuçlarını sunmuşlardır. Titreşimlerin dişli kutuları hatalarını belirlemede etkili bir araç olduğunu belirlemişlerdir [14].

Öztürk vd. çalışmalarında dişli çark oyukçuk arızasının titreşim analizi ile tespit edilmesini incelemişlerdir. Titreşim esaslı tekniklerin makine arızalarının tespit edilmesindeki önemine değinerek endüstriyel bir dişli kutusu üzerinde oyukçuk hatası oluşturarak dişli çarklardan titreşim ölçümleri almışlardır. Alınan titreşim verilerini, dalga form, spektral analiz ve istatistiksel yaklaşımları kullanarak arızanın tespit edilebilirliğini incelemişlerdir. Aldıkları sonuçlara dayanarak, titreşim biçiminin ve frekans spektrumunun hatanın varlığını erken safhalarda belirleyebildiğini tespit etmişlerdir. [15].

Fetvacı ve İmrak çalışmalarında, dişli çarklarda meydana gelen hataların durum izleme metotlarıyla tespit edilmesini incelemişlerdir. Durum izlemesi metodunun makine hasarlarının önlenmesinde en etkili ve optimum maliyetli metot olarak kabul edildiğini ifade ederek, dişli kutusu hasarlarını ses sinyallerinin bilgi taşıma özelliklerinden faydalanarak belirlenebileceğini tespit etmişlerdir [16].

Aktürk vd. çalışmalarında rulman titreşimlerini incelemişler, titreşimlerin oluştuğu farklı frekansların kaynak taramasıyla elde edilmesinin güçlüğünden dolayı önemli frekansların hesaplanmasında kullanılan formülleri bakımcılara referans olması amacıyla sunmuşlardır. Böylece rulmanlarda oluşacak titreşimlerin bu referans frekanslarda ve harmoniklerinde oluşacağını bunun da bakımcılara kolaylık ve zaman kazandıracağını vurgulamışlardır [17].

Arslan ve Aktürk, sağlam ve kusurlu durumdaki bilyalı rulmanlardaki bilyaların titreşimlerini incelemek üzere bir şaft rulman modeli geliştirmişlerdir. Şaft ve bilyalar için radyal yöndeki hareket denklemleri elde edilmiş ve bu denklemler bilgisayar programı yardımıyla farklı ön yükler için eş zamanlı olarak çözülmüştür. Simülasyon programından bulunan bu sonuçları zaman ve

frekans tanım bölgelerinde incelemişlerdir. Ön yük arttıkça bilyelerin daha uzun süre yüklü bölgede kalarak daha fazla deformasyona uğradığını ve titreşim genliklerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Frekans spektrumlarında frekans zirveleri, kafes frekansı ve katları, şaftın radyal yöndeki doğal frekansı ve bilyanın radyal yöndeki titreşim frekansında ortaya çıkmakta olduğunu belirtmişlerdir [18].

Karaçay doktora çalışmasında açışal temaslı rulmanlarla yataklanmış rijit bir şaft sistemini 5 serbestlik dereceli olarak modellemiş ve doğrusal olmayan hareket denklemlerini elde etmiştir. Bu denklemleri kullanarak önce sağlam rulmanlarla yataklanmış sistemin titreşim davranışlarını incelemiş daha sonra modeli bölgesel hataları ve dağınık hataları ifade edecek şekilde geliştirmiştir. Doğrusal olmayan şaft/rulman sistemi davranışlarını tam olarak yansıtabilmek için hareket denklemlerini farklı şaft dönüş hızları için çözmüş ve sonuçları zaman, frekans ve zaman/frekans tanım bölgesinde göstermiştir. Çalışmasının ikinci kısmında ise bir deney düzeneği tasarlayarak rulmanlarda çeşitli hatalar oluşana kadar çalıştırmış, bu zaman zarfında aldığı titreşim ölçümlerini temel istatistik hesaplamaları ve titreşim analiz teknikleri ile incelemiştir. İncelemelerinde rulmanlarda oluşan hataların oluşum mekanizmasını belirlemeye çalışarak rulmanların durum kontrolünde titreşim analizinin etkinliğini tartışmıştır. Rulman elemanlarındaki hataların tespitinde en etkin tekniğin dalgacık dönüşümleri olduğunu tespit etmiş fakat tekniğin tek başına kullanımı yerine zaman ve frekans tanım bölgesi teknikleriyle birlikte kullanılmasının tekniğin başarısını artıracak olduğunu vurgulamıştır [19].

Ayaz ve Şeker çalışmalarında, elektrik motorlarındaki rulman arızalarının gelişimini, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen yapay arıza deneylerinin sonucunda toplanan verilerin istatistiksel analizi ile incelemişlerdir. Bir sağlam ve yedi eskitme aşamasından oluşan süreçte her bir aşamanın istatistiksel parametrelerini hesaplamış ve arıza gelişiminin her bir aşamada normal dağılımlı kaldığını göstermişlerdir. Ayrıca, rulman arızasının gelişiminin,

ortaya konulan kritik standart sapma veya arıza uyarı seviyesi yardımıyla, dördüncü süreçte başladığını saptamışlardır [20].

İmrek ve Bağcı çalışmalarında rulmanlı yataklardaki kayıpları ve rulman ömrü üzerine etki eden faktörleri incelemişlerdir. . Rulmanlı yatakların kullanıldığı yerde arzu edilen ve istenilen performansta çalışabilmesinin, montajının ve bakımının düzgün yapılmasına bağlı olduğunu belirtmişlerdir [21].

Orhan vd. çalışmalarında mevcut titreşim analiz metodu ile rulman arızalarının belirlenmesini incelemişlerdir. Silindirik tip yuvarlanma elemanına sahip bir rulmanda oluşan dış bilezik hasarının titreşim analizi ile belirlenmesini sunmuşlardır. Rulman dış bileziğinde oluşan tek nokta hasarının neden olduğu titreşimin dalga form grafiğinde frekansı dış bilezik bilye geçiş frekansına eşit olan darbe sinyalleri oluştuğu, spektrum grafiğinde ise, rulman arıza frekansının katlarında frekanslar oluştuğunu belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlardan, titreşim analizinin rulman hasarlarını belirlemede etkili bir şekilde kullanılabileceğini tespit etmişlerdir [22].

Arslan vd. çalışmalarında sağlam ve hasarlı durumdaki açısız temaslı bilyalı rulmanların titreşimini incelemek üzere bir şaft-rulman modeli oluşturmuşlardır. Şaft ve bilyalar için hareket denklemlerini elde ederek bu denklemleri geliştirilmiş bilgisayar programı yardımıyla radyal ve eksenel doğrultular için çözmüşlerdir. Simülasyon programında şaft ve bilyalar için bulunan sonuçları zaman ve frekans tanım bölgesinde inceleyerek rulman bilyalarının kütleli olarak kabul edilmesinin şaftın genel titreşimini çok fazla etkilemediğini görmüşlerdir. Elde ettikleri sonuçları daha önceki çalışmalarla karşılaştırdıklarında göreceli olarak bir uyum içerisinde olduklarını gözlemlemişlerdir [23].

Çağlayan ve Yılmaz çalışmalarında titreşim üretebilen mekanik arızaların ve bazı elektriksel arızaların tespitinde analizörlerin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Motorlarda titreşim analizi ile eksenel ayarsızlıkların, rulman ve yataklama problemlerinin, balanssızlık gibi mekanik kökenli sorunlar ile

rotor kısa devre çubukları ile sargı ve hava boşluğundaki problemleri içeren bazı elektriksel arızaların tespit edilebileceğini belirtmişlerdir [24].

Ucun ve Çolakoğlu doğal frekansların önemine değinmiş, titreşim ve darbeye maruz kalan her malzemede doğal frekansların oluşabileceğini ve bunun sonucunda malzemenin dengesinde sönüm süresince bozulma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında değişik şekle ve alana sahip malzemelerde doğal frekansları serbest-serbest, bağlı-serbest, bağlı-bağlı ve iki tarafı mesnetli kenar koşullarında bir bilgisayarlı ölçme düzeneği kullanarak ölçmüş, ayrıca analitik yöntemle formülize ederek ilk üç titreşim modunu hesaplamışlardır. Buldukları tüm değerleri de birbirleriyle kıyaslamışlardır [25].

Aydoğan ve Özgüven bildiri çalışmalarında mekanik parçalarda oluşan çatlakların varlığının ve yerinin saptanması için geliştirilen yeni bir yöntem sunmuşlardır. Mekanik yapılardaki herhangi bir çatlağın, yapının doğrusal özelliğini bozmakta olduğunu dolayısıyla yapının titreşim testleriyle elde edilen dinamik esneklik değerlerinin, uygulanan harmonik kuvvetin genliğine bağlı olarak değiştiğini belirtmişlerdir. Çalışmalarında yapı elemanı olarak ankastre çubuk kullanarak, çatlağın varlığının ve yerinin tespit edilebildiğini belirlemişlerdir [26].

Bu tez çalışmasında, sürekli form baskı makinasına yapılan kestirimci bakım uygulaması incelenmiştir. Makina ünitelere ayrılarak, bu ünitelerde bulunan makina elemanlarının teknik özellikleri belirlenmiş ve makina elemanlarına ait titreşimlerin en sağlıklı alınabileceği noktalar belirlenmiştir. Alınan titreşimler zaman ve frekans tanım bölgelerinde incelenerek titreşimlere ait eğilimler belirlenmiştir. Alınan periyodik ölçümlerle tespit edilen arızaların takibi yapılarak, makina elemanının faydalı ömrünü kullanması beklenmiş gerektiğinde ise arızaya müdahale edilerek daha ciddi hasarlara yol açması engellenmiştir.

### 3. SÜREKLİ FORM BASKI MAKİNASI

Sürekliform baskı makinası matbaacılık sektörünün en önemli ve seri baskı makinalarındandır. Dört renkli, arkalı önlü, tek veya çift forma baskılar gerçekleştirebilmektedir. Bobinden bobine ve bobinden katlamaya baskı gerçekleştirebilmektedir. Resim 3.1 de görülen sürekliform baskı makinasının çalışma hızı saatte ortalama 700 d/d şaft hızında 18 000 adet dir.



Resim 3.1. Sürekliform baskı makinası

#### 3.1. Teknik Özellikler

Sürekliform baskı makinası 1200 cm x 150 cm x 110 cm ebatlarında, beton dolgu zemine monte edilmiş çelik raylar üzerinde montajlıdır. Tüm ünitelere güç iletimi, Resim 3.2 de görülen 83 KW güçte, hızı 0–2350 d/d aralığında fan soğutmalı bir doğru akım motoruyla sağlanmaktadır. Motordan alınan güç kayış kasnak sistemiyle makine boyunca uzanan ve birbirlerine flanş kaplin bağlantılarıyla bağlı şafta iletilir. Şaft ise Resim 3.3. de görüldüğü üzere her ünite üzerinde bulunan dişli kutularına aktardığı gücün ünitelere dağılmasını sağlamaktadır. Dişli kutularında elde edilen devirler merdanelere direk bağlı

olan düz dişli çarklar vasıtasıyla merdane ve kazanlara iletilir böylece tüm ünitelerde kâğıdı koparmayacak hassasiyette senkronize bir devir elde edilmiş olur.

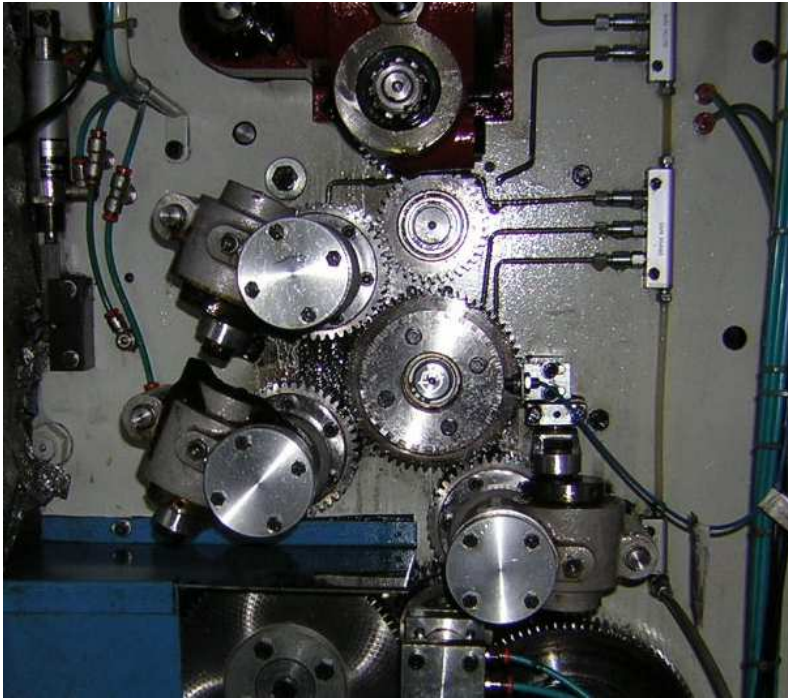


Resim 3.2. Ana motor



Resim 3.3. Şaft ve dişli çarklar

Makine genelinde muhtelif rulmanlar, dişli çarklar, dişli kutuları ve elik kazanlar kullanılmıştır. Makinada gerekli olan yağlama çoğu zaman otomatiktir. Boşaltma standının operatör tarafında bulunan bir merkezi yağ pompası, bütün baskı ünitelerine yağ dağıtır. şekil 3.4. de görüldüğü gibi bütün dişli düzenleri bu pompaya bağlı bir damlama sistemi ile yağlanır. Yağ pompası, makine ünitelerine verilen yağ miktarını belirleyen pimlerle çalışan bir zamanlama diskine sahiptir.



Resim 3.4. Yağlama sistemi damlalıkları

### 3.2. Ofset Baskı Tekniği

Günümüzde hemen hemen bütün gazeteler, dergiler, kitaplar vb. ofset tekniğiyle basılmaktadır. Sürekli form baskı makinaları da ofset baskı tekniği esaslarına göre tasarlanmış makinalardır. Ofset Baskı Tekniği aynı zamanda bir düz baskı sistemidir. Dilimize İngilizce OFF-SET kelimesinden geçmiştir. Matbaacılıkta boyanın kâğıttan önce kauçuk üzerine oturması anlamında kullanılır. Baskı teknikleri arasında en yenisi, ofset baskı tekniğidir. Bu teknik,

Alois Senefelder'in 1799'da bulduğu Litografi baskı (taş baskı) tekniğinin rafine edilmiş biçimidir.

Litografi tekniği, su ile yağın birbirleriyle karışmaması ilkesine dayanır. Basılması istenen imge, yağ esaslı bir mürekkep ile yüzeyi düzeltilmiş kireçtaşı üzerine çizilir. Daha sonra bir sünger yardımıyla su, arapzamlı ve asitten oluşan bir çözelti yüzeye uygulanır. Bu çözelti, imgenin bulunmadığı yağsız yüzeyler tarafından emilirken, imgeyi oluşturan yağ esaslı bölgeler tarafından reddedilir. Taş yüzeyine merdaneyle mürekkep verildiğinde ise bunun tam tersi gerçekleşir. Bu kez, bünyesinde yağ bulunan mürekkep, imgeyi oluşturan yüzeyler tarafından kabul edilirken, imgenin yer almadığı yağsız yüzeyler tarafından reddedilir. Mürekkeplenen taşın üzerine kâğıt konur ve imge, bir pres yardımıyla kâğıt üzerine aktarılır. Ofset Baskı Tekniğinde Kullanılan ofset baskı preslerinde üç silindir bulunur: Baskı kalıbını taşıyan kalıp silindiri, basılacak imgeyi kalıp silindirinden kağıda aktaran ve genellikle kauçuktan yapılan blanket silindiri ve kağıdı blanket silindirine sıkıştıran baskı silindiri. Pres çalışmaya başladığında, kalıp silindirinde bulunan kalıp ilk olarak nemlendirici silindirlerden geçerken hazne suyu ile ıslanır. Hazne suyu, kalıbın yüzeyinde imgenin bulunmadığı baskıya girmeyen yüzeyleri kapatırken, baskıya giren bölgeler tarafından reddedilir. Kalıp silindiri, ikinci aşamada mürekkep silindirleri ile karşılaşır. Bünyesinde yağ bulunan mürekkep, sulu çözelti ile kaplanmış yüzeylere bulaşmaz, sadece imgenin bulunduğu bölgeler tarafından kabul edilir. Mürekkeplenen imgeler, daha sonra kauçuk blanket silindirine geçirilir. Blanket silindiri üzerindeki görüntü, son aşamada kâğıda aktarılır.

### **3.3. Makina üniteleri**

Sürekli form baskı makinesi dokuz üniteden oluşan bir baskı makinesidir. Bu üniteler bir adet boşaltma (bobin), dört adet ofset (baskı), üç adet baskı sonrası ve bir adet karbon tatbik ünitesinden oluşmaktadır.

### 3.3.1. Boşaltma ünitesi

Boşaltma ünitesi veya boşaltma standı olarak adlandırılan ünite kâğıt bobinlerin monte edilerek baskıya hazır kâğıdın baskıya giriş yaptığı kâğıt bobinlerin sarf edilmek üzere bulunduğu ünedir. Ayrıca çift form baskı için ikinci bir bobin ünitesi makine ya dikey doğrultuda bağlıdır. Ünite, ağır kâğıt bobinlerin makineye yüklenmesi için bir hidrolik kaldırıcı vardır. Ayrıca bobini hava basıncıyla sıkıca kavrayan boşaltmanın kesin kontrolünü sağlayan hava destekli şaft bulunur. Tüm bu işlemlerin kontrol edildiği kontrol paneli, Rulo kaldırma kolunu, transfer merdanesini ve hava basıncını kontrol eder. Bobin boşaltma ünitesi Resim 3.5. de görülmektedir.



Resim 3.5. Boşaltma ünitesi

### 3.3.2. Ofset üniteleri

Ofset ünitesi Baskının yapıldığı kartuşların, mürekkeplerin, mürekkep ve kalıp merdanelerinin bulunduğu ünedir. Ünite iki yan duvarın iç kısmına

yerleştirilmiş olan kalıp ve kauçuk kazanları ve bunlara bağlı mürekkep-su merdane topluluklarından oluşur. Ofset üniteleri Resim 3.6. da görülmektedir.



Resim 3.6. Ofset üniteleri

Ofset ünitesini Mürekkep kanalı bölümü, nemlendirme bölümü ve baskı kartuşu bölümü olmak üzere üç ana bölümde inceleyebiliriz.

1- Mürekkep kanalı bölümü: Bu bölümde mürekkebin depo edildiği bir hazne, mürekkebin kâğıt üzerinde akışını kontrol etmek için bir mürekkep hazne bıçağı ve bu bıçak üzerinde mürekkep akış ayarı yapan 21 adet vidalı ayarlayıcı bulunur. Ayrıca miktarı ve akışı ayarlanmış mürekkebi dağıtan ve baskı merdanelerine ileten dağıtıcı merdaneler bulunur.

2- Nemlendirme bölümü: Kalıba su, alkol ve diğer bazı kimyasal katkılardan oluşan bir nemlendirme sıvısının uygulanmasını sağlayan bölümdür. Kuru ofset istendiğinde bu bölüm devre dışı bırakılarak baskı yapmak mümkündür. Hazne, hazne içinde dönen verici su silindiri, taşıyıcı silindir ve kalıba su verici merdaneden oluşur.

3- Baskı kartuşu bölümü: Kalıp kazanı, blanket kazanı ve baskı kazanından oluşan bölümdür.

Dağıtıcı merdanelerden gelen mürekkep kalıp kazanına gelerek kauçuk kaplı blanket kazanına mürekkep verir ve blanket kazanı kauçuktaki mürekkebi baskı kazanı üzerindeki kâğıda baskı olarak iletir kazan her devrinde aynı baskıyı sürekli form kâğıda tatbik ederek baskı gerçekleşir. Birkaç sentetik vargel ve bir o kadar da kauçuk vargel, boyanın ezilmesini sağlar. Çelik vargellerin içindeki soğutucular, mürekkep haznesindeki ısınmayı önler. Aksi halde çok hızlı dönen silindirler, aşırı derece ısındığı için, çabuk kuruma özelliğinde olan mürekkep kuruyabilir. Hassas ayarları el ile yapılır. Kalıba temas ettirilmesi veya kalıptan çekilmesi merkezi kumanda tablasından otomatik olarak yapılır.

### **3.3.3. Karbon ünitesi**

Karbon tatbik ünitesi makinanın opsiyonel bir parçasıdır. Kendi temeli üzerinde serbest duran bir ünedir. Ünite için güç, bir zamanlama kayışı ile panç ünitesinden alınır. Karbon ünitesinin, bobin boşaltma ve gerginlik kontrolü kâğıt bobin boşaltmasına benzer. Ancak bir karbon webin azami çapı 20 inç olduğu için, daha hafif ve boşaltma üzerindeki fren daha küçük ve basittir. Fren, bir hava pistonunun kontrol ettiği tek bir çeneden oluşmaktadır. Karbon kâğıdını normal kâğıda birleştirme işlemi, sıcak ya da soğuk tutkallama olmak üzere iki yöntemle yapılır. Soğuk tutkal kullanımı sürekli formlar için tavsiye edilmez, çünkü tutkal formlar katlayıcıya girmeden önce kurumayacaktır ve böylece katlama yerlerinde kırışıklıklara veya köprüleşmelere neden olacaktır. Ayrıca soğuk tutkaldaki su kâğıdın ya da karbonun uzunluğunu değiştirebilmektedir.

### 3.3.4. Baskı sonrası üniteler

Baskıdan gelen sürekli kâğıda aşağıdaki işlemlerin yapıldığı ünitelerdir. Bu işlemler;

- 1-Tıraşlama
- 2-Yarma
- 3-Dosya Perforasyon
- 4-Sıralı dosya deliği panç etme
- 5-İkili dosya deliği panç etme
- 6-Perforasyon

Yarıcı ünite, krom kaplı bir yarıcı (Anvil kazanı), Perforatör tekerleri, vakum üfleyicisi ve tıraşlama artıklarını küçük parçalara bölen bir tıraşlama toplama sisteminden oluşmuştur. Tıraşlama bıçakları sayesinde istenilen ince ayarda hassas olarak ofset kenarları tıraşlama yapılır. Panç işlemi ise ofset kenarlarına, optik okuyucularda kâğıt ilerleme hızının ve ilerleme miktarının hassas olması amacıyla delikler açılması işlemidir. Bu işlem ise kâğıt webin panç halkası ile karşılığı arasında işlenmesiyle gerçekleşir. Perforasyon, kâğıt webin istenilen yerden kolay koparılmasını sağlamak amacıyla perfore bıçakları ile işlenmesidir. Ünite üzerinde ölçü ayarı ve baskı ayarı yapılabilen perfore bıçakları mevcuttur.

Sarma ünitesi birkaç yönden boşaltma ünitesine benzemektedir. Baskı ve baskı sonrası işlemlerden geçen sürekli kâğıdın tekrar bir kâğıt bobine sarılarak istiflenmesini sağlayan ünite dir. Bobini tutmak için aynı hava shaftı çeşidine sahip ve bobin kaldırma kollarıyla donatılmıştır. Resim 3.5. de görülen katlama ünitesi kâğıdın bobine sarılmadan, katlanarak istif edilmesi istendiği durumlarda kullanılan ünite dir. Kâğıdın perfore edilmiş bölümlerinden katlanmasını sağlayan spiraller mevcuttur.



Resim 3.7. Katlama ünitesi

#### **4. KESTİRİMCİ BAKIM**

Makinaların gelişmesi ve otomasyona geçilmesi, endüstriyel makinaların bakım yöntemlerinde hızlı ve önemli değişimler göstermiştir. Günümüzün modern endüstri dünyası üstün teknolojiye yüksek verimli makinalardan oluşan tesisleri gerektirmektedir. Kritik bir makinanın üretim dışı kalması bütün üretim bandını, hatta tüm tesisi bile durdurabilmektedir. İşte bu gibi durumlar, bakımı çok kritik bir hale getirmekte ve bakım için harcanacak zamana karşı tolerans azalmaktadır. Beklenmedik arızalar hem üretim planını aksatır, hem de büyük maddi kayıplara yol açabilir. Bu nedenle de üretim maliyetini ve üretimin bakım nedeniyle durma süresini en aza indirmek için önlemler alınmaktadır.

Günümüzde bir tesisin düzenli ve çalışma sürekliliği, buna bağlı olarak da kazancı, çoğunlukla etkili bir bakım sistemine ve bakım ekibinin tecrübesine bağlıdır. Makinaların planlı, sistemli bir şekilde bakımı ve kontrolü üretim maliyetlerini azaltmakta büyük rol oynamaktadır. İşletmelerde uygulanan bakım yöntemlerini genel olarak bozulunca bakım, koruyucu bakım ve kestirimci bakım olarak sınıflandırmak mümkündür.

##### **4.1. Bozulunca Bakım**

Makinaya bozuluncaya kadar müdahale edilmeyerek, bozulması beklenir ve bozulan eleman yenisi ile değiştirilir. Bu bakım tekniği, yerine takılacak olan makine parçası pahalı değil ve bozulma başka arızalara sebep olmayacaksa uygulanabilir. Ancak makinaya arıza anında bakım yapıldığından, onarım esnasında üretim kaybı oldukça fazla olacaktır. Bütün bu dezavantajlarından dolayı günümüzde artık bu bakım yöntemi fazla tercih edilmemektedir.

## 4.2. Koruyucu Bakım

Bu bakım yönteminde, önceden belirlenen bir zaman periyodunda makina parçalarının bakım ve onarımları yapılmaktadır. Düzenli olarak makina üzerindeki bütün donanımlar gözden geçirilerek tespit edilen arızalar giderilmektedir. Arızaların çıkması beklenmemekte, periyodik olarak yapılan bakımların neticesinde olası arızaları engellemek hedeflenmektedir.

Bakım sabit aralıklarla yapılır. Bu aralıklar genellikle tecrübelerden istatistiksel olarak belirlenir. Bu metot beklenmedik arızaların sayısını azaltmasına rağmen ekonomik değildir. Çünkü arıza meydana gelmeden önlem amacıyla parçalar ömrünü tamamlamadan değiştirilmekte, bu ise gereksiz israfa yol açmaktadır [27].

## 4.3. Kestirimci Bakım

Diğer iki teknikten farkı, bakımın arızada veya bir bakım planı dahilinde değil de gerektiğinde yapılmasıdır. Titreşim, sıcaklık, ses ve yağ partikülleri gibi seçilen parametreler periyodik olarak ölçülerek makinanın durumu belirlenir. Bu ölçümler sürekli takip edilir ve bakım gerektiren bir durumla karşılaşıldığında makine bakıma alınır, yakın zamanda oluşması muhtemel arıza giderilir. Aynı zamanda, yapılan ölçümlerden makinenin durumunun kabul edilebilir çalışma sınırlarını ne zaman aşacağına tahmin edilmesine de çalışılır. Bu yüzden kestirimci bakım (veya erken uyarıcı bakım) olarak da adlandırılmaktadır. Bakım metotları içerisinde ilk yatırım ve uygulama maliyetleri içermesine rağmen kestirimci bakım iyi bir alternatif olarak gösterilebilir. Ancak özellikle can güvenliği içeren ve pahalı sistemlerde ilk yatırımın kısa zamanda kendini amorti edeceği unutulmamalıdır [2]. Kestirimci bakımın üretim akışı ve verimliliğe birçok faydası vardır. Bakım giderleri %50-%80 arasında azalır. Bakım yönetiminin verimliliği üzerine yapılan son araştırmalar, bakım masraflarının 1/3'ünün gereksizce yapılan

veya zamanında yapılmayan bakımlar sonucu israf edildiğini göstermiştir [22].

Etkili bir kestirimci bakım uygulaması için temel prensipler aşağıdaki gibi olmalıdır

- İşletmede kestirimci bakım dahilinde takip edilecek makineler listelenir ve kritiklik derecesi verilir.
- Her makine için ölçüm türü, ölçüm noktası ve ölçüm yönü belirlenir. Ölçüm noktalarına makine üzerinde işaret konur.
- Her ölçüm için geçerli frekans aralığı, alarm ve arıza limitleri belirlenir.
- Her makinenin basit bir çizimi yapılır ve makine özellikleri belirlenir, varsa o güne kadar makinenin çıkardığı arızalar gözden geçirilir, gerekli notlar alınır.
- Her makinenin temel ölçüm (referans) değerleri alınır.
- Ölçüm periyodu belirlenir.
- Makine isimlendirilip kodlanır. Ölçüm turları düzenlenir.

Kestirimci bakım tekniklerini genel olarak, termografi (ısı analizi), yağ analizi ve titreşim analizi olarak üç grupta sınıflandırmak mümkündür.

#### **4.3.1. Termografi**

Termografi, kızıl ötesi ısı ölçüm yöntemi olarak tanımlanabilmektedir. Çeşitli sistemlerdeki sıcak bölgelerin izlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Termografi, sıcak bölgelerin fazla olduğu enerji santralleri, fırınlar ve boyler gibi çeşitli ısıtma sistemlerinde tercihen kullanılır. Sıcaklıklardaki değişimler, ölçüm cihazları ile tespit edilir. Bu değişimlerin eğilim analizleri yapılır. Sistemin çalışmasını engelleyecek ve hasar verecek bir sıcaklık sınır seviyesi önceden tespit edilmektedir. Sıcaklık verilerin bu sınır seviyeye yaklaşması tespit edildiğinde, bir bakım programı hazırlanarak planlanan bir zaman zarfında sisteme müdahale edilir [5].

#### 4.3.2. Yağ analizleri

Hareketli makina parçalarında yağlamanın önemi büyüktür. Temas yüzeyleri arasındaki yağlayıcının analizi, kestirimci bakımda oldukça önemlidir [28]. Yağlayıcı analizleri, kendi aralarında Elemanter Analiz, Durum Analizi, Kirliliklerin İzlenmesi ve Ferrografi olarak üç gruba ayrılmaktadır. Yağ analizi sonucunda, yağın fiziksel ve kimyasal özellikleri yağ içerisindeki partiküllerin sayısı ve büyüklüğü ve yağ kirliliği gibi parametreler analiz edilerek muhtemel arıza hakkında yorumlar yapılabilmektedir.

#### 4.3.3. Titreşim analizi

Dönel makinalardaki arızaları belirlemede en etkili olan titreşim analizidir [29]. Diğer analizler buna ek olarak yapılabilir. 1980'li yıllardan sonra uygulaması iyice yaygınlaşan titreşim analizi ile kestirimci bakım çok etkili bir yöntemdir. Bu yöntemde programa alınan makinelerin titreşimleri periyodik olarak ölçülür, analiz edilir. Geçmiş veriler de kullanılarak titreşimdeki değişimler izlenerek eğilimler belirlenir. Titreşim seviyeleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde ise muhtemel arıza zamanı hakkında kestirim yapılabilir fakat kabul edilebilir sınırların dışarısında ise makine hemen bakıma alınarak parça değişimi gerekiyorsa yapılır ve arıza giderilir.

Titreşim analizi, endüstride çok yaygın olarak kullanılan bir kestirimci bakım uygulamasıdır. Titreşim, hareketli sistemlerin çalışmaları esnasında sistemi oluşturan parçalardaki düzensiz hareketler neticesinde ortaya çıkan bir olgudur. Eksenel kaçıklık, yatak ve dişli hataları, dönen parçalardaki balanssızlık, eğik miller, kavrama ve yataklardaki ayarsızlıklar, hatalı (eksantrik) montajı yapılmış dönen parçalar, zamanla hassasiyetini kaybetmiş yataklar, hidrolik ve aerodinamik kuvvetler belli başlı titreşim doğuran etkenler olarak sıralanabilir [30]. Titreşim, bir makinadaki mekanik arızanın varlığını önemli derecede ifade edebilme özelliğine sahiptir. Hareket

halinde, bütün makinalar ve donanımlar titreşir. Makinanın sıhhatli çalışma durumunun tespiti için titreşimden faydalanılabilir. Burada önemli olan hangi titreşim değerlerinin normal, hangi değerlerin anormal olduğunun bilinmesi gerekliliğidir. Bu amaçla değerlendirilecek olan iki parametre, titreşimin frekansı ve genliğidir. Bir makinada titreşim problemlerinin incelenmesindeki en önemli parametre, titreşim frekansıdır. Titreşime neden olan kuvvet, makina parçasının dönmesi esnasında belirli bir frekansla sistemi etkilemektedir. Sistemde her mekanik sorun, ayrı bir frekans oluşturmaktadır. Yapılan analizlerde, her frekans türünün hangi problemten kaynaklandığı tespit edilmeye çalışılmaktadır.

## 5. TİTREŞİM ANALİZİ İLE KESTİRİMCİ BAKIM

Titreşim analizi ile kestirimci bakım uygulamasının temeli, makinaların titreşimlerinin ölçülmesi ve hesapla belirlenen arıza frekanslarının ölçülen titreşim değerlerinde olup olmadığının, varsa şiddetinin kabul edilebilirlik sınırları içinde kalıp kalmadığının analizinden oluşmaktadır [14].

Bu bakım metodunda, makinelerden ölçümler alınarak onların sağlığının takip edilmesi ve gerektiğinde bakımın yapılması öncelikli amaçtır. Kestirimci bakım son ölçüm ve geçmiş ölçümleri bir bütün içinde eğilim çözümleme yöntemi ile değerlendirerek gelecekte çıkacak olası arızayı belirler. Buna “*Eğilim Analizi*” denir. Makinaları, çalışmalarını engellemeden takip ederek durumlarını izleme imkânı sağlayan bu yöntem, önlenabilir duruşları ortadan kaldıracak gibi, ömrünü tamamlamamış parça değişimlerini de önlemektedir. Arıza çıkacak nokta önceden algılanabildiğinden, geleceğe yönelik bir bakım onarım programı oluşturulabileceği gibi, ani duruşlara neden olan, arızalar da ortadan kaldırılabilir. Kestirimci bakım programı üç adımdan oluşur: Tespit, Analiz ve teşhis, düzeltme (bakım-onarım).

### 5.1. Tespit

Bakım programının ilk adımı problemin belirlenmesidir. Bu, makinenin titreşim seviyesini takip etmek ve bir artış olduğunda bu artışın neden kaynaklandığının araştırılması ile olur. Program dâhilindeki bütün makineler bu yöntemle periyodik veya sürekli olarak izlenmelidir. Makinalar, kritikliğine göre farklı periyotlarda izlenmeli, çok kritik makineler ise sürekli olarak takip edilmelidir. Titreşim ölçümleri bir veri toplayıcı cihaz ile yapılır. Veri toplama cihazı ile uyumlu çalışan program kullanılarak ölçümü yapılacak makineler için tur oluşturulur. Kritik makinelerden, belirlenen nokta ve pozisyonda cihaz ile ölçümler alınır. Bilgisayar destekli uygulamada ölçümler cihaz hafızasında saklanır. Veri toplayıcı cihaz bilgisayara bağlanır ve hafızada saklanan bilgiler ölçüm turu sonunda bilgisayara aktarılır. Bilgisayar eğilim izleme

grafiklerini kendisi çizer ve istenirse kritik noktaları çok kısa bir sürede çıktı olarak sunar. Titreşim değerlerindeki bir artış bir arıza başlangıcı olabilir. Bu yüzden her artışın sebebi araştırılmalıdır. Çok kritik makinelerde (buhar ve gaz türbinleri, yüksek devirli santrifüj pompalar gibi) problemler çok çabuk oluşur ve herhangi bir uyarıya zaman kalmadan makine bozulabilir. Bu tip makinelerde otomatik sistemlerin kullanılması daha doğru bir uygulamadır.

## 5.2. Analiz ve Teşhis

Titreşim ölçülüp, problem teşhis edildikten sonra neden kaynaklandığını anlamak için analiz yapılır ve problemin asıl sebebi teşhis edilir. Bu da arızanın titreşim karakteristiğini inceleyerek yapılır. Günümüzde kullanılan titreşim ölçüm cihazlarının hemen hepsi zaman tanım bölgesi titreşim sinyallerini frekans tanım bölgesine dönüştürüp hafızada saklama özelliğine sahiptirler. Hem zaman tanım bölgesi, hem de frekans tanım bölgesi titreşim sinyalleri incelenerek arızanın kaynağı belirlenir. Ayrıca titreşim eğilim grafikleri yardımıyla arızanın gelişimi analiz edilerek muhtemel arızaya düzeltme (bakım onarım) kestirimi yapılmaya çalışılır.

## 5.3. Düzeltme

Analiz basamağında belirlenen arıza, işletme çalışma programına bağlı olarak değerlendirilir ve işletme şartlarına en uygun zaman için bir bakım planı programlanır. Gerekli yedek parça, onarım için kullanılacak alet ve edevat önceden hazırlanır. Teşhis olayı arıza çıkmadan önce gerçekleştirildiğinden zaman kaybedilmeden arızalı noktaya ulaşılır ve hazırlanan parça değişimi ve bakım gerçekleştirilir.

Bir işletmede kestirimci bakım programının uygulanması ile elde edilecek yararlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Duruşlar arası sürenin uzaması: Bu durum üretimin artmasına ve bakım masraflarının düşmesine sebep olur.

2. Beklenilmeyen arızaların ortadan kalkması: Güvenirliliğin ve üretimin artmasına neden olur.
3. Zamanında teşhis edilmeyen bir arızanın başka bir arızaya sebep olması önlenir.
4. Yedek parça stoklarının azalması
5. Onarım süresinin kısalması
6. Teşhis için zaman harcanmaması, teşhisin önceden yapılması
7. Makine ömrünün uzaması
8. Ürün kalitesinin artması
9. İşletme güvenliğinin artması
10. Gürültü seviyesinde düşüş
11. Malzemedен tasarruf
12. Gerekli malzeme temininde planlı çalışma

## 6. TİTREŞİMİN ÖLÇÜLMESİ VE ANALİZİ

Tesislerde kestirimci bakım programı kurulması sürecinde yapılması gereken ilk iş üretime doğrudan ya da dolaylı olarak katılan tüm makina ve teçhizatın bir dökümünün çıkarılması ve her birinin tek tek kritiklik sınıflandırılmasına tabi tutulmasıdır. Sınıflandırılması yapılan makinalar, makina tanıtım kartlarına teknik özellikleri ve kritiklik seviyelerine göre belirlenmiş olan ölçüm periyotları işlenerek kestirimci bakım programına alınırlar. Ölçüm periyotları belirlenen makinaların, titreşim ölçüm cihazları ile önceden belirlenmiş olan noktalardan titreşimleri ölçülür. Kestirimci bakım uygulamalarında önceki ölçümleri ve yeni ölçümü istatistiksel yöntemlerle değerlendirerek sonuç üretmek gerekmektedir. Bunun için önce makinanın işletmeye yeni alındığı zamanki titreşim ölçümü, eğer bu mümkün değilse izlenmeye başlandığındaki ilk ölçüm kaydedilmelidir. Bu ilk ölçüm referans ölçüm olarak kabul edilerek, sonraki ölçümlerle sürekli karşılaştırma yapılmalıdır.

Titreşimlerin ölçülmesi ve analizlerinin yapılabilmesi için günümüzde çok çeşitli cihazlar mevcuttur. Elektronik ve bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ile birçok işlevi üzerinde bulunduran yazılımlarla da donatılmış titreşim cihazları mevcuttur. Bu cihazlarla titreşim analizi yapılabilmesi için, titreşim sayısı (frekans), titreşimin genliği ve titreşim genliği ile zorlayıcı kuvvet arasındaki faz farkı ölçülebilmektedir.

Titreşim frekansı, bir makinede titreşim probleminin incelenmesinde en önemli bilgilerden biridir. Titreşimin frekansı, bir makina üzerinde belli noktalara (yatak, kavrama, mil vb.) konulmuş olan titreşim ölçüm cihazları ile Hz veya d/d birimlerinde tespit edilir. Makine üzerinde bulunan parçaların her birinin çalışması, karakteristik frekanslarda titreşim oluşturarak sistemi etkiler. Ayrıca sistemde oluşan her mekanik arıza da ayrı bir titreşim frekansı oluşturmaktadır. Yapılan analiz çalışmalarında, her frekans türünün hangi problemten ve nereden kaynaklandığı belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu işleme spektral analiz de denilmektedir. Spektral analiz, makine titreşimlerinin

frekanslarına göre genliklerinin incelenerek, arıza kaynaklarını tanımlama yöntemi ile arızaların başlangıcından itibaren gelişimini inceler ve doğru zamanda müdahale edilmesini amaçlar [4].

Frekans değerine karşı gelen titreşim genliği, ayrıca değerlendirilir. Frekans arızanın kimliği olarak düşünülürse titreşim genliğini de arızanın şiddeti veya seviyesi olarak ifade edebiliriz. Titreşim genliğinin değerlendirilmesi, yer değiştirme, titreşim hızı ve ivme birimlerinde yapılmaktadır. Yer değiştirme terimi, oluşan titreşimin tepe noktaları arasındaki aralığın boyutu ( $\mu\text{m}$ ) olarak ifade edilmektedir. Titreşim hızı ( $\text{mm/s}$ ) ise, sürekli değişerek minimum ve maksimum değerleri almaktadır. Değerlendirmede maksimum değeri dikkate alınmaktadır. Titreşim ivmesi ( $\text{mm/s}^2$ ) ise, titreşim hızının değişme hızı olarak da tanımlanabilmektedir [5].

Ölçüm sonuçları spektrum ve dalga form grafikleri olarak görüntülenebildiği gibi, titreşim ölçümlerinin değerlendirilmesinde en genel olanı o ölçüm noktasına ait geçmişe dönük ölçümlerin hepsini bir şekil üzerinde görüntülemek ve oluşan farklılıkları hemen görmektir. Bu hem spektrum hem de dalga form grafikleri için yapılabilmektedir. Bir diğer değerlendirme yöntemi ise arıza frekanslarına ait titreşim seviyelerinin zaman ile değişiminin gözlemlendiği eğilim grafikleridir. Eğilim grafiklerinin, gelişmekte olan arızanın önem derecesinin belirlenmesinde etkinliği vardır. Titreşim genliğindeki artış hızı, arızanın ciddiyetini belirlemede önem taşır.

### 6.1. Titreşim Parametreleri

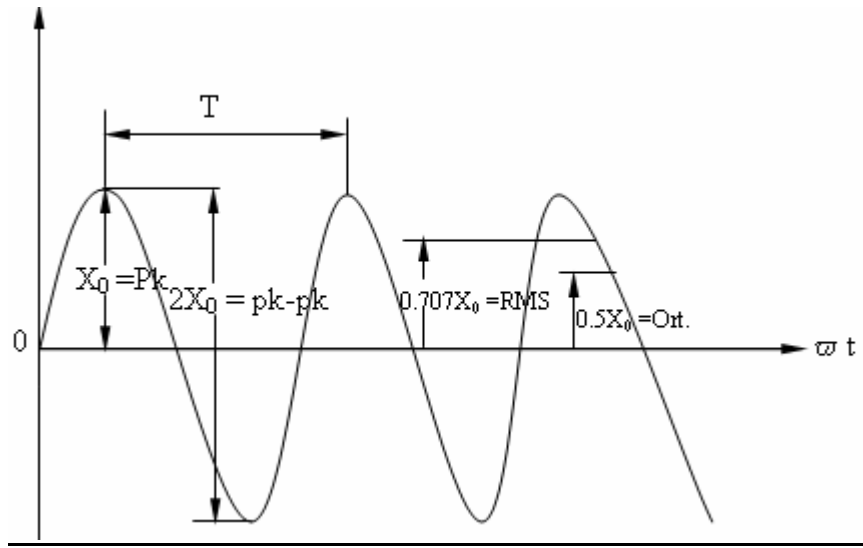
Çalışmanın bu bölümünde, titreşim analizinde kullanılan titreşimle ilgili terimler ve titreşim parametreleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

En basit titreşim çeşidi harmonik titreşimdir. Harmonik titreşimde yer değiştirme ile zaman arasındaki ilişki şu ifade ile belirtilebilir:

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

Burada  $X_0$  yer değiştirme genliğidir. Harmonik titreşim ve parametrelerin gösterimi şekil 6.1.de verilmektedir. Titreşim hareketinde titreşimi belirleyen başlıca parametreler periyot ( $T$ ), frekans ( $f$ ), açısal frekans ( $\omega$ ), faz( $\Phi$ ) ve yer değiştirme genliği ( $X$ ) dir.

#### Periyot ( $T$ )



şekil 6.1. Harmonik titreşim ve parametreleri

Titreşim hareketinin bir tam tekrarının ne kadar süre içinde gerçekleştiğinin ölçüsüdür. Yani titreşimin tekrarlanma süresi olup, birimi saniyedir.

#### Frekans ( $f$ )

Titreşim hareketinin birim zamanda tekrarlanma sayısıdır. Frekans üç değişik şekilde ifade edilebilmektedir:

Titreşim hareketinin bir saniye süre içinde tekrarlanma miktarıdır. Birimi Hertz (Hz)'dir.

Titreşim hareketinin bir dakika süre içinde tekrarlanma miktarıdır. Birimi RPM (Revolution per minute) olarak alınır.  $RPM/60 = Hz$  olarak dönüşüm yapılabilir.

Titreşim sinyalinin, o sinyale neden olan birincil hareketin dönme devrinin hangi katlarında meydana geldiğinin ölçüsüdür. Birimi kat olan bu bağıl hareket, titreşimin ölçüldüğü yatak içinde dönen milin dönüş devri katları ile, titreşim sinyalinin tekrarlanma frekanslarının çakışıp çakışmadıklarını ifade eder. Örnek olarak, dengesizlik sinyali milin dönme devrinin tam bir katında oluşur. Periyot ile frekans birbirlerinin tersi olan terimlerdir. Buna göre  $f=1/T$  ve  $T=1/f$  olarak alınır.

#### Açısal frekans ( $\omega$ )

Dönme hareketi yapan bir cismin birim zamanda kat ettiği yolun (taradığı açının) radyan cinsinden değeridir. Birimi rad / s dir,  $\omega = 2 \pi f$  ile ifade edilir.

#### Faz ( $\Phi$ )

Referans ya da başlangıç miktarına bağlı olarak iki olaydan birinin diğerine göre ne kadar önce veya sonra meydana geldiğinin ölçüsüdür. Birimi açı birimi, derece veya radyandır.  $0-360^\circ$  veya  $0-2\pi$  arasında değerler alır.

#### Genlik

Titreşimin şiddetini ifade eder. Eğri üzerindeki sıfır noktası ile tepe noktası arasındaki veya maksimum ve minimum tepe noktaları arasındaki mesafedir. Birimi uzunluk boyutundadır. Genlik tepe değer, tepeler arası değer, RMS, ortalama olmak üzere dört şekilde ifade edilebilir.

#### Tepe değer ( $X_0$ )

Sıfır noktasından tepe noktaya olan uzaklık, sinyalin bir yönde eriştiği maksimum değerdir.

### Tepeler arası değer ( $2X_0$ )

Sinyalin maksimum tepeden minimum tepeye kadar aldığı değerdir.

### RMS

Bir sinyalin  $t_1$ - $t_2$  zaman aralığında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının kareköküdür.  $RMS = 0.707 \times \text{Tepe değeri}$  ifadesi olarak hesaplanır ve RMS ile Tepe değeri arasında dönüşüm yapılabilir.

### Ortalama

Bir sinyalin  $t_1$ - $t_2$  zaman aralığında aldığı değerlerin aritmetik ortalamasıdır.  $\text{Ortalama} = 0.5 \times \text{Tepe değeri}$  ifadesi ile elde edilir. Titreşim genlik birimleri yer değiştirme, hız ve ivme birimlerinden birisi olabilir.

### Yer değiştirme

Bir kuvvetin etkisi altında kalan kütlenin, sıfır noktasına veya belli bir referans noktasına göre ötelenmesi sonucunda aldığı yol veya yer değiştirme miktarıdır. Birimi uzunluk boyutundadır.

### Hız

Birim zamanda alınan yoldur. Matematiksel olarak yer değiştirmenin zamana göre değişimidir. Birimi m/s, mm/s, mikron/s, inç/s, mil/s olabilir.

### İvme

Hızda birim zamanda meydana gelen değişimdir. Birimi g's,  $m/s^2$ ,  $mm/s^2$ ,  $mikron/s^2$ , inç/s<sup>2</sup> olabilir.  $g's = 9.81 m/s^2$  dir.

### Rezonans ve Kritik Hız

Rezonans, bir cismin doğal frekansında uyarılması durumunda ortaya çıkan durumdur. Her cismin doğal frekansı vardır. Şayet cisim doğal frekansında uyarılırsa, cisim çok düşük bir uyarı düzeyiyle çok yüksek titreşim seviyelerinde titreşir ve cisim tamamen tahrip olabilir. Makine elemanları, farklı çalışma hızlarında farklı frekanslar üretirler. Bu çalışma frekanslarının makine elemanına ait doğal frekanslarla çakışması durumunda makine elemanını tahrip edebilecek seviyelerde rezonans frekansları oluşabilmektedir. Rezonansa sebebiyet veren bu çalışma hızlarına kritik hız denir ve makine elemanı mümkün olduğu kadar bu hızlarda çalıştırılmamalıdır.

## **6.2. Analiz Teknikleri**

Hata tespiti için kullanılan sinyal analiz yöntemleri temel olarak üç alanda incelenebilir, bunlar; zaman tanım bölgesi analizleri, frekans tanım bölgesi analizleri ve zaman/frekans tanım bölgesi analizleridir.

### **6.2.1. Zaman tanım bölgesi analiz teknikleri**

Hata oluşumuyla birlikte titreşim sinyalinin yapısı ve genlikleri değiştiği için zaman tanım bölgesi teknikleri genellikle çalışma ömrü boyunca sürekli takip edildiğinde anlam kazanır. Bu yöntemlerin sonucunda genellikle tek bir sayısal değer elde edildiğinden bu yöntemlere skaler göstergeler adı verilir. Titreşim genliği, karelerin ortalamasının karekökü, crest faktörü ve kurtosis zaman tanım bölgesi analiz tekniklerindendir.

### Titreşim genliği

Titreşim genliğinin zirveleri arasındaki genliğin ölçülmesi ile dönel makinaların sağlık kontrolü yapılabilir. Bu değerin tek başına ölçümü arıza anlamına gelmeyebilir, çünkü farklı makinalarda titreşim seviyeleri farklıdır. Ayrıca titreşimden kaynaklanan genliklerin makinadaki hangi elemana ait olduğunun da bilinmesi gerekir.

### Karelerin ortalamasının karekökü

Karelerin ortalamasının karekökü (KOK), ortalaması sıfır olan bir salınımın standart sapması anlamına gelmektedir. Diğer bir deyişle salınımın RMS değeri de denilmektedir. Titreşim sinyalleri incelenirken titreşim seviyesini takip etmek yerine KOK değerini takip etmek birçok durumda daha iyi sonuçlar vermektedir. Örneğin toplanmış sinyal içerisinde bir tane yüksek seviyeli darbeler oluşabilir, bu durumda sinyalin titreşim genliğinin büyük olmasına karşın KOK değeri çok fazla değişmeyecektir. Aynı darbe ardışık titreşim sinyallerinde gözlenmediğinde titreşim genliğinde oluşan bu farklılık hatanın tespitinde gecikme ve/veya tespit edilememesine yol açabilir [19].

### Crest faktörü

Crest faktörü zaman sinyalindeki en büyük genliğin KOK' ya oranıdır. Crest faktörünün amacı zaman sinyalinde ne kadar darbe içeriği olduğunu tespit etmektir. Crest faktörü periyodik davranış içerisindeki darbelerin fazlalığını temsil ettiği için rulman hatalarının dengesizlik gibi hıza bağlı periyodik davranışlarından ayırt edilmesinde kullanılır [19].

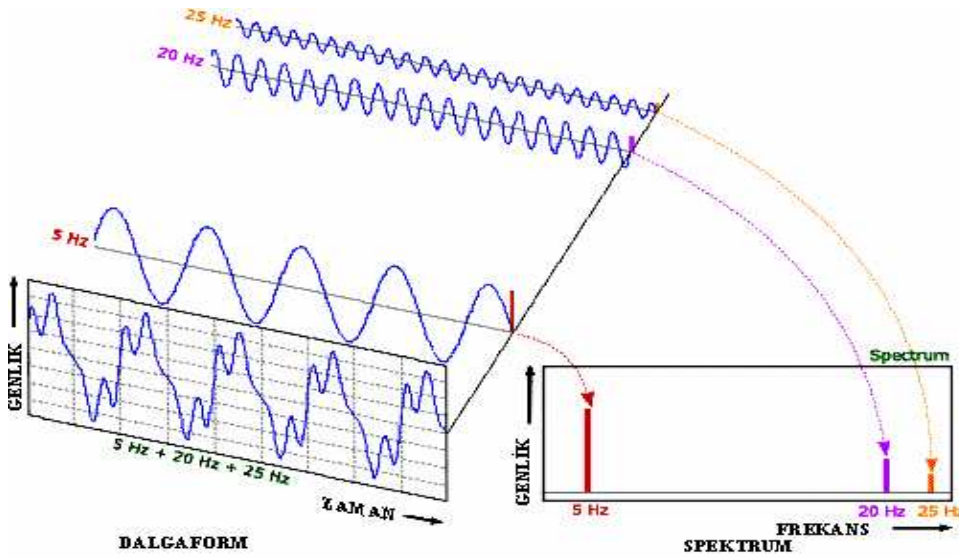
### Kurtosis

Kurtosis de Crest faktörü gibi sinyalin darbe içeriğini tespit eder. Ancak Kurtosis  $(\text{genlik})^4 / (\text{KOK})^4$  olarak tanımlandığından darbe içeriğine daha

hassastır. Kurtosis gibi skaler göstergelerin çalışma süresince gösterdiği eğilim rulmanın ömrünün kestirilmesinde de kullanılabilir [19].

### 6.2.2. Frekans tanım bölgesi analiz teknikleri

Frekans tanım bölgesi, titreşim sinyallerinin frekans içeriğini incelemek için kullanılır. Zaman sinyalinin Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) analizi ile frekans bileşenlerine ayrılmasıdır. HFD ile yapılan frekans dönüşümüne frekans spektrumu denir. Şekil 6.2. de frekans spektrumunun oluşumu görülmektedir.



Şekil 6.2. Zaman-Frekans dönüşümü

#### Spektrum analizi

Her tür sinyal farklı frekans, genlik ve faz açılarına sahip sinüsoidler toplamı şeklinde ifade edilebilir. Bu sinüsoidlerin ayrı ayrı genliklerini hesaplamak için kullanılan matematiksel dönüşüme Fourier Dönüşümü (FD) adı verilir. Fourier dönüşümüyle zaman tanım bölgesindeki sinyal, frekans bileşenlerine ayrılmış olur. Ayırık fourier dönüşümünün dijital bilgisayarlarda daha hızlı çalışan algoritmasına da Hızlı Fourier Dönüşümü denir.

Spektrum içerisindeki her frekans bileşeni makine ile ilgili titreşim bileşenlerine eşlenebileceği için hem anlık analiz yapmada hem de titreşimlerin zaman içerisindeki davranışını görmede oldukça faydalıdır. Dönel makinaların arızalarının tespitinde en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Diğer taraftan spektrum fazla miktarda bilgi içerdiğinden tecrübeli olmayan kişiler tarafından değerlendirilmesi mümkün değildir. Ayrıca titreşim verilerinin ölçülmesi sırasındaki parametreler ve sinyal kalitesi spektrumu oldukça etki eder.

### **6.2.3. Zaman/frekans analizi teknikleri**

Zaman/frekans analizi teknikleri sinyalin frekans dağılımının zamana bağlı olarak gösterilmesi, dolayısıyla zaman tanım bölgesindeki bilgilerin de kaybolmamasını sağlar.

#### *Campell diyagramı*

Dönel makinaların titreşim sinyalleri incelendiğinde spektrumun makinanın dönüş hızı ile değiştiği görülebilir. Bu değişimi gözlemenin en iyi yolu 3 boyutlu spektral harita oluşturulmasıdır [19]. Böyle bir grafikte üçüncü eksen şaft dönüş hızı veya zaman olabilir. Üçüncü eksenin devir/dakika biriminde şaft dönüş hızı olduğunda bu tip grafikler bazen Campell diyagramı olarak adlandırılırlar.

#### *Kısa zaman fourier dönüşümü*

Kısa Zaman Fourier Dönüşümü (KZFD) sinyalin zamana bağlı spektrumunu verir. KZFD hesaplanırken zaman sinyali üzerindeki bir kısım, sinyal penceresinden geçirilerek HFD alınır ve bu pencere zaman boyunca ilerletilerek işlem tekrarlanır. Böylece frekans içeriğinin değişimi zamana bağlı olarak elde edilmiş olur. KZDF etkili bir teknik olmasına rağmen kullanımı oldukça zordur.

### Dalgacık (wavelet) analizi

Dalgacık analizinde belirli bir zaman diliminde ortalaması sıfır olan daha önce tasarlanmış olan bir dalgacık kullanılır. Bu dalgacık Fourier analizindeki sinüs dalgası gibi düşünülebilir, fakat dalgacık sinüsün aksine belirli bir zaman aralığında gerçekleşir. Fourier analizi, zaman sinyalinin çeşitli frekanslardaki sinüslere ayrılması şeklindedir. Benzer şekilde dalgacık analizi de sinyalin seçilen orijinal dalgacığın ötelenmiş ve ölçeklenmiş şekillerine ayrıştırılması anlamına gelir [19].

## 7. ARIZALAR VE TİTREŞİM KARAKTERLERİ

Titreşim, bir cismin denge konumu etrafında yaptığı salınım hareketleridir. Titreşim genellikle istenmeyen bir durumdur. Çünkü makinenin görevini zorlaştırır, hattâ bazı durumlarda rezonans oluşturarak makinenin tahrip olmasına sebep olabilir. Makineler tasarlanırken, titreşime sebep olabilecek iç ve dış kuvvetlerin mümkün olduğu kadar küçük olması istenir. Bu kuvvetler metal yorulmasına, çalışan parçalar arasındaki boşluğun artmasına, aşınmalara, çatlaklar oluşmasına, dönen elemanlarda dengesizliğe, yataklarda bozulmalara v.s. sebep olurlar. Diğer taraftan tüm bu bozulmalar titreşimi oluşturan veya şiddetini artıran unsurlardır.

Her makine elemanının titreşimi kendine özeldir. Bu prensipten yola çıkılarak titreşim analizi makinelerin durumu hakkında bilgi edinmede etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle 1970'li yıllardan sonra bu alanda büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Sanayide yaygın olarak kullanılan dönen elemanlarda oluşan arızaların belirlenmesinde titreşim analizi verimli bir şekilde uygulanmaktadır. Makinelerde yataklara temas sağlayıcı elemanlar dokundurup, makinede olanları, çıkan sesi kulakla dinleme yoluyla öğrenme işi eskiden beri bakım personeli tarafından kullanılmaktadır. Daha sonraları bu işi geliştiren bazı ustaların makineyi stereoskop ile dinledikleri de bilinmektedir. Yani zamanın şartlarına göre titreşim bilgisinden makine durumu hakkında bilgi edinmede yararlanılmaya çalışılmıştır.

Arızalar belirli frekanslarda titreşim üretirler. Bu frekansların bilinmesi sayesinde, makinalardan ölçülerek elde edilen titreşim grafiklerindeki arıza frekansları belirlenerek arızanın ne olduğu ve hangi seviyede olduğunu belirleyebiliriz. Dengesizlik, eksen kaçıklığı, gevşeklik problemleri için devir sayısının katlarına bağlı olan frekans bilgilerinden yola çıkarak arızaya karar verebiliriz. Dişli ve rulman arızaları için ise diş sayısına, mil devrine ve rulman geometrisine bağlı olan arıza frekansları hesaplanmaktadır. Bu bölümde arızalar ve oluşturdıkları karakteristik frekans bileşenleri incelenmiştir.

Arızalar genel olarak aşağıdaki gibi gruplandırılır;

- Dengesizlik
- Eksenel ayarsızlık
- Dişli arızaları
- Rulman arızaları
- Mekanik gevşeklik, boşluk

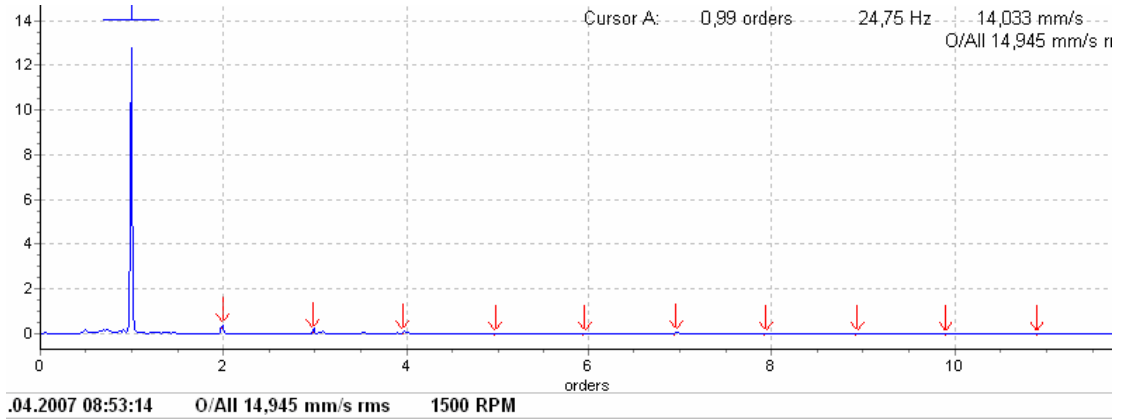
Arızalar ve oluşturdıkları belirgin titreşim frekansları EK–4 de tablo halinde verilmiştir.

### 7.1. Dengesizlik

Dönen makine elemanlarında, elemanın dönme merkezinin ağırlık merkezinde olmaması durumuna dengesizlik denir. Dengesizlik, makinelerde görülen en yaygın titreşim şeklidir. Teorik olarak, mükemmel dengelenmiş bir makinede hiç titreşim oluşmaz. Pratikte mükemmel olarak dengelenmiş makine yoktur. Tüm makineler az seviyede de olsa dengesizdirler. Genel olarak dengesizlik nedenlerini;

- Elemanlardaki malzemenin homojen olmaması.
- Parçanın geometrik olarak simetrik olmaması.
- Çalışma şartlarında meydana gelen ısı genleşme, korozyon, aşınma, madde birikimi, v.s.
- Montajın balans şartlarına eş değer şartlarda yapılamaması.
- Kaymalı yatakların eksantrik monte edilmesi sonucunda, geometrik merkezin dışında bir merkez etrafında dönüş olarak gösterebiliriz.

Dengesizlik, Şekil 7.1. de görüldüğü gibi spektrum grafiğinde mil dönme hızında (1X) bir tepe oluşturur. Dalga formu periyodik, basit, vuruntusuz ve sinüs deseni şeklinde oluşur [31]. Titreşimin genlik değeri dengesizlik arttıkça yükselme eğilimi gösterir. Dengesizlik olduğu takdirde, düşey, yatay ve eksenel yönde, şaft dönme devri frekansında bileşenler görülür.



Şekil 7.1. Dengesizlik spektrum grafiği

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

#### 7.1.1. Tek düzlem dengesizliği

Spektrum grafiğinde baskın olan 1X titreşim frekansı oluşur. Yalnızca bir nokta dengesiz olduğu için, rotorun her dönüşünde yalnızca bir işaret oluşur. Spektrum grafiği diğer arızalar ile ilgili frekansları da içerir. Dengesizlik çok yönlü olduğu için makina yatağının düşey ve yatay yönlerinde görülür. 1X'in gerçek genliği düşey ve yatay yönlerde, genellikle aynı değildir ve yüksek seviyelerdedir. Düşey ve yatay yönlerdeki fark, yatakların katılığından kaynaklanmaktadır. Genellikle yatay düzlem daha hareket serbestisine sahiptir, bu yüzden düşey düzleme göre 1X' de görülen yer değiştirme daha büyüktür.

#### 7.1.2. Çok düzlem dengesizliği

Çok düzlem dengesizliği mil dönme hızının çoklu harmoniklerinde frekanslar oluşturur. Harmoniklerin gerçek sayısı dengesiz noktaların sayısına, dengesizliğin şiddetine ve dengesiz noktalar arasındaki faz açısına bağlıdır. Örneğin dört noktasından dengesiz bir makinede ölçülen titreşimin spektrum grafiğinde 1X, 2X, 3X, 4X frekansları olacaktır. Bu frekansların her birinin

gerçek genliği, dört noktadaki dengesizliğin miktarına bağlıdır. 1X frekansı daima diğerlerinden büyüktür. Statik dengesizlik durumunda, rotorda aynı rulman yerinde düşey-düşey veya yatay-yatay boyunca faz kayması olmaz, düşeyden yataya  $90^\circ$  ( $\pm 20^\circ$ ) faz kayması olur. Ölçüm sonuçlarından dengesizlik kesin olarak belirlenemiyorsa, makineyi değişik hızlarda çalıştırıp dönme devri frekansının genliğini izlemek kolaylık sağlar. Eğer dengesizlik varsa makinenin hızı artırılınca titreşimin genliği de artış gösterecektir.

## 7.2. Eksen Kaçıklığı

Eksen kaçıklığı, döndüren ve döndürülen makine millerinin aynı merkezde olmaması durumudur. Eksen kaçıklığı, makinelerin yanlış montajı ve anormal ön yüke sebep olan rulman yatağının ısı genleşmesi sonucu oluşmaktadır [32]. Genel olarak eksen kaçıklığının miller ve onları bağlayan kaplinler, V-kayışları, ara bağlayıcılar arasında olduğu düşünülür. Ancak milin yataklarında ve makinenin diğer noktalarında da olabilir. Eksen kaçıklığının neden olduğu titreşimin spektrum grafiğinde mil dönme hızının 1 ve 2 katında tepe oluşur. Mil dönme hızının iki katında oluşan tepe baskındır. Dalga formu grafiğinde ise düzenli titreşim deseni oluşur [32–35].

İç, paralel ve açısal olmak üzere üç çeşit eksen kaçıklığı vardır. Her üç tip eksen kaçıklığı makinede bariz bir dengesizlik oluşturacağı için spektrum grafiğinde 1X frekansında bir tepeciğe sebep olan titreşim meydana getirir. İç (yatak) ve paralel eksen kaçıklığı aynı zamanda 2X harmonik frekansında bir tepelik oluşmasına neden olur. Mil bir devir yapmasına rağmen iki yüksek frekans oluşturur. Bunlar mil devrinin birinci (1X) ve ikinci (2X) harmonikleridir.

Açısal eksen kaçıklığı birçok şekilde kendini gösterir ve titreşim spektrum grafiğinde 1X ve 2X bileşenlerinin oluşmasına yol açar. Faz ilişkisine bağlı olarak üçüncü harmonik (3X) frekansını da oluşturabilir. Aynı zamanda kuvvetli eksenel titreşim oluşturur.

Bazı durumlarda eksen kaçıklığını mekanik gevşeklikten ayırmak zordur. Bu gibi durumlarda dalga formu tekrarlı bir şekle sahipse eksen kaçıklığına işaret eder. Açısal eksen kaçıklığı eksenel yönde kaplin boyunca tipik olarak  $180^\circ (\pm 30^\circ)$  faz kayması gösterir. Paralel eksen kaçıklığı radyal yönde kaplin boyunca tipik olarak  $180^\circ (\pm 30^\circ)$  faz kayması gösterir. Rulman eksen kaçıklığı, rulmanın bir tarafından diğer tarafına veya üst tarafından alt tarafına  $180^\circ (\pm 30^\circ)$  faz kayması gösterir.

Eksen kaçıklığı olan rulman, bazen yuvarlanma elemanı sayısı ile dönme hızının çarpımından elde edilen frekansta titreşime sebep olur. Rulman eksen kaçıklığı, rulmanın bir tarafından diğer tarafına veya üst tarafından alt tarafına  $180^\circ (\pm 30^\circ)$  faz kayması gösterir.

### 7.3. Mekanik Gevşeklik

Çalışan makine parçalarının bağlantılarında zamanla gevşemeler olmaktadır. Gevşeklik düşey ve yatay düzlemlerde olabilmekte, genellikle mil dönme devrinin çoklu harmonikleri (1X, 2X, 3X, 4X, v.s.) titreşim spektrum grafiğinde oluşmaktadır. Bazı durumlarda mil dönme devrinin yarım harmonikleri (0.5X, 1.5X, 2.5X, v.s.) de oluşmaktadır. Dalga formu grafiğinde ise düzensiz darbe sinyalleri oluşmaktadır [31, 33–35]. Hemen hemen tüm durumlarda tam ve yarım harmonikler bulunmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi mekanik gevşeklik düşey ve yatay olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Düşey düzlemdeki gevşeklik mil dönme devrinin tam ve yarım harmonik titreşim frekanslarını (0.5X, 1X, 1.5X, 2X, 2.5X, v.s.) oluşturur. Birçok durumda yarım harmonik frekansların genliği, yaklaşık olarak harmonik frekansların genliğinin yarısına eşittirler. Tam ve yarım harmonik frekansların genliklerindeki farklılık yer çekimi ivmesinden kaynaklanmaktadır. Makine düşeyde yukarı doğru çıktığında yer çekimi çıkış kuvvetine direnir. Bu yüzden makine ayağının bağlantı civatası ile teması sonucu ortaya çıkan darbe kuvveti, çıkış kuvveti ile yer çekimi arasındaki farka eşittir. Makine geri

düştüğünde yerçekimi kuvveti dengesizlikten oluşan kuvvet ile birleşir. Makine ayağının zemin ile teması sonucu ortaya çıkan darbe kuvveti, yer çekimi kuvveti ile dengesizlikten oluşan kuvvetin toplamına eşittir.

Yatay gevşeklik 1X ve 2X titreşim frekanslarını oluşturur. Makinenin enerji kaynağı makinenin dönen mili olduğu için esneme zamanı milin bir tam devrine yani 1x'e eşittir. Bu tek dönüş boyunca bağlantı ayakları denge konumunun her iki yönünde maksimum esneme miktarına ulaşırlar. Ayak ilk önce bir tarafa, sonra diğer tarafa yer değiştirdiği için yöndeki bu çift değişim mil dönüş hızının iki katında (2X) bir frekans üretir. Bazı durumlarda eksen kaçıklığını mekanik gevşeklikten ayırmak zordur. Bu gibi durumlarda dalga formu tekrarlı bir şekle sahipse eksen kaçıklığına işaret eder (34). Eksen kaçıklığının en kolay belirtilerinden birisinin dalgaformunun "M" ve "W" şeklinde bir desene sahip olduğu pratik çalışmalar sonucu görülmüştür [35].

#### **7.4. Dişli Arızaları**

Dişlilerdeki hatalar eksen kaçıklığı, dengesizlik, gevşeklik gibi mil hataları ve aşınma, çizilme, çatlak gibi diş ile ilgili hatalar olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılabilir [36]. Dişli hataları, hata türüne özgün belirgin titreşimler oluşturur. Bu yüzden diğer makina elemanlarında olduğu gibi dişli hataları da titreşim analizi ile belirlenebilmektedir. Dişli dişleri sabit bir açısal hız oranı sağlayacak şekilde tasarlanırlar. Yanlış diş profilleri, dişler arasındaki boşluk hataları ve diş sehimleri iletim hatasına sebep olur. İletim hatası da dişlilerin ve millerin titreşimine yol açar [37].

Dalpiaz [38], dişlilerdeki titreşimin birinci kaynağının, üretim ve montaj hatalarının yanı sıra kavrama rijitliğinin değişmesi olduğunu belirtmiştir. Smith [39], dişlilerde oluşan titreşimin birinci sebebinin iletim hatası olduğunu belirtmiş, iletim hatasını ölçmeden titreşimi kontrol altına almanın çok zor olacağını ifade etmiştir. İletim hatası, dişlinin gerçek pozisyonu ile mükemmel haldeki (hatasız, rijit) pozisyonu arasındaki fark olarak

tanımlanmıştır. Bir dişlide dişli kavrama frekansı, dişlinin diş sayısı ile dişlinin hızının çarpımına eşittir. Mükemmel dişliler dişli kavrama frekansında titreşim oluştururlar. Sabit olmayan diş aralığı bölüm dairesinde çok sıkı olmayan bir temas noktası oluşturur bu yüzden frekans modülasyonlarına neden olabilir. Diş temas yüzeylerindeki düzensizlikler yük değişmelerine neden olur, bu da genlik modülasyonunu oluşturur [40].

Çalışan tüm makina elemanları yorulmaya maruz kalırlar. Yorulma tüm çalışan elemanlarda olduğu gibi dişlilerde de hasarlar oluşturmaktadır. Dişlilerde yorulmadan kaynaklanan iki çeşit hasar vardır: oyuklaşma ve kabarma. Oyuklaşma, diş yüzeyinden çok az miktarda malzemenin ayrıldığı, yüzey yorulma hasarıdır. Yükün diş üzerindeki bir bölgeye yoğun olarak etki etmesi sonucu oluşur. Kabarma, büyük yüzey gerilmeleri ve büyük kayma hızlarının beraber etki etmesi sonucu oluşur. Bir dişte oyuklaşmış bölge kavramaya girerse darbeleri temastan dolayı gerilme dalgaları oluşur. Bu dalgalar düşük genliklidir, etkili bir şekilde kullanılırsa hasarın erken belirlenmesinde bundan yararlanılabilir [41]. Bir dişte oluşan kabarma veya çatlağın başlamasından, dişin tamamen arızalanmasına kadar önemli bir zaman geçer. Hasarın ilk zamanlarında hasar şiddetindeki artış yavaştır, fakat tamamen arızalanmadan hemen önceki aşamada bu artış aniden hızlanır. Bu yüzden hasar ilk aşamalarda belirlenebilirse teşhis anlamlı olmaktadır [42].

Bir dişlideki hasarlı bir diş, kavramaya her girişinde bir vuruntu oluşturur. Bu vuruntunun tekrarlanma frekansı dişlinin dönme hızına eşittir. Bu vuruntu helisel dişlilerde eksenel tabii frekansları, düz dişlilerde ise radyal tabii frekansları uyarır. Kırık diş, kavrama halinde diğer dişe vurduğunda bir darbe sinyali üretilir. Sonra sağlam olan dişli kavramaya girer ve darbeden kaynaklanan titreşim azaltır. Tek dişli hasarlı bir dişli her devirde bir darbe sinyali üretebilir. İki veya daha fazla diş kırıkrsa, her devirde iki veya daha fazla darbe sinyali oluşabilir. Her bir devir boyunca tek olay söz konusu olduğu varsayıldığında titreşimler arasındaki frekans farkı, problemlili dişlinin

hızına eşittir. Her bir devir boyunca iki veya daha fazla olay gerçekleşiyorsa frekans farkı olayların sayısı ile problemlili dişlinin hızının çarpımına eşittir. Eğer her iki dişli de problemlili ise dişli kavrama frekansı her iki dişlinin hızında modülasyona uğrar. Böyle durumlarda iki dişlinin hızında yan bantlar oluşur ve analiz karmaşık bir hal alır.

Singh [41], kavrama olayında doğrusal olmayan durumlardan dolayı yalnızca kavrama frekansı değil, aynı zamanda kavrama frekansının harmoniklerinin de oluştuğunu belirtmiştir. Dişli kavrama frekansının ve harmoniklerindeki titreşimlerin genlik modülasyonu, kavrama halindeki dişliler hakkında yararlı bilgileri ortaya çıkarmaktadır. Örneğin dişlilerdeki eksen kaçıklığını, aşırı boşluğu, yüklemeyi, eksantrikliğini, vb. belirlemede genlik modülasyonu önemli bilgiler içerir. Dişli kavrama frekansının her iki yanındaki yan bantlar dişlinin eksantrik ve gevşek olduğunu gösterir. Taylor [43], kavrama frekansının sağ tarafındaki yan bantların titreşim genliğinin daha büyük olduğunda eksantrikliğin ilerlemiş olduğunu, kavrama frekansının sol tarafındaki yan bantların genliğinin daha büyük olduğunda ise gevşeklik olduğunu belirtmiştir. Dalpiaz [44], dişlilerin iyi durumda iken yan bant frekanslarındaki titreşimlerin genliklerinin sabit kaldığını, ancak zamanla yan bantların sayısı ve şiddetindeki değişmelerin bir bozulmayı gösterdiğini vurgulamıştır.

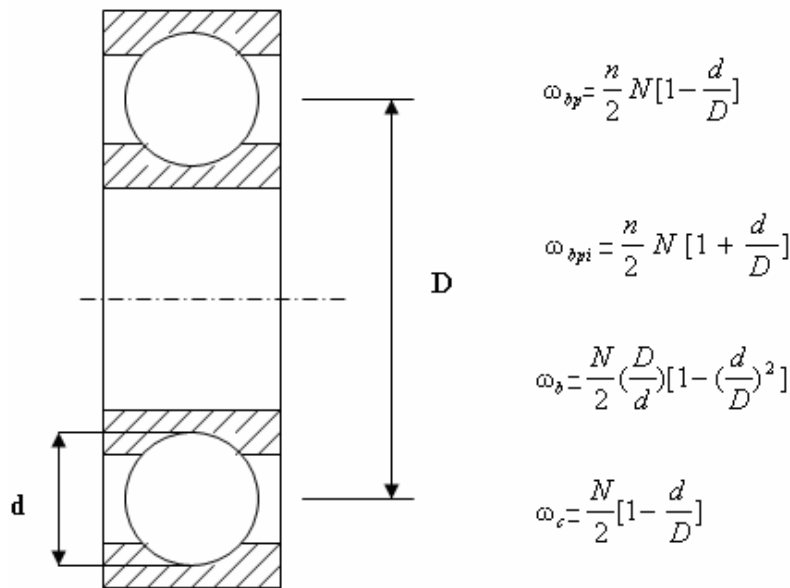
## 7.5. Rulman Arızaları

Rulmanların dönen makinelerin yataklanmasında çok kullanılmaları sebebiyle arızasız çalışmaları, makinelerin düzenli çalışması ve ömürleri açısından büyük önem taşımaktadır. Rulman arızaları iç bilezikte, bilyede, kafeste ve dış bilezikte oluşabilmektedir. Rulman arızaları, rulmanın geometrisi ve mil dönme devrine bağlı olan formüllerle hesaplanan arıza frekansları ile ölçüm sonucu elde edilen titreşim frekanslarının karşılaştırılması ile belirlenir. Hangi elemanda bir arıza oluşmuşsa titreşim frekanslarında bu elemanın arıza frekansları, bunun katları, bazı durumlarda mil dönme devri ile oluşturduğu yan bant frekansları bulunur. Sağlam bir rulmandan elde edilen titreşim

frekanslarında da rulman arıza frekanslarına rastlanıldığı görülmüştür. Dolayısı ile rulman arıza frekansının oluşmuş olması her zaman rulmanın arızalı olduğu anlamına gelmez. Bu yüzden analiz çok dikkat ve bilgi gerektirir.

### 7.5.1. Rulman hasar frekansları

Rulmanlarda bir hasar oluşması durumunda hasarı karakterize eden, iç bilezik, dış bilezik, yuvarlanma elemanı ve kafes frekansı olmak üzere dört çeşit hasar frekansı vardır. Bu elemanlara ait hasar frekansları Şekil 7.2. de verilen temas açısı sıfır olan rulman için hesapla belirlenerek formülize edilmiştir.



Şekil 7.2. Rulman geometrisi ve hasar titreşim frekansları

#### Kafes Frekansı ( $\omega_c$ ) 'FTF'

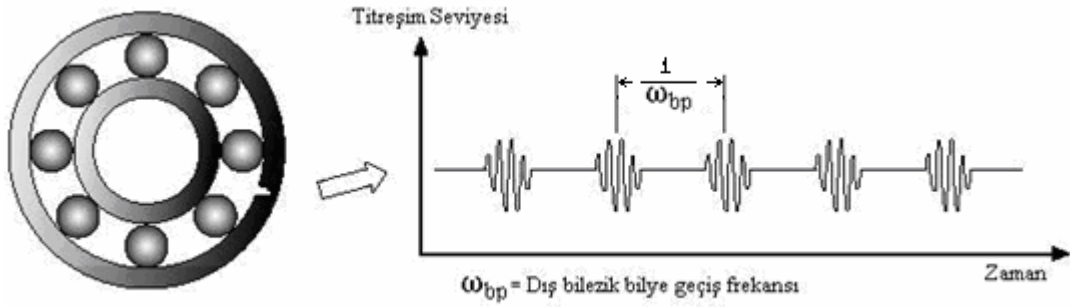
Rulman kafesi, bileziklerin hızlarına bağlı olarak  $\omega_c$  frekansında döner. Kafes, yuvarlanma elemanlarını birbirlerine bağlayarak onların birbirlerine çarpıp-maması için aralarında belirli boşluklar oluşturulmasını sağlar.

### Bilye Dönme Frekansı ( $\omega_b$ ) 'BSF'

Her bir bilye veya yuvarlanma elemanı bilezikler etrafında döndüğü için kendi eksenini etrafında döner. Spektrum grafiğinde “bilye dönme frekansını” oluşturan bu dönme hareketi “bilye dönmesi” olarak adlandırılır.

### Dış bilezik bilye geçiş frekansı ( $\omega_{bp}$ ) 'BPFO'

Bilyeler veya yuvarlanma elemanlarının dış bilezik üzerinden geçerken oluşturdıkları titreşim frekansıdır. Şekil 7.3. de, dış bilezik bilye geçiş frekansı zaman tanım bölgesinde görülmektedir.



Şekil 7.3. Hasarlı rulman titreşim sinyali [45]

### İç bilezik bilye geçiş frekansı ( $\omega_{bpi}$ ) 'BPFI'

Bilye veya yuvarlanma elemanlarının iç bilezik üzerinde bağlı dönme hareketleri neticesinde oluşan titreşim frekansıdır. İç bilezik mil ile aynı hızda döner ve bilyeler iç bilezik üzerinden daha düşük bir hızla geçerler.

Rulman elemanlarının hasarlı iken ürettikleri titreşim frekansları, temel hasar frekansı olarak adlandırılır ve hasarlı rulman elemanının ürettiği titreşim frekansının birinci katıdır. Bu temel hasar frekanslarının çoklu katlar oluşturması ise harmonik olarak adlandırılır. Yan bantlar ise farklı frekanslara sahip sinyallerden birinin diğerini modülasyona uğratarak başka bir frekansta sinyal oluşturmasıdır.

Hasarlı rulmanların ürettikleri titreşim sinyalleri yalnızca bu temel hasar frekanslarıyla kalmayıp, tabii frekansların temel hasar frekanslarıyla oluşturdukları rezonans frekanslarına ve yüksek frekans aralığında ultrasonik frekanslara da rastlanılmaktadır.

Hasarlı bir rulmanın neden olduğu titreşimin spektrum (genlik-frekans) grafiğinde oluşturduğu belirtiler dört aşama ile açıklanabilir [46].

**1. Aşama:** Hasarın ilk zamanlarında spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansının harmonikleri oluşur. Temel hasar frekansı görülmez.

**2. Aşama:** Spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansının çok daha fazla harmonikleri oluşur. Bozulma devam ettiğinde hasar titreşim frekansları mil dönme hızı ile modülasyona uğrar ve yan bantlar oluşur. Yan bantların genliği esas frekansın (temel frekans) genliğini geçerse hasarın önemli olduğu anlaşılmalıdır.

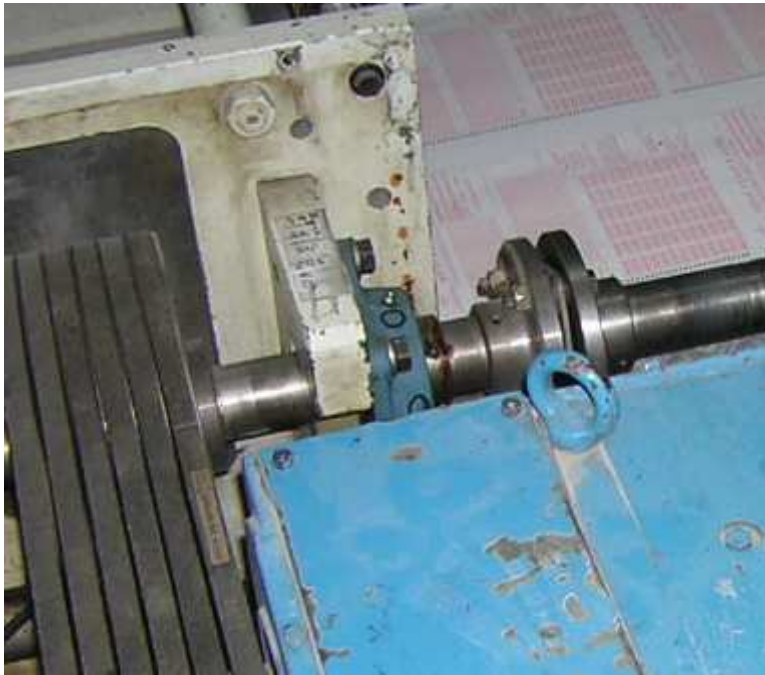
**3. Aşama:** Spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansı harmonikleri ve yan bantlarına ek olarak temel hasar frekansı da oluşur.

**4. Aşama:** Rulman bozulmaya devam ettiği için rulman elemanlarının bozulmasını hızlandıran iç boşluklar artmaya başlar. Bu boşluklar rulman elemanları arasındaki çarpmaları artırır ve bu çarpmalar sonucu meydana gelen titreşimin spektrum grafiğinde geniş bant gürültüsü oluşur. Gürültü seviyesi arttığından dolayı titreşimlerin genlikleri azalabilir ve ayırt edilmesi güçleşebilmektedir.

## 8. DENEYSEL ÇALIŞMA

Sürekli form baskı makinasına ait kestirimci bakım planlaması yapılarak, makina 11 ünite olarak düşünülmüş ve bu üniteler üzerinde toplam elli adet titreşim ölçüm noktası belirlenmiştir. Bu ölçüm noktalarındaki makine elemanlarının, titreşim analizinde kullanılabilecek rulman numaraları, devir sayıları, dişli diş sayıları, kasnak çapları gibi teknik özellikleri belirlenerek EK-1 de verilen *sürekli form baskı makinası titreşim ölçüm planı* hazırlanmıştır. Bu planda makine ünitelerine ait 11 adet ölçüm rotası, 50 adet ölçüm noktası, bu noktalara ait ölçüm eksenleri ve teknik özellikler bulunmaktadır.

Titreşimler Resim 8.1 de görüldüğü gibi, mümkün olduğunca dönel makine elemanına ve yataklara en yakın mesafeden yatay, düşey ve eksenel yönlerde olmak üzere üç eksende alınmaya çalışılmıştır. Bazı noktalardan üç eksende ölçüm almak mümkün olmamış, bazı noktalardan iki bazılarında ise tek yönde titreşim ölçümleri alınmıştır.



Resim 8.1 Yataklardaki ölçüm noktaları

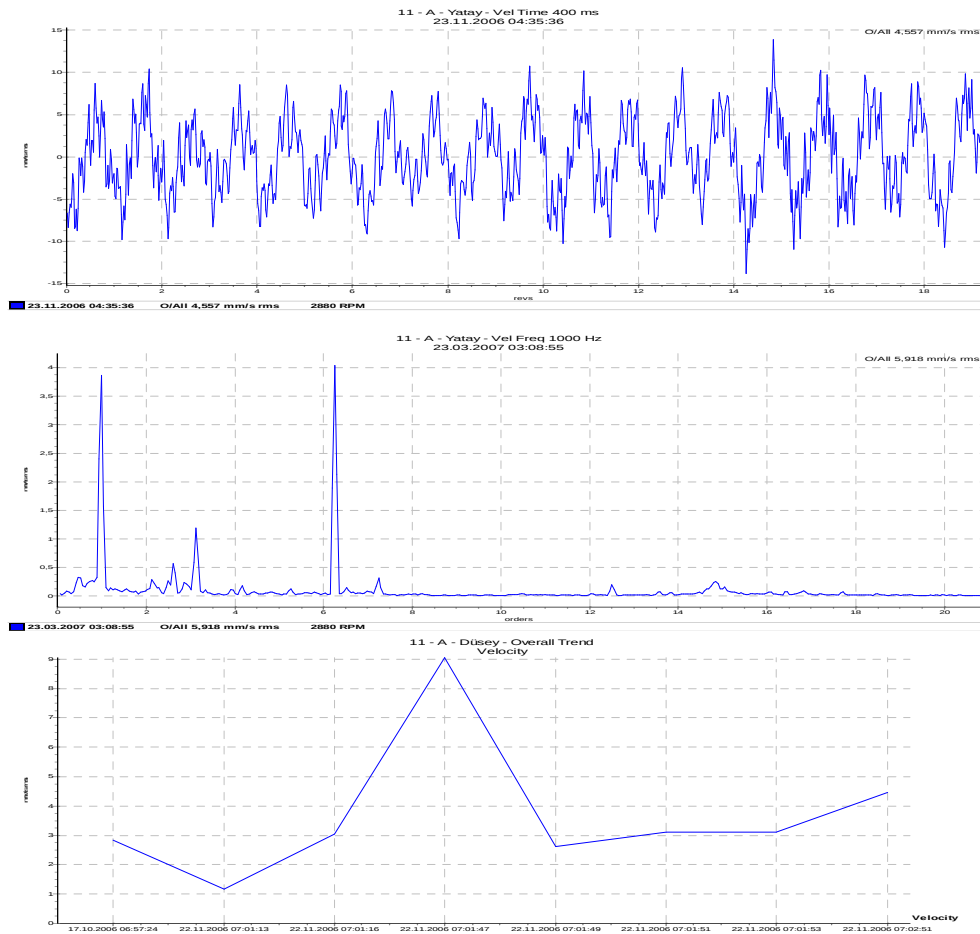
Ölçüm periyotları belirlenirken, makinanın çalışma süresini en sağlıklı baskı miktarı verdiğinden dolayı, baskı miktarı esas alınmıştır. Ölçümler, imkânlar dâhilinde yaklaşık olarak her 3 milyon adet baskı sonunda gerçekleştirilmiştir. Böylelikle ölçümler arasındaki tarih aralıkları eşit olmamakla beraber, baskı miktarı dolayısıyla makinanın ölçümler arası çalışma zamanı eşit olmuştur. Makinaya ait ölçüm tarihleri ve bu tarihler arasındaki yaklaşık baskı miktarı Çizelge 8.1. de verilmiştir.

Çizelge 8.1. Titreşim ölçüm periyot çizelgesi

| No | Tarih      | Baskı sayısı |
|----|------------|--------------|
| 1  | 23-12-2003 | 2800000      |
| 2  | 10-04-2004 | 3000000      |
| 3  | 14-06-2004 | 3100000      |
| 4  | 14-09-2004 | 3000000      |
| 5  | 08-04-2005 | 2900000      |
| 6  | 17-08-2005 | 2950000      |
| 7  | 16-02-2006 | 2700000      |
| 8  | 08-10-2006 | 2850000      |
| 9  | 22-11-2006 | 3090000      |
| 10 | 23-03-2007 | 3050000      |

Makinaya kestirimci bakım uygulaması başlamadan önce alınmış olan 23-12-2003 tarihli ölçümler hem makinanın durumu hakkında ilk bilgileri vermiş, hem de daha sonraki ölçümlerin mukayesesi için referans olarak düşünülmüştür. Bu çalışma ile beraber ölçümler, periyodik olarak devam etmiştir. 23.03.2007 tarihinde alınan son ölçümlerle birlikte farklı frekans aralıklarında ve farklı eksenlerde toplam 1200 adet civarında titreşim ölçümü alınmıştır.

Titreşim ölçümleri için parametre ayarları seçilirken, farklı frekans aralıklarında farklı arızalar bulunabileceği düşünülerek ölçümler, 600 Hz, 1000 Hz, 2500 Hz gibi farklı frekans aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Bu noktalarda oluşan titreşimler, Commtest marka titreşim ölçme cihazı (Spektrum Analiz Cihazı) ve titreşim sensörü yardımıyla ölçülerek incelenmiştir. Kullanılan cihaz ve ivmeölçer özellikleri EK-2 de verilmiştir. Bu cihazlar titreşim ölçümleri olarak arızanın cinsini ve şiddetini analiz etmede kullanılmaktadır. Titreşim ölçümleri alındıktan sonra ölçümler, cihaza ait Ascent 7.41 analiz yazılımının bulunduğu bilgisayar ortamına alınmıştır. Bilgisayar ortamına alınan titreşimler dalga form (zaman), frekans (spektrum) ve trend (eğilim) analizleri yapılarak incelenmiştir. Analizlerde kullanılan dalga form, spektrum ve eğilim grafikleri örnek olarak Şekil 8.1 de verilmiştir.



Şekil 8.1 Örnek dalga form, spektrum ve eğilim grafiği

Titreşim grafiklerinin analizinde öncelikle, hesapla belirlenen arıza frekansları tespit edilerek arızaya karar verilmiştir. Belirlenen arızaların genlik seviyeleri değerlendirilerek kabul edilebilir sınırlar içerisinde olup olmadığına bakılmıştır. Titreşim genliği, yer değiştirme, titreşim hızı ve ivme birimlerinden seçilebilmektedir. Düşük devirlerde yer değiştirme, yüksek devirlerde ivme seçimi grafik analizlerinde tercih edilirken, genel arıza analizlerinde titreşim hızının kullanılması kabul görmektedir. Bu amaçla grafiklerin analizleri yapılırken titreşim hızı genlik değeri olarak tercih edilmiştir. Kabul edilebilir genlik seviyeleri için EK-3 de verilen ISO2372-TS2782 Standardı kullanılmıştır. Titreşim genlik seviyeleri kabul edilebilir seviyelerin üzerinde olan arızalar için arızaya anında müdahale edilmiş, kabul edilebilir seviyelerde olan arızalar ise eğilim grafikleri ile sürekli takip edilmiştir. Eğilim grafikleri arızadaki gelişim hızını ve arızanın ne zaman kabul edilemez seviyelere çıkabileceğinin kestirilmesi amacıyla kullanılmıştır.

## 9. BULGULAR, YORUMLAMALAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, sürekliform baskı makinası kestirimci bakım çalışmalarında tespit edilen karakteristik arızalara ait örnekler ve bu arızaların titreşim analizleri verilmiştir. Titreşim analiz sonuçları yorumlanarak, grafiklerde tespit edilen kayda değer seviyeler ve bu seviyelere sebep olabilecek arızalar tartışılmıştır.

Alınan ilk titreşim ölçümlerinin dalga form ve spektrum grafikleri incelendiğinde bazı noktalarda titreşim seviyelerinin kabul edilebilir sınırlarda, bazılarında ise kabul edilebilir sınırlar üzerinde olduğu tespit edilmiştir. İlk ölçümlerin analizi yapıldığında, titreşim seviyeleri kabul edilemez sınırlarda olan arızalar için hemen makinaya müdahalede bulunularak arıza giderilmiş, ancak periyodik titreşim ölçüm ve analizlerine devam edilmiştir. Arızaların gelişimini takip etmek amacıyla titreşim seviyelerine ait eğilimler sürekli olarak takip edilmiştir.

### 9.1. Dengesizlik

Dengesizlik dönel makinalarda sıklıkla karşılaşılan bir arıza tipidir. Arızanın gelişimiyle doğru orantılı olarak titreşim seviyeleri de artış göstermektedir.

Ana motor fan sistemi Resim 9.1. de görüldüğü gibi ana motor üzerine montajlı 2880 d/d dönme devirli bir elektrik motoru ve motor miline direkt bağlı 40 cm çapında çevresel fandan oluşmaktadır. Ölçümler, 2880 d/d fan devrinde, Resim 9.2. de görüldüğü üzere yatay, düşey ve eksenel yönlerde gerçekleştirilmiştir.

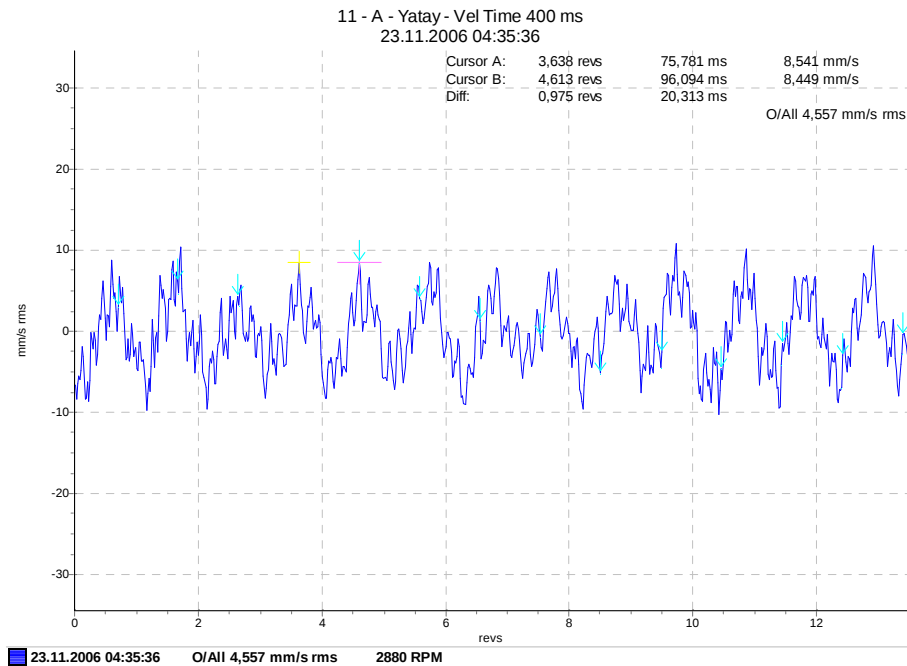


Resim 9.1. Ana motor fan sistemi



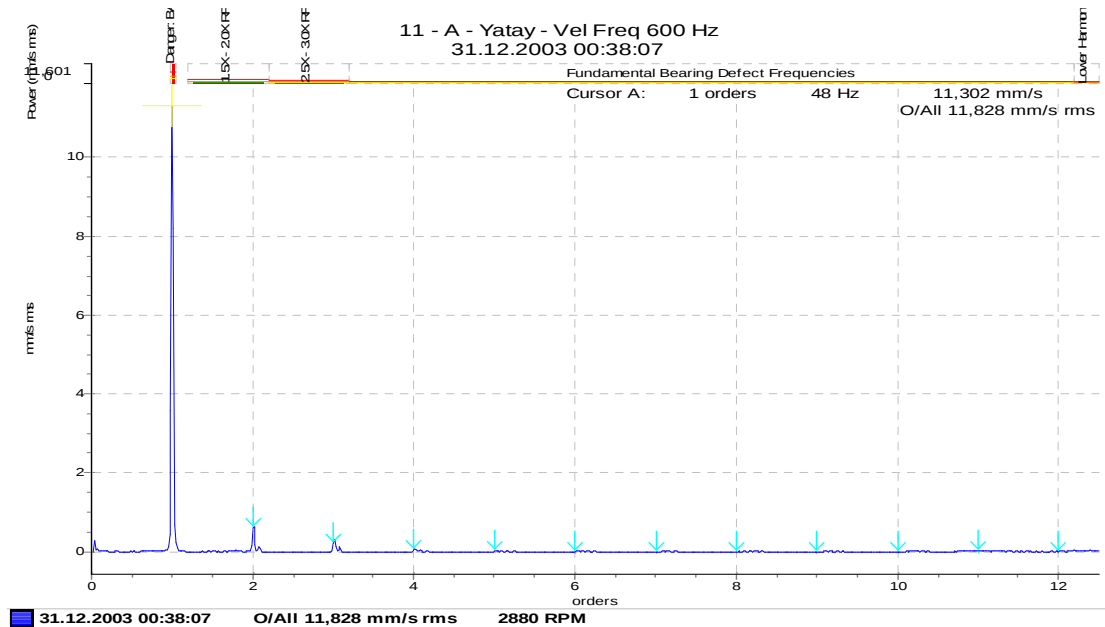
Resim 9.2. Fan ölçüm noktaları

Ana motor fanı üzerinde yatay yönde alınan titreşim ölçümlerine ait tipik bir dalga formu Şekil 9.1 de görülmektedir. Görüldüğü gibi dalga formu harmonik titreşim bileşenlerinden oluşmaktadır. Dönme devri 48 Hz (2880 d/d ) olan fanın bir devrinde geçen sürenin yaklaşık 20 ms olduğu ve dalga formun sinüs deseni şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Daha önceki yapılan çalışmalarda [31] da dengesizlikte dalga formunun periyodik, basit, vuruntusuz ve sinüs deseni şeklinde olduğu belirtilmiştir.



Şekil 9.1. Fan dalga form (hız zaman) grafiği

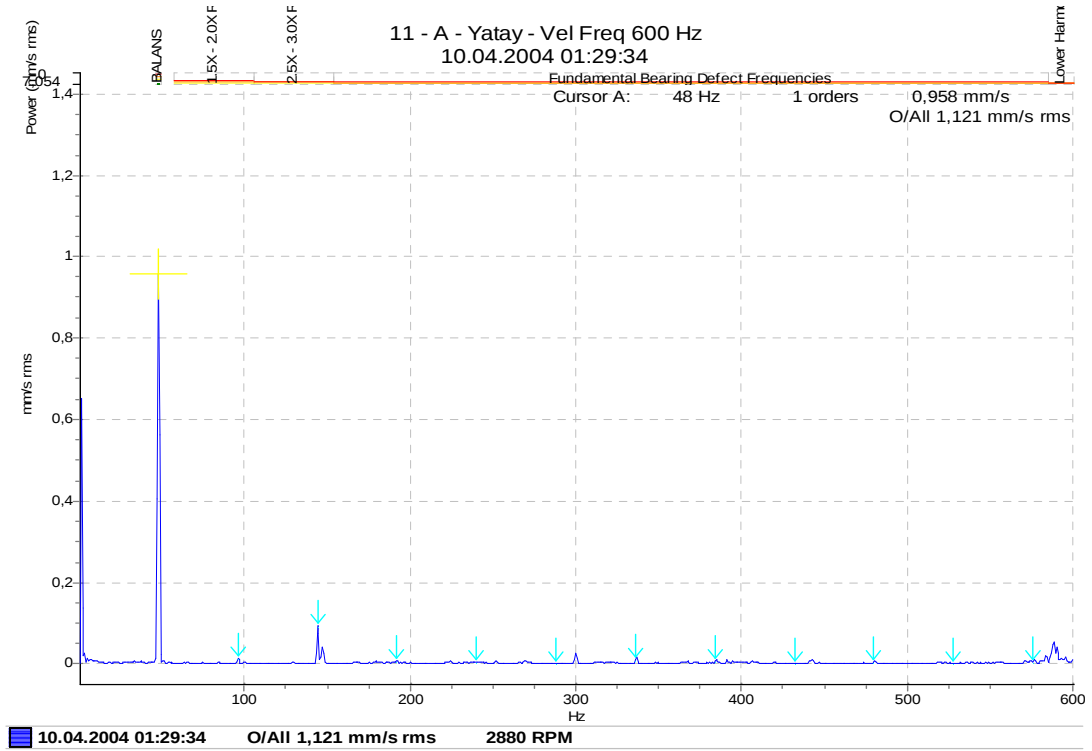
Referans ölçüm olan 31-12-2003 tarihinde alınan ilk ölçümün spektrumu Şekil 9.2 de verilmiştir. Spektrum incelendiğinde en büyük frekans bileşeni fan dönme devri 1X katı olan 48 Hz (2880 d/d ) dedir. Ayrıca daha önceki çalışmalarda [31] da ifade edildiği gibi bu frekans bileşeni fandaki dengesizlikten kaynaklanmaktadır. Spektrumda görülen 11,302 mm/s rms (O/All 11,828 mm/s rms) olan genlik değeri ISO 2372 Titreşim şiddet standardında belirtilen kabul edilemez genlik değeri alt sınırı olan 4.5 mm/s rms değerinden büyük olduğu için makinanın ilk duruşunda fanın sökölmesi kararlaştırılmıştır. Titreşim şiddet standardı EK-2 de verilmiştir.



Şekil 9.2. Fan ilk ölçüm spektrum grafiği

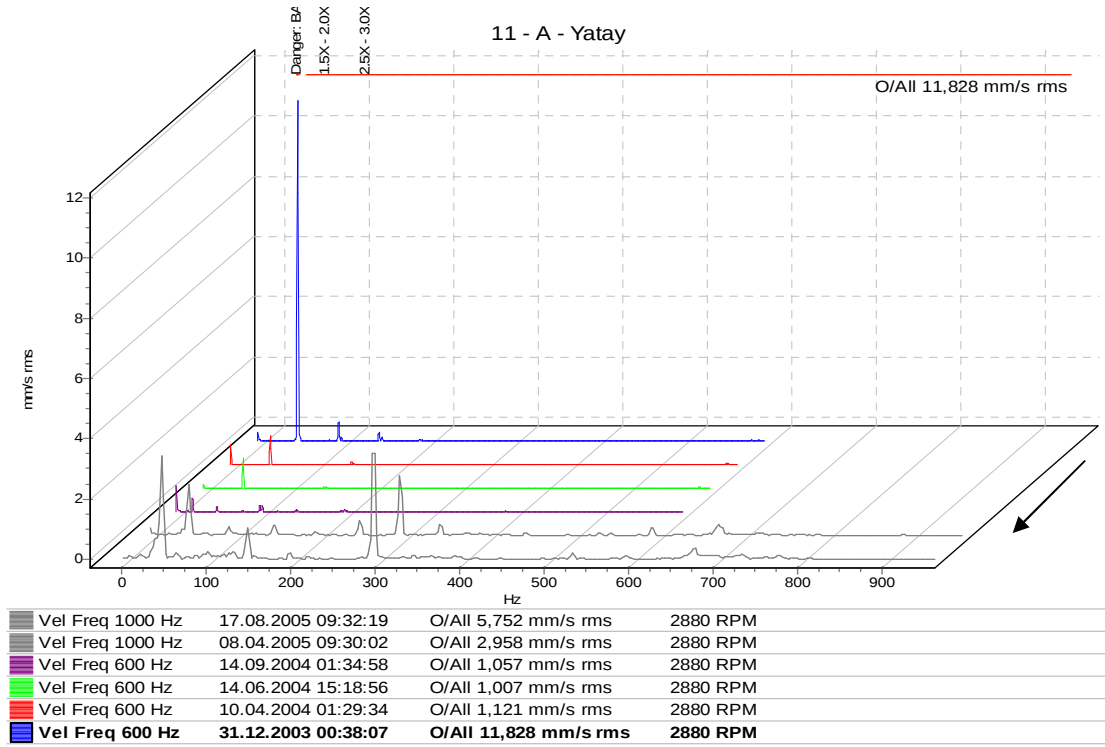
Makine üretimi durduğunda fan sökölümüş ve incelenmiştir. Fanın incelenmesi sonucunda, kanatlar ve gövdenin, dağılımı homojen olmayan, kabuklaşmış, tortu ve toz tabakasıyla kaplı olduğu görülmüştür. Bu durumun fan balansına etki edeceği düşünülerek temizlik, tesviye ve filtre değişiminden sonra tekrar yerine takılmış ve ardışık titreşim ölçümleri devam etmiştir. Fana yapılan bu işlemlerden sonra alınan 10-04-2004 tarihli ölçümün spektrumu Şekil 9.3 de görülmektedir. Bu spektrum incelendiğinde dengesizlikten kaynaklanan titreşim genliğinde büyük bir düşüş tespit edilmiştir 0,958 mm/rms (O/All

1.121 mm/sn rms). Bu düşüşün, fanda oluşmuş kabuklaşmış tabakanın temizlenerek dengesizliğin giderilmiş olmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu bakım işleminden sonra periyodik ölçümler devam etmiştir. Alınan periyodik ölçümlerde, dengesizlikten kaynaklanan titreşim genliğinin seviyesinde zamanla tekrar artış olduğu spektrum analizlerinde tespit edilmiştir.



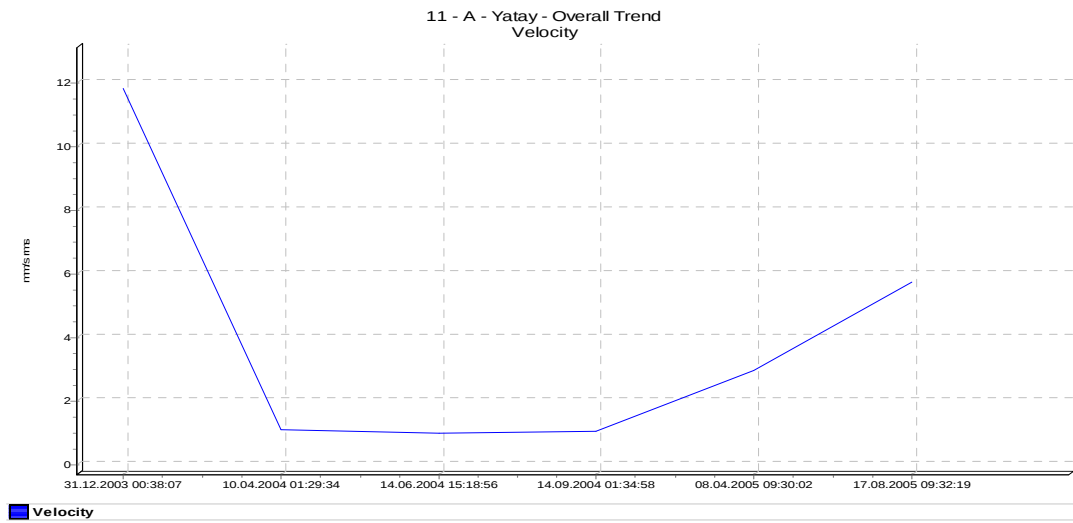
Şekil 9.3. Fan spektrum ölçümü (10-04-2004)

Ayrıca Şekil 9.4. de görülen çoklu spektrum grafiği incelendiğinde, 17-08-2005 tarihli ölçüm sonucunda dengesizlikteki artışın tekrar 3,444 mm/s rms (O/All 5.752 mm/s rms) seviyelerine kadar geliştiği tespit edilerek makina üretiminin durduğunda tekrar aynı bakım işlemi yapılması kararlaştırılmıştır.



Şekil 9.4. Fan çoklu spektrum grafiği

Fan balansına ait titreşim genliklerinin eğilimleri incelenmiş, hız cinsinden titreşim genliğindeki değişimler Şekil 9.5 deki eğilim grafiğinde verilmiştir. Eğilim grafiği incelendiğinde, dengesizliğin kabul edilebilir seviyelerde kalma süresi yaklaşık olarak on dört ay olarak görülmektedir.

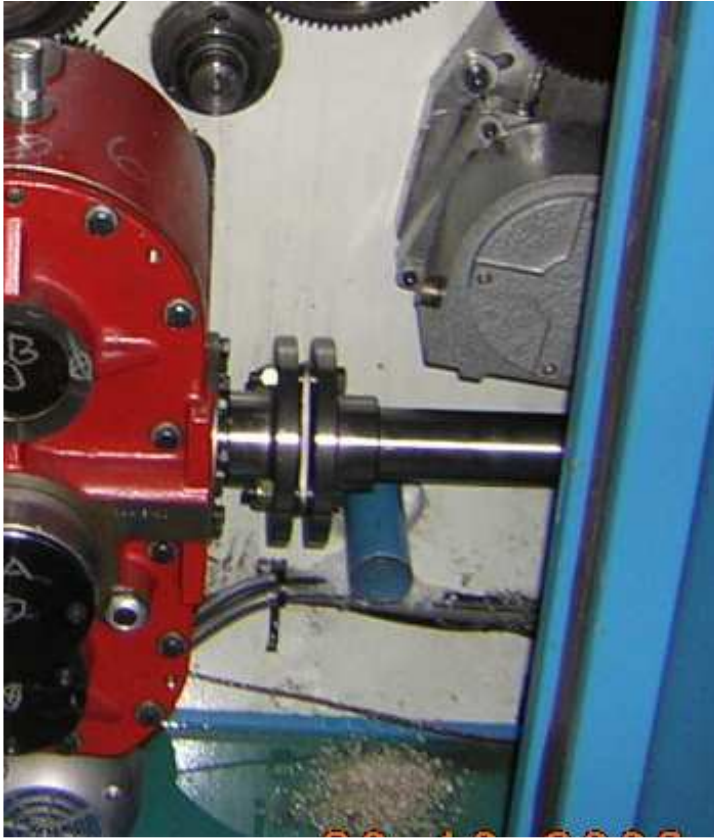


Şekil 9.5. Fan eğilim grafiği

Bu sürede makina üretimi yaklaşık sekiz milyon baskı adedine ulaşmaktadır. Buradan yola çıkarak, fanda meydana gelen dengesizlik arızasının aynı çalışma şartlarında bu sürede olduğu kestirimi yapılmış ve fana uygulanan klasik periyodik bakım süresinin on dört ay olarak belirlenmesi uygun görülmüştür. Ayrıca, fan arızasına ait titreşim genliklerinin eğilimi sürekli takip edilmek suretiyle de bakıma karar verilebileceği anlaşılmıştır.

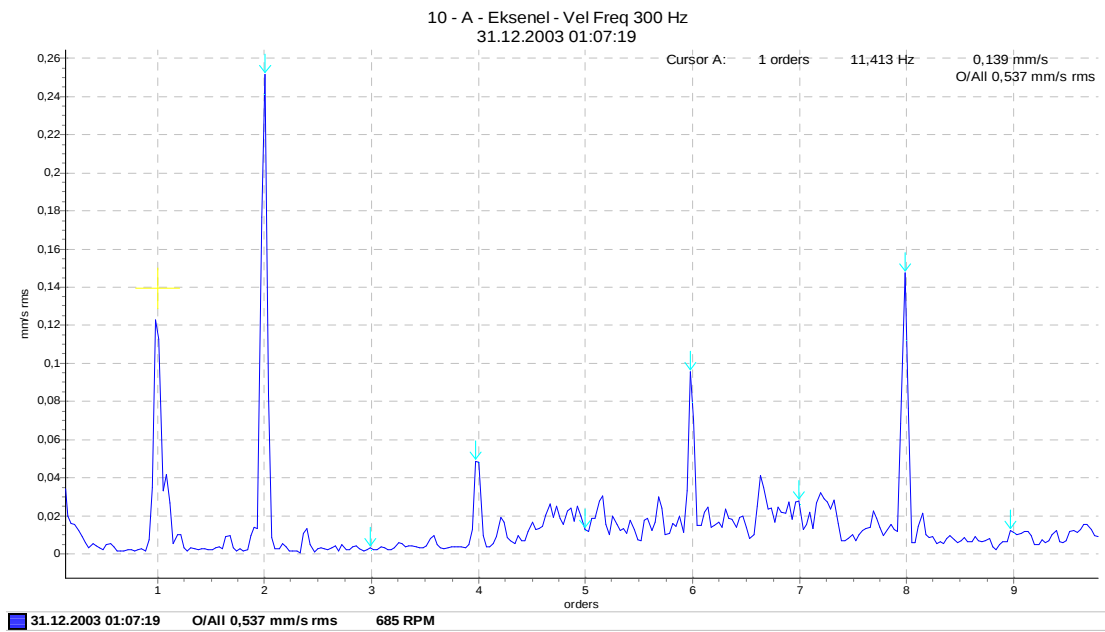
## 9.2. Eksenel Ayarsızlık

Resim 9.3. de görülen 10. ünite dişli kutusu şaft bağlantısı ilk titreşim ölçümlerinin analizi sonucunda eksenel ayarsızlık tespit edilmiştir. Şaft bağlantısının dönme hızı 685 d/d ( 11,416 Hz) olup 3 adet metrik 12 cıvata ile bağlantı sağlanmıştır.



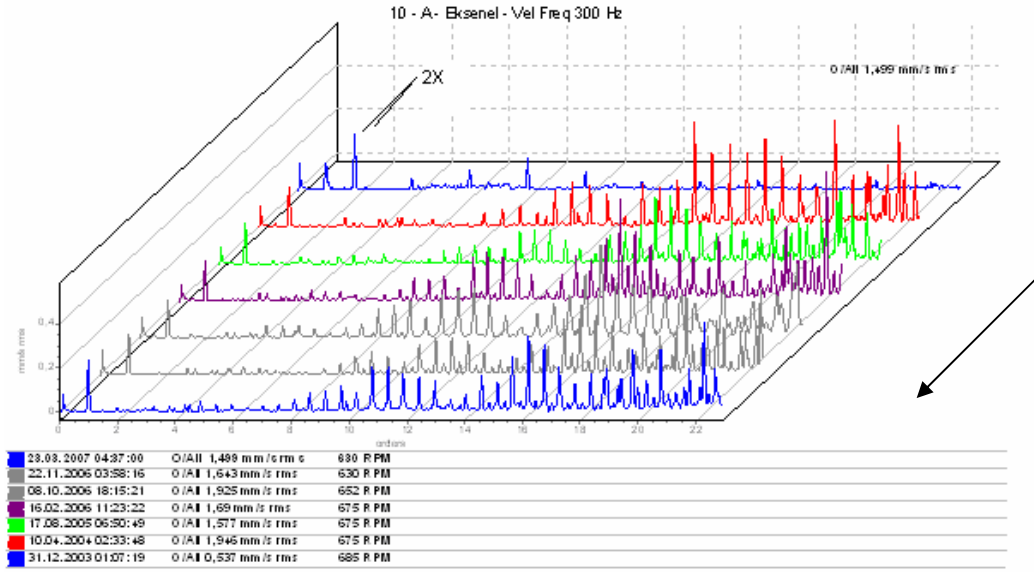
Resim 9.3. Dişli kutusu şaft bağlantısı

Eksenel yönde alınmış olan Şekil 9.6. de görülen 23.12.2003 tarihli ilk (referans) spektrum grafiği analiz edildiğinde dönme devri 1. katı (1X) = 0,12 mm/s ve 2. katı (2X) = 0,24 mm/s olduğu görülmüştür. Eksenel ayarsızlıkta paralel ve açısal kaçıklık 1X ve 2x de kendini göstermektedir. 1X dengesizlikten 2X ise eksenel ayarsızlıktan kaynaklanmaktadır. Ancak buradaki titreşimler eksenel yönde olduğundan problem paralel eksenel kaçıklık değil, açısal eksenel kaçıklıktır. Makinanın ilk duruşunda şaft bağlantısının eksenel kaçıklık arızası giderilmiştir.



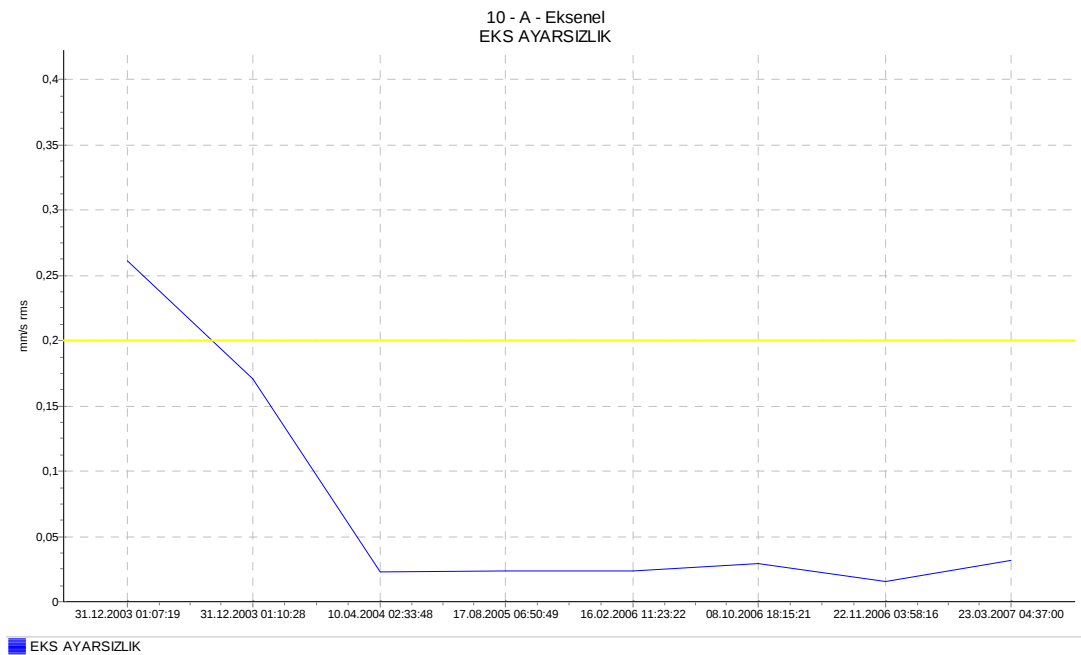
Şekil 9.6. Dişli kutusu şaft bağlantısı ilk ölçüm (referans) spektrum grafiği

Şekil 9.7. de verilen çoklu spektrum grafiği incelendiğinde, arıza giderildikten sonra dönme devri ikinci katında, eksenel ayarsızlıktan kaynaklanan 2X titreşim genliği oluşmadığı gözlenmiştir. Ancak şafta ait dengesizliğin bir miktar artış göstererek, 0,123 mm/s den 0.238 mm/s seviyesine yükseldiği tespit edilmiştir.



Şekil 9.7. Dişli kutusu şaft bağlantısı çoklu spektrum grafiği

Şekil 9.8. de verilmiş olan eksenel ayarsızlık eğilim grafiğinde de görüleceği gibi, ilk ölçümde tespit edilmiş olan arızanın giderilmesiyle, arıza genliğinde kayda değer bir azalma tespit edilmiştir. Daha sonraki periyodik ölçümlerde de eksenel ayarsızlık arızasının sürekli takip edildiği ancak tekrarlamadığı görülmüştür.



Şekil 9.8. Dişli kutusu şaft bağlantısı eğilim grafiği

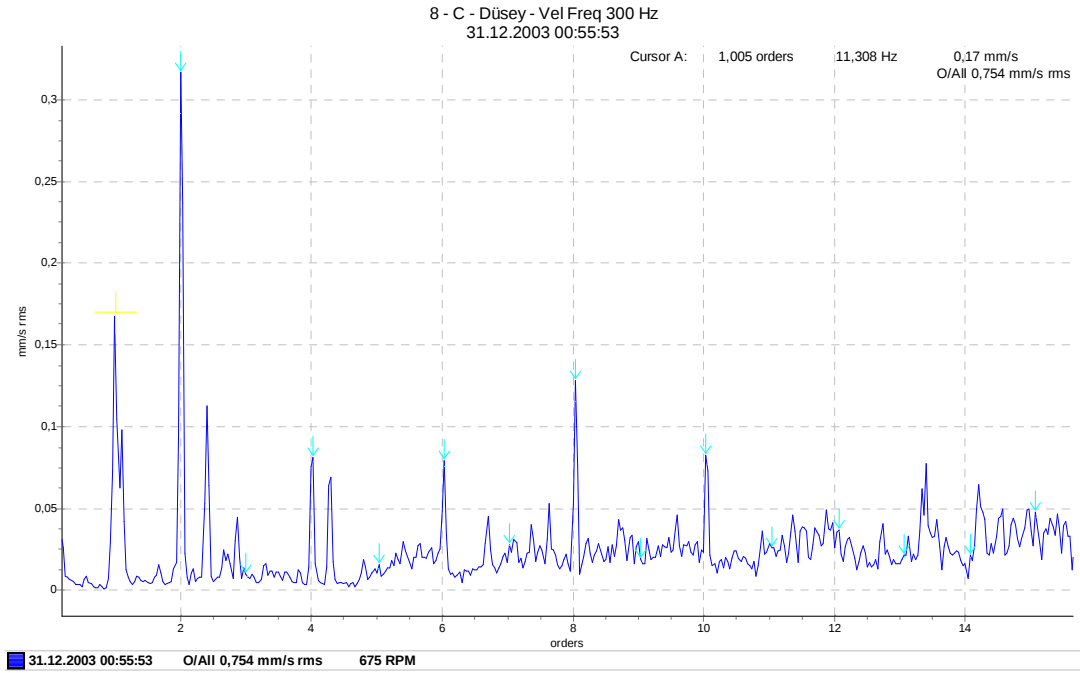
### 9.3. Mekanik Gevşeklik Boşluk

Makinaya ait 8. ünite şaft bağlantı yatağında periyodik ölçüm ve analizler sırasında gevşeklik probleminin geliştiği tespit edilmiştir. 690 d/d dönme hızına sahip şaft yatağı Resim 9.4. de görülmektedir.



Resim 9.4. Makine 8. ünite şaft yatağı

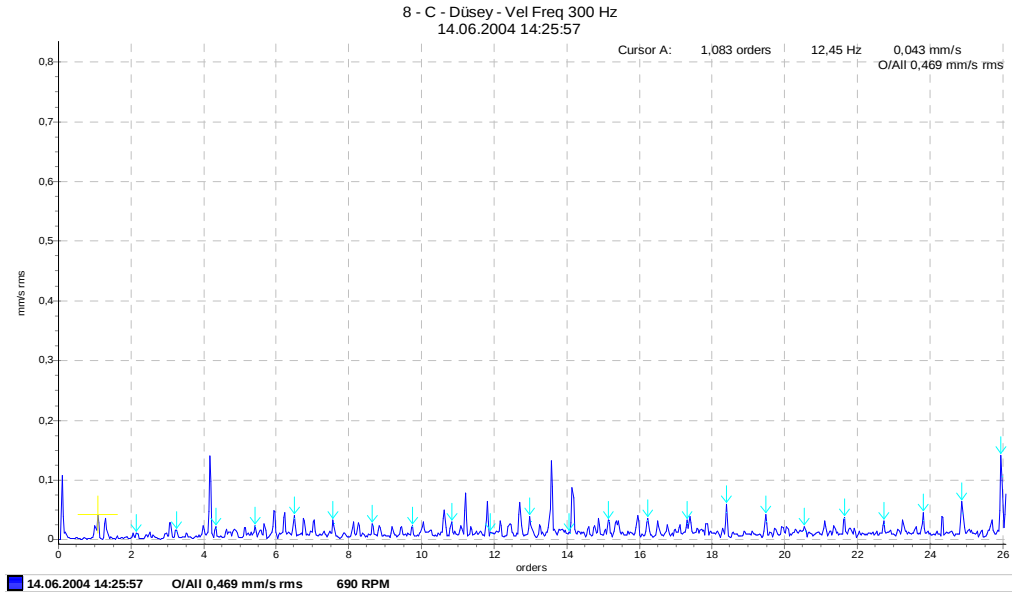
Şaft dönme devri olan 690 d/d, spektrum grafiğinde 11,5 Hz olarak kendini gösterecektir. Mekanik gevşeklik, boşluk probleminin göstergesi olan dönme devri harmonikleri (1X,2X,3X,4X,...) Şekil 9.9 da verilmiş olan 31.12.2003 tarihli spektrum grafiğinde görülmektedir.



Şekil 9.9. 8-C spektrum grafiği

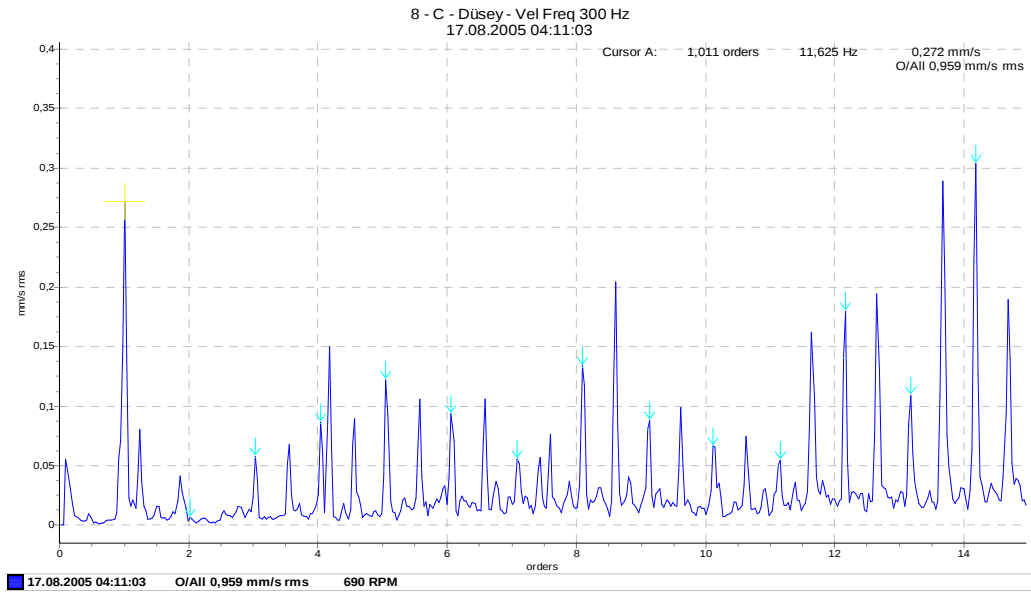
Dönme devri ikinci katına bakıldığında (2X), şaft bağlantısında bir eksenel ayarsızlığın söz konusu olduğu görülmektedir. Sebep olarak da şaft dönme devri ikinci katı olan 2X in 1x den yüksek genlikte olmasını verebiliriz. Makinanın ilk duruşunda eksenel ayarsızlık probleminin giderilmesi amacıyla şaft bağlantısı kontrol edilmiştir. Yapılan paralellik kontrolü sonucunda bir miktar eksenel ayarsızlık tespit edilmiş, aynı zamanda şaft bağlantı civatalarının yeterli sıkılıkta olmadığı tespit edilmiştir. Eksenel ayar yapılarak, şaft bağlantıları yeterli torkta sıkılmış ve makina üretimine devam etmiştir.

Bir sonraki ölçüm olan 14.06.2004 tarihli spektrum grafiği Şekil 9.10. da verilmiştir. Spektrum grafiği incelendiğinde, eksenel ayarsızlığa ait (2X) frekanslı genliğin oluşmadığı ve mekanik gevşeklikten kaynaklanan harmoniklerin genlik seviyelerinde önemli bir düşüş gerçekleştiği görülmektedir.



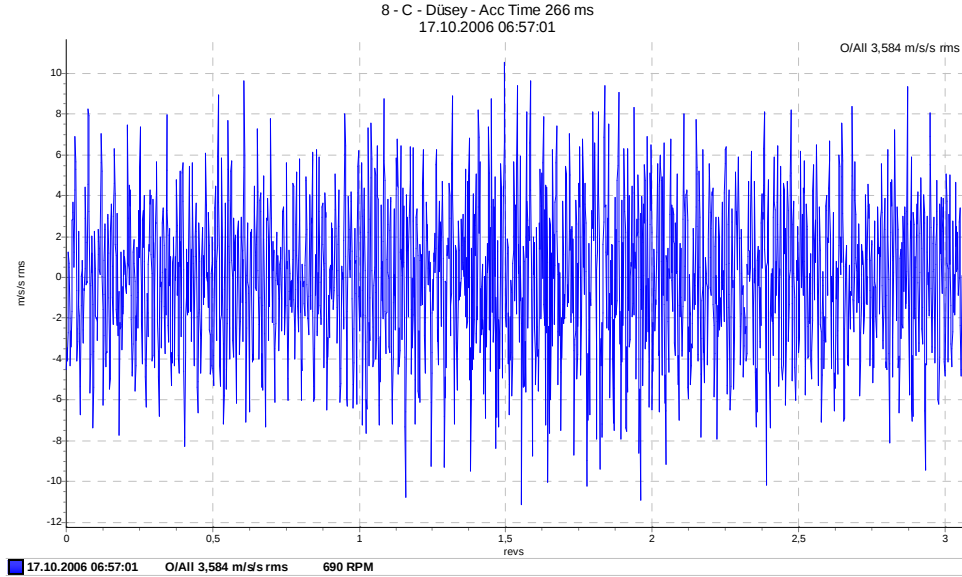
Şekil 9.10. 8-C düşey 14.06.2004 tarihli spektrum grafiği

Yaklaşık 14 ay sonraki ölçüm olan 17.08.2005 tarihli spektrum grafiği mekanik gevşeklik probleminin zamanla tekrar oluştuğunu göstermektedir. Şekil 9.11. de verilen spektrum grafiğine bakıldığında gevşeklik probleminin açık göstergesi olan dönme devri tam, yarım ve çeyrek harmoniklerinin (1/4X, 1/2X, 1X) oluştuğu görülmektedir.



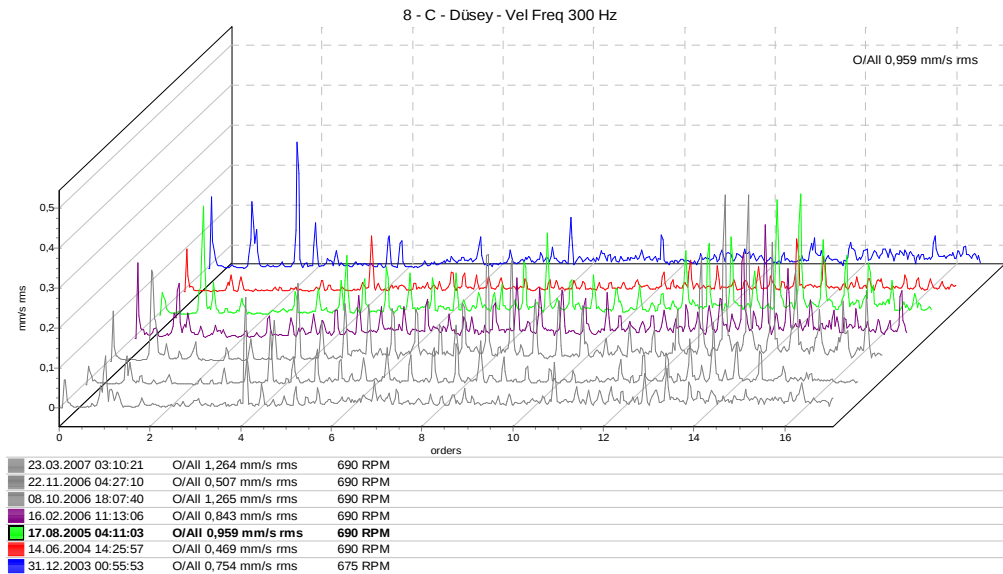
Şekil 9.11. 8-C düşey 17.08.2005 tarihli spektrum grafiği

Ayrıca mekanik gevşeklik boşluk probleminin göstergesi olan düzensiz darbe sinyalleri Şekil 9.12. de verilmiş olan dalga form grafiğinde görülmektedir.



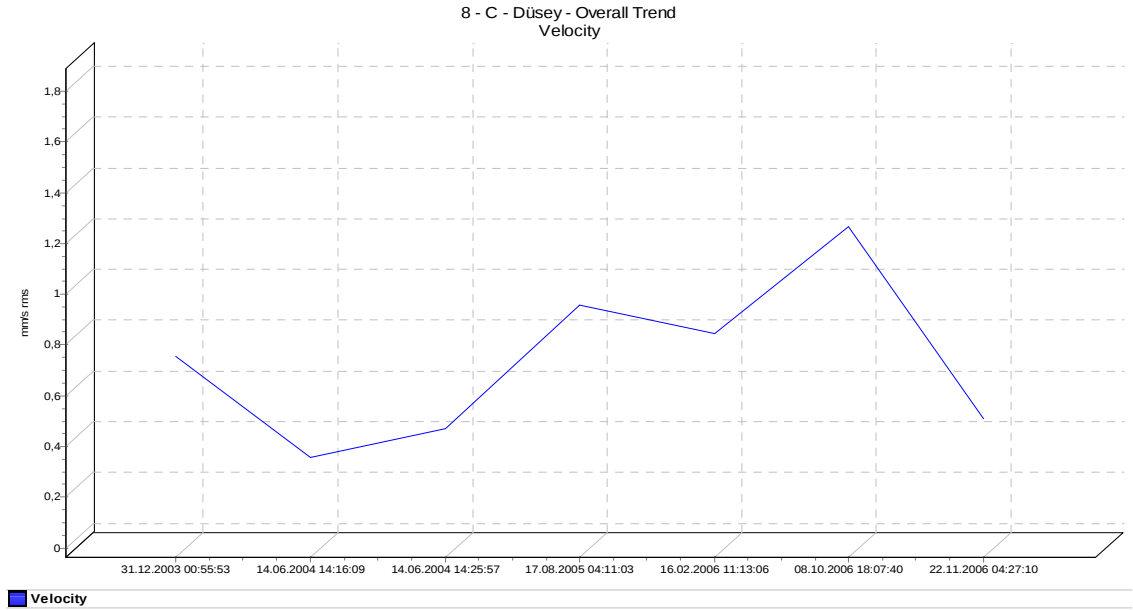
Şekil 9.12. 8-C düşey dalga form grafiği

Şekil 9.13. de verilmiş olan çoklu spektrum grafiği 8. ünite şaft bağlantısına ait problemlerin oluşumunu ve problemlerin giderildikten sonraki durumlarını göstermektedir.



Şekil 9.13. 8-C düşey çoklu spektrum grafiği

8. ünite şaft bağlantısına ait spektrum grafiklerindeki titreşim seviyelerine göre alınmış olan eğilim grafiği Şekil 9.14. de görülmektedir. Eğilim grafiği incelendiğinde arızaların tespiti, gelişimi ve giderilmesi aşamalarındaki titreşim seviyelerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 9.14. 8-C düşey titreşim eğilim grafiği

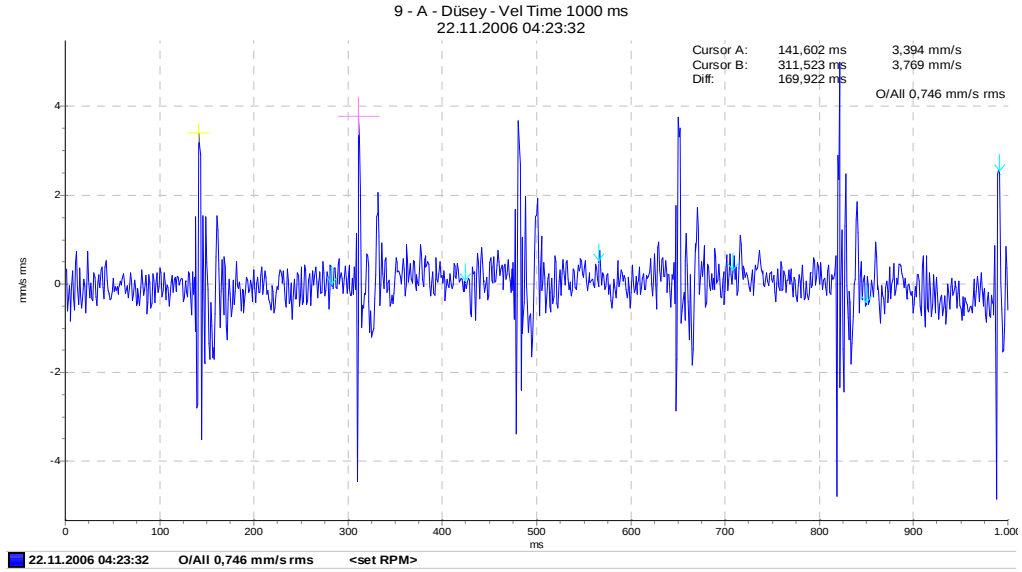
Makina 9. ünitesi olan perfore ünitesi, çelik perfore kazanlarının yer aldığı yoğun darbelere maruz kalan baskı sonrası işlem ünitesidir. Perfore işlemi kâğıdın kolay katlanması veya koparılmasını sağlayan baskı sonrası işlemidir. Perfore kazanı üzerinde çift perfore bıçağı bulundurur ve bu bıçaklar karşısındaki kazana temas halindedir. Kâğıt bu kazanların arasından geçerken, kâğıt yüzeyine perfore izi açılmış olur. Perfore kazanı Resim 9.5. de görülmektedir.



Resim 9.5. Perfore ünitesi ve perfore kazanı

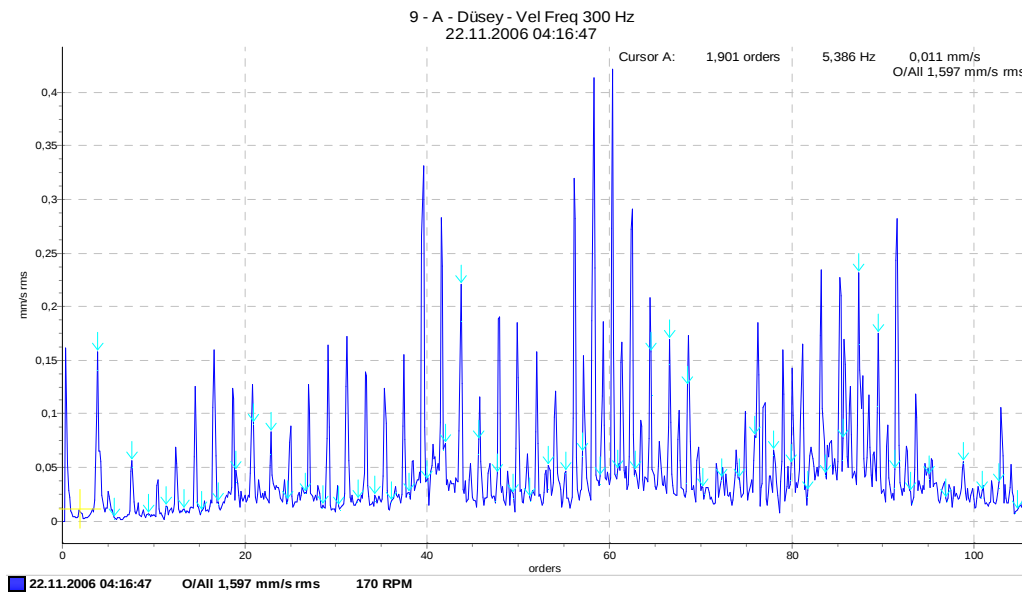
Perfore işlemi sırasında bıçakların vuruntusu sebebiyle ünite üzerinde darbeden kaynaklanan yoğun titreşimler ve gürültü oluşmaktadır. Bu üniteye spektrumlar yoğun harmonik frekanslarından dolayı karmaşık, genelde mekanik gevşeklik, boşluk spektrumlarına benzer spektrumlar oluşturmaktadır. Oluşabilecek arıza frekansları bu darbe frekansları ve harmonikleri ile modülasyona uğrayarak, arızanın tespitini güçleştirmektedir.

Perfore kazanının dönme hızı 170 d/d (2,9 Hz) ve karşılıklı iki bıçak olduğu düşünülürse vuruntu frekansı 5,8 Hz olacağı hesapla belirlenmiştir. Şekil 9.15 de perfore kazanına ait dalga form grafiği görülmektedir. Perfore kazan bıçaklarının vuruntularından kaynaklanan darbe sinyalleri dalga formda yaklaşık olarak 4mm/s rms genlik değerinde tespit edilebilmektedir. Bu darbe sinyallerinin periyodu 169,9 ms, yani yaklaşık olarak 5,8 hz frekansındadır.



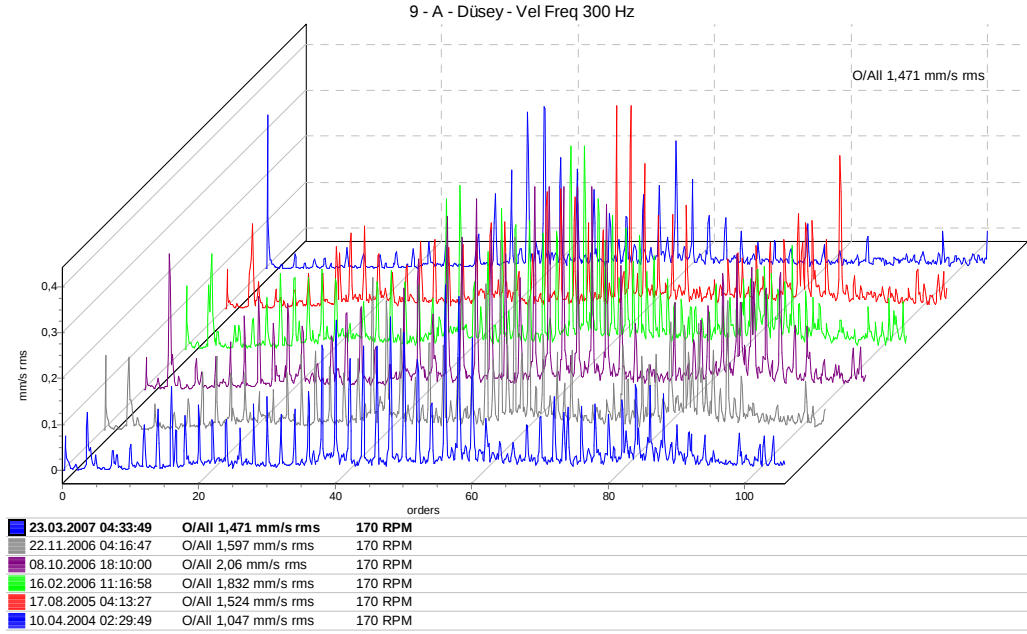
Şekil 9.15. Perfore kazanı dalga form grafiği

Perfore vurutularından kaynaklanan darbe sinyalleri ve harmonikleri Şekil 9.16. da verilen spektrum grafiğinde görülmektedir. Mekanik gevşeklik, boşluk spektrumuna benzemekte, hatta darbe frekansının  $\frac{1}{2} X$  ve  $\frac{1}{4} X$  harmoniklerinin de oluştuğu gözlemlenmektedir.



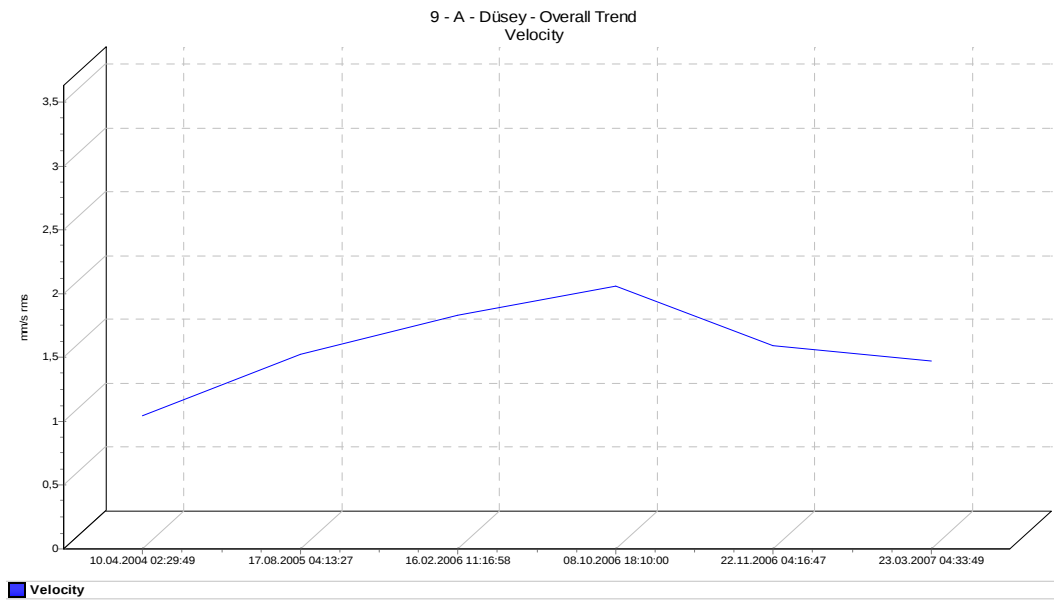
Şekil 9.16. Perfore kazanı spektrum grafiği

Şekil 9.17. de perfore kazanı çoklu spektrum grafiği verilmiştir.



Şekil 9.17. Perfore kazanı çoklu spektrum grafiği

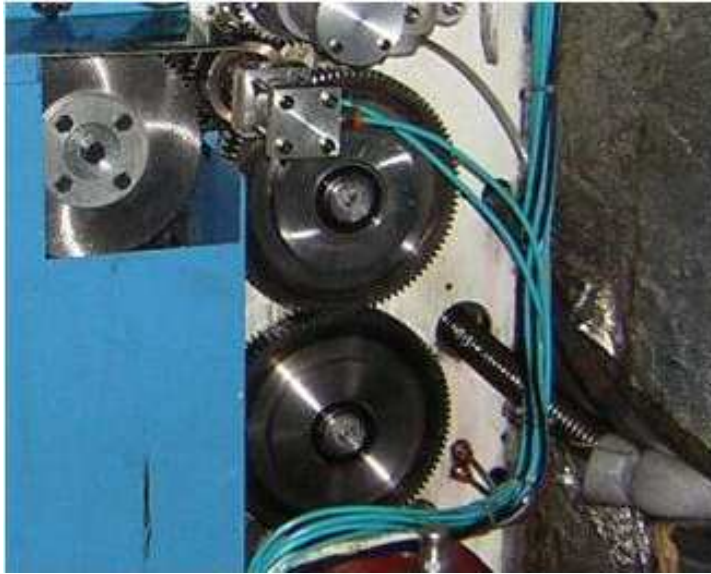
Genel titreşim seviyelerindeki eğilimi gösteren titreşim eğilim grafiği Şekil 9.18. de görülmektedir. Titreşim seviyelerinde önemli bir değişim gözle çarpmamaktadır.



Şekil 9.18. Perfore kazanı titreşim eğilim grafiği

#### 9.4. Dişli Arızası

İncelemesi yapılan dişlinin bulunduğu sistemde, 780 d/d ile dönen bir ana motor, ana motordan kayış kasnakla tahrikli 660 d/d hız ile dönen bir şaft ve 165–600 d/d arası değişen dönme hızlarına sahip merdane dişlileri bulunmaktadır. Hareket, ana motor ve şaft sistemi ile Resim 9.6. da görülen baskı ünitesi dişli takımına iletilmektedir.

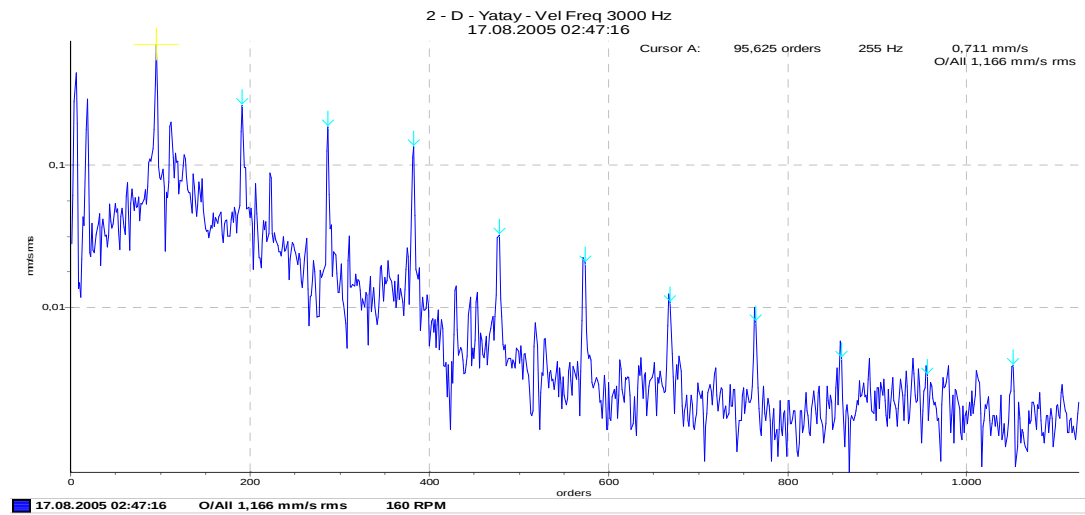


Resim 9.6. Baskı ünitesi dişlisi

Sürekli form baskı makinası baskı ünitesi 96 diş sayılı 160 d/d devirli düz dişli çarkın titreşim ölçümleri zaman ve frekans tanım bölgelerinde incelenerek titreşim seviyelerinin eğilimi belirlenmiştir. Dişli kavrama frekansı, 2.66 Hz olan dönme frekansı X diş sayısı olarak hesapla belirlenmiş ve Şekil 9.19. da görülen ilk ölçüme ait spektrum grafiğinde de 255 Hz olarak kendini göstermiştir. 255 Hz de görülen bu kavrama frekansı aynı zamanda dişli arıza frekansı olarak da adlandırılır.

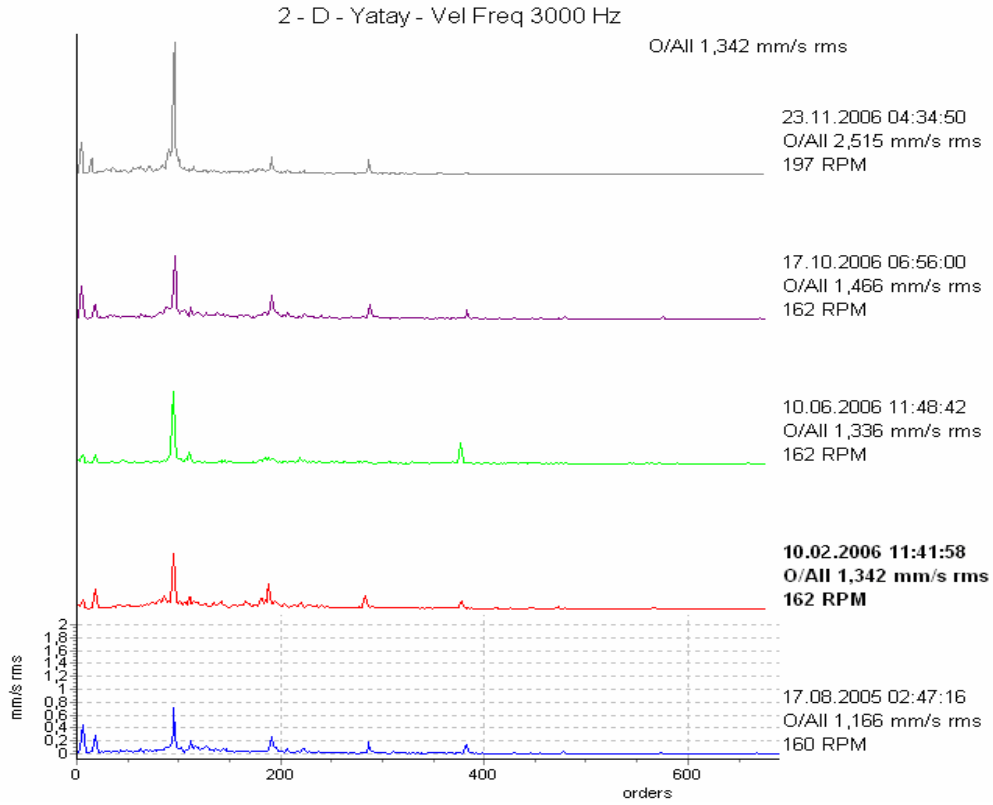
Yapılan ilk ölçüme ait spektrum incelendiğinde dişli kavrama frekansına ait titreşim seviyesi 1.16 mm/s olarak görülmektedir. Dişli çark üzerine gelen güç 20 Hp' in altında olduğundan dolayı titreşim seviyeleri TS 2782 standardına

göre kabul edilebilir sınırlar içerisinde (Bkz Ek-2). Ancak harmoniklerinin sayısı, muhtemel bir boşluğun, eksantrikliğin veya eksen kaçıklığının olabileceğini akla getirmektedir. Dişli kavrama frekansı yan bantlarını incelediğimizde dişli kavrama frekansının her iki tarafında da yan bantlar olduğu bu durumun dişlinin eksantrik veya gevşek olduğunu desteklediğini söyleyebiliriz. Kavrama frekansının sağ tarafındaki yan bantların sol tarafa nazaran daha yüksek seviyede olduğu dişlide eksantrikliğin olduğunu göstermektedir.



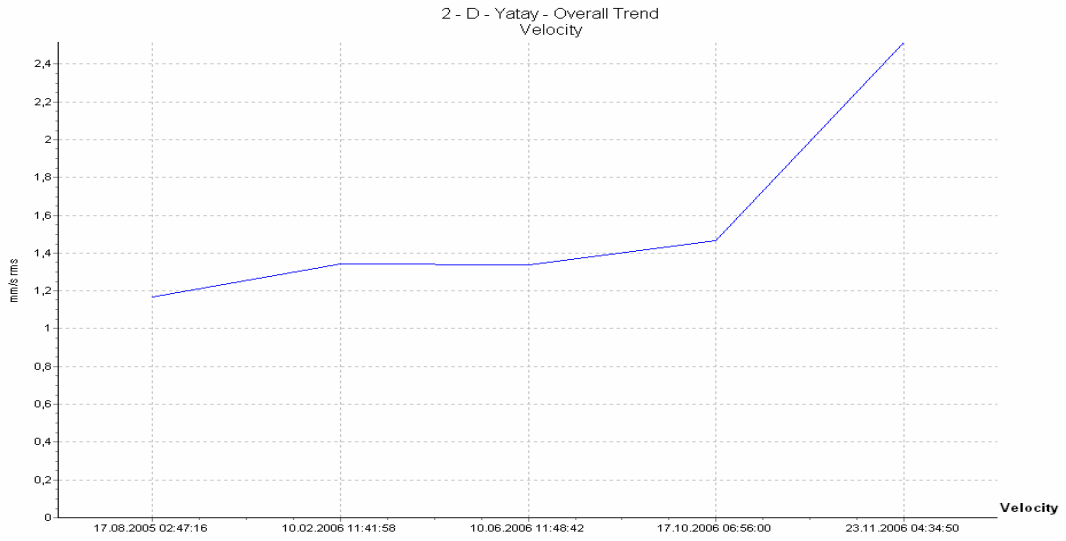
Şekil 9.19. Dişli kavrama frekansları ve harmonikleri

Şekil 9.20. de görülen çoklu spektrum grafiği incelendiğinde dişli kavrama frekansı ve harmoniklerinin genliklerinin 15 aylık bir süre zarfındaki artış miktarı görülmektedir. Makine bu sürede yaklaşık olarak 12 000 000 adet baskı gerçekleştirmiş, bu da dişlinin bu miktarda devir yaptığını göstermektedir.



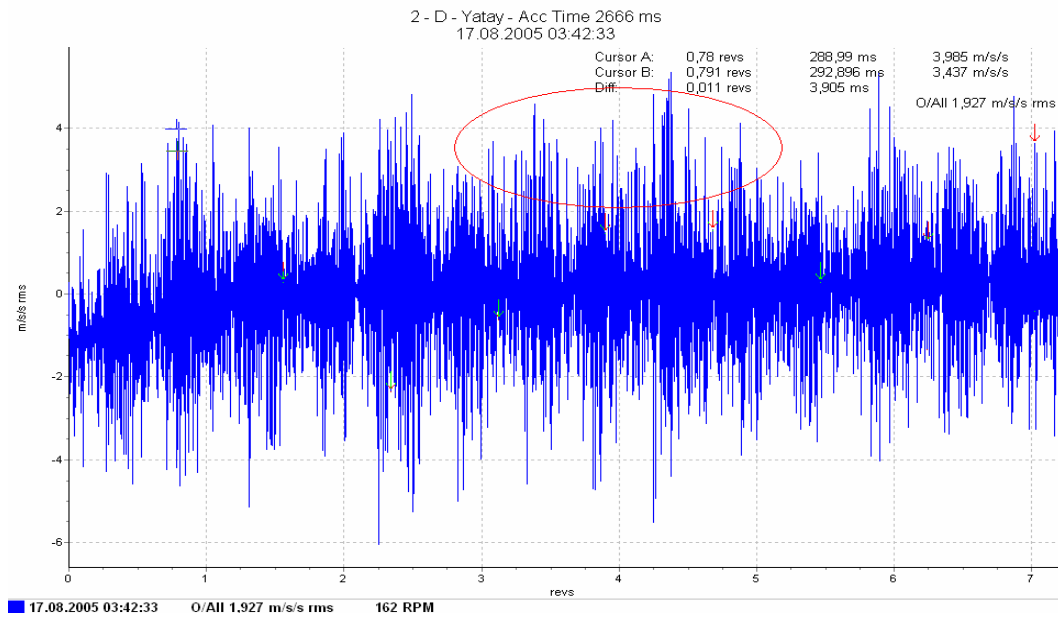
Şekil 9.20. Dişli çoklu spektrum grafiği

Şekil 9.21. de görüldüğü gibi titreşim eğilim grafiği dişli arıza frekansındaki artışın seyrini göstermektedir. 17.08.2005 tarihinde alınan ilk ölçüm spektrumunda genlik seviyesinin 1.166 mm/s olarak ölçüldüğü fakat 23.11.2006 tarihindeki spektrumda ise bu seviyenin 2.515 mm/s seviyesine yükseldiği görülmektedir. Kavrama frekansındaki genlik yükselmesi yükte de bir değişim olmadığına göre mevcut arızanın geliştiğini göstermektedir. Bu yükselme miktarı dişlideki arıza durumunu TS 2782 ye göre üçüncü bölge olan *sınırdaki* bölgesine taşımaktadır. Ayrıca eğilim grafiği incelendiğinde son iki ölçüm arasındaki arıza gelişim hızının yüksek olduğu görülmektedir. Arıza seviyesinin kabul edilemez sınır olan 4.5 mm/s seviyesine çıkmasının, bir sonraki ölçüm tarihinden önce olabileceği tahmin edilmektedir. Bu nedenle, dişliye ilk duruşta müdahale edilerek arızanın giderilmesine karar verilmiştir.



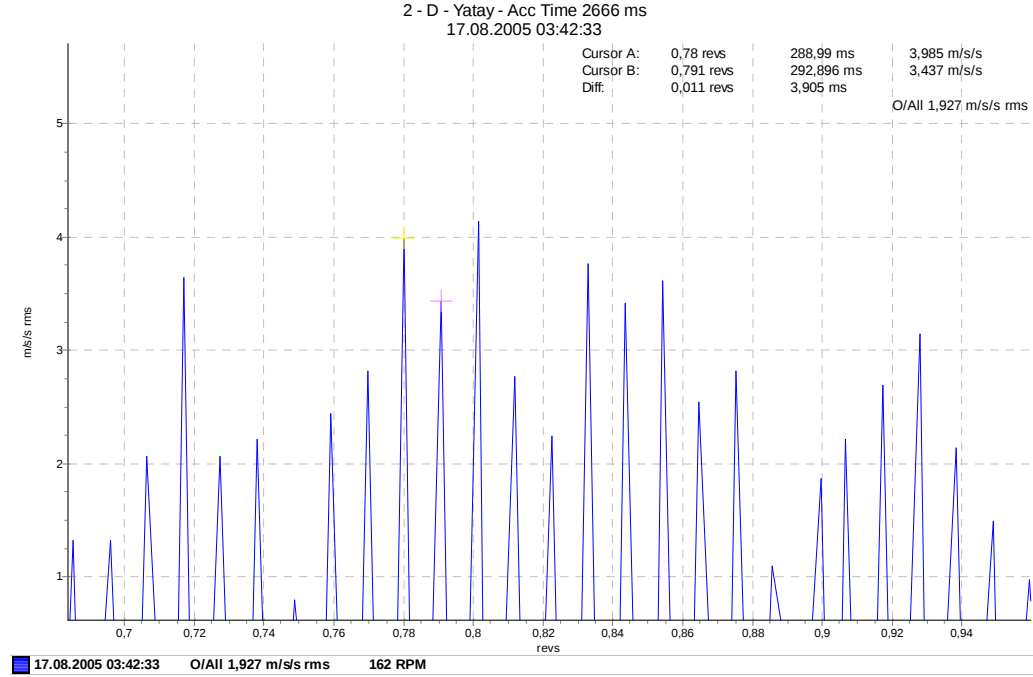
Şekil 9.21. Dişli eğilim (trend) grafiği

Dişliye ait zaman tanım bölgesi grafiği diğer bir deyişle '*Dalga form*' grafiği Şekil 9.22. de görülmektedir. Kavramadan kaynaklanan diş vuruntuları dalga form grafiğini karmaşık bir hale getirmiştir. Ancak yüksek genlikli vuruntuları analiz edebilmek için dalga formun oval çizgi ile işaretlenmiş bölgesinin yakınlaştırılmış görüntüsü Şekil 9.23. de görülmektedir.



Şekil 9.22. Dişli dalga form grafiği

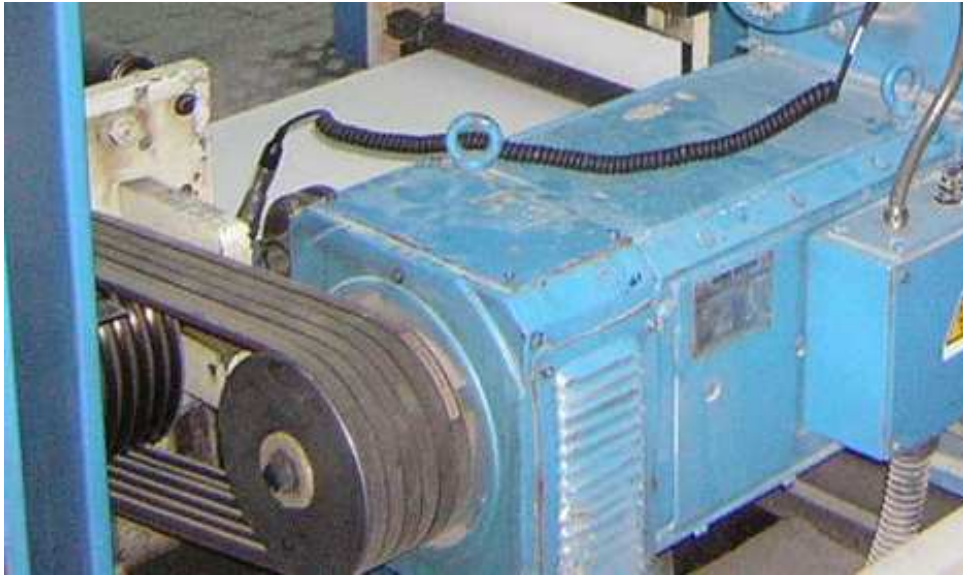
96 diş sayılı çark 162 d/d hız ile dönmekte, bu da saniyede 2,7 devir anlamına gelmektedir. Dişlinin bir devrindeki süre yaklaşık 370 ms, bir dişin geçiş süresi ise 3,9 ms olarak gerçekleşmektedir. Şekil 9.23 de verilen yakınlaştırılmış dalga form grafiği yüksek genlikli vurutuların 3,905 ms de yani bir diş geçiş süresinde gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 9.23. Dişli yakınlaştırılmış dalga form grafiği

## 9.5. Rulman Arızaları

Makinanın 1 numaralı ünitesi olarak belirlenmiş olan ve Resim 9.7. de verilen ana motor 83 kW gücünde 0-2350 d/d dönme hızları aralığında hassas devirler üretebilen bir doğru akım motorudur. Motorda kullanılan rulmanlar FAG 6310 tek sıra bilyalı rulmanlardır. Motor çalışma hızı genellikle 900 d/d olduğundan dolayı ölçümler bu hızda gerçekleştirilmiştir. 900 d/d çalışma hızı, spektrum grafiğinde 15 Hz dönme devri frekansı olarak kendini gösterecektir. Rulman elemanlarına ait hasar frekansları ise 7. bölümde verilmiş olan rulman hasar frekansları hesaplama formülleriyle bulunabileceği gibi, rulman üreticilerinin kataloglarından da temin edilebilmektedir.



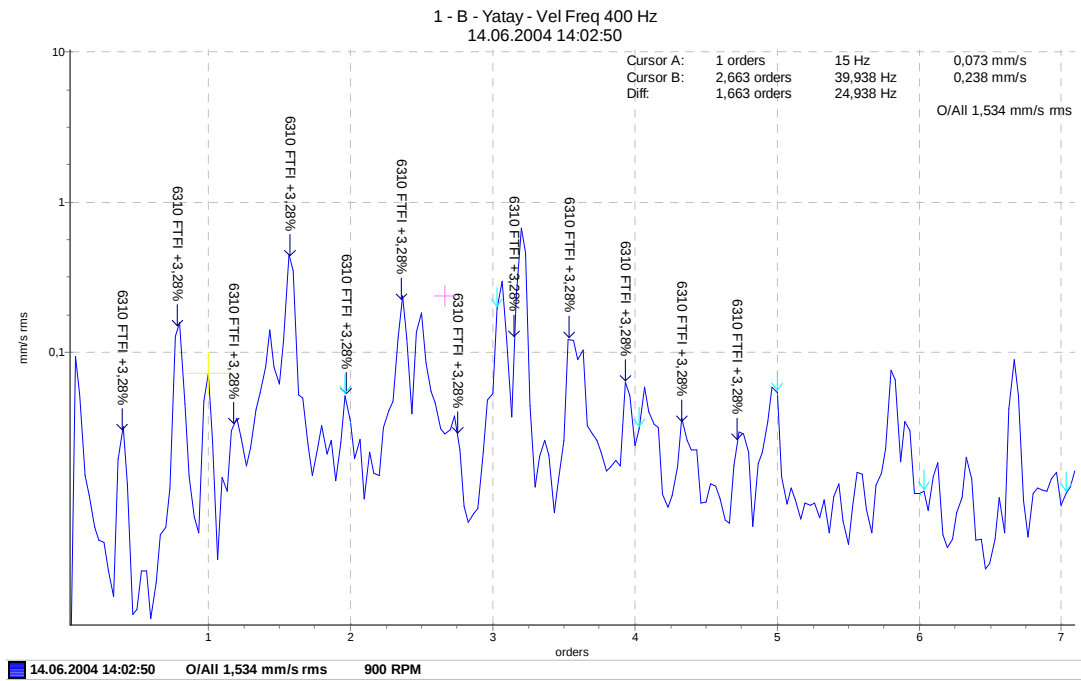
Resim 9.7. Sürekli form baskı makinası ana motoru

Motor üzerinden alınan titreşim ölçümlerinin analizi sonucunda motor rulmanlarına ait arıza frekansları tespit edilmiştir. FAG 6310 numaralı rulman elemanlarına ait titreşim frekansları ve bu frekanslara ait harmonikler Çizelge 9.1. de verilmiştir.

Çizelge 9.1. FAG 6310 rulman frekansları ve frekans harmonikleri

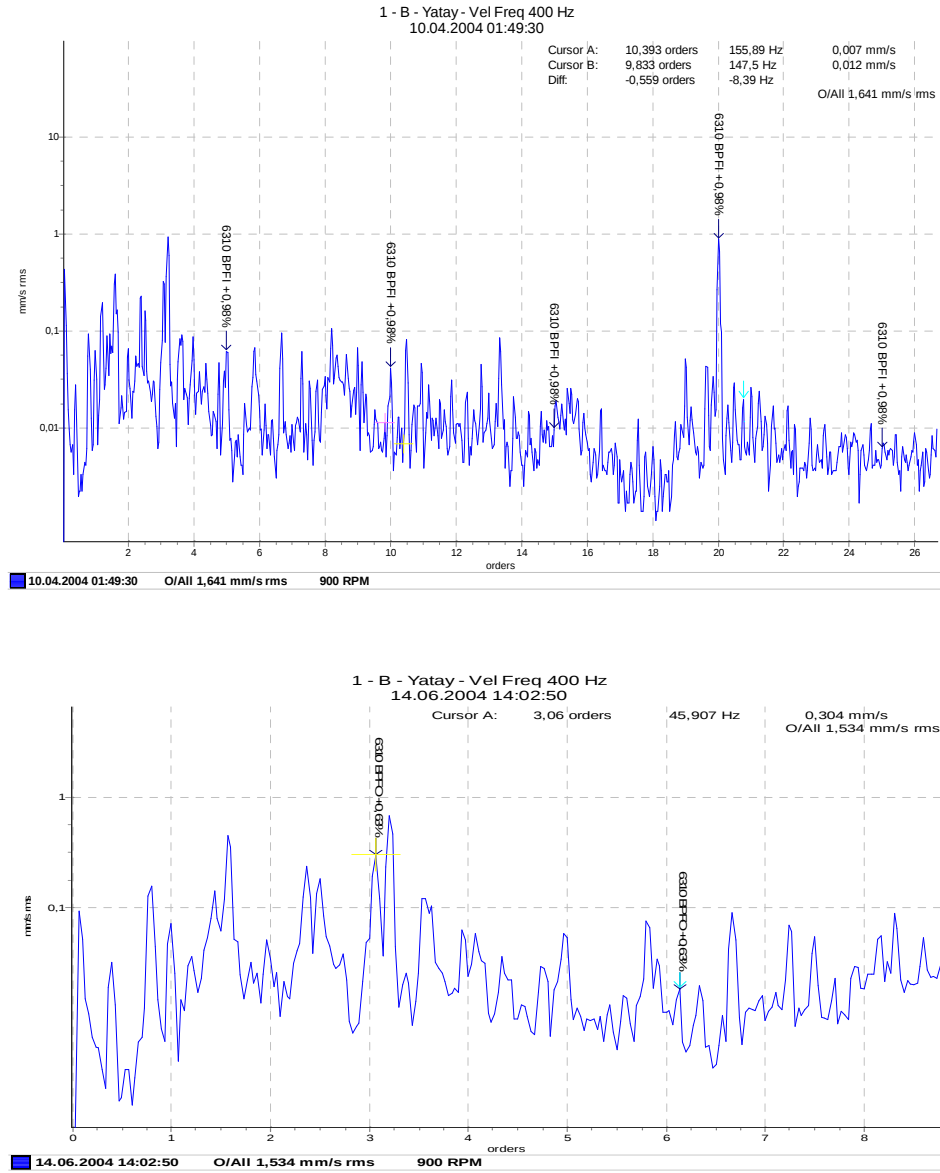
| Harmonik | FTF                        | BSF                                 | BPFO                                               | BPFİ                                           |
|----------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|          | Kafes Frekansı<br>mm/s rms | Bilya Dönüş<br>Frekansı<br>mm/s rms | Dış Bilezik<br>Bilya Geçiş<br>Frekansı<br>mm/s rms | İç Bilezik Bilya<br>Geçiş Frekansı<br>mm/s rms |
| 1        | 0,3810                     | 1,9805                              | 3,0480                                             | 4,9520                                         |
| 2        | 0,7620                     | 3,9610                              | 6,0960                                             | 9,9040                                         |
| 3        | 1,1430                     | 5,9415                              | 9,1440                                             | 14,8560                                        |
| 4        | 1,5240                     | 7,9220                              | 12,1920                                            | 19,8080                                        |
| 5        | 1,9050                     | 9,9025                              | 15,2400                                            | 24,7600                                        |

Şekil 9.24. de verilen yatay eksen alınmış 14.06.2004 tarihli spektrum grafiği incelendiğinde rulmana (FAG 6310) ait temel hasar frekanslarından bilya kafes frekansı (FTFİ) ve harmonikleri belirlenmiştir. Spektrum grafiğinde  $0,38 \times 15 = 5,7$  Hz temel hasar frekansı ve 5,7 Hz ' in katları ise temel hasar frekansının harmonikleri olarak kendini göstermiştir. Bilya kafesi direkt olarak bilyalarla temas halinde çalıştığından, bu durumun bilyalarda bir karıncalanma veya bozulmanın habercisi olabileceğini akla getirmektedir. Hasar frekansının ve harmoniklerinin 1mm/s RMS değerinin altında olduğu ancak harmoniklerinin çokluğu dikkat çekmiş, bilya veya bileziklerde de hasar başlangıcı olabileceği düşünülerek diğer elemanların hasar frekansları da incelenmiştir.



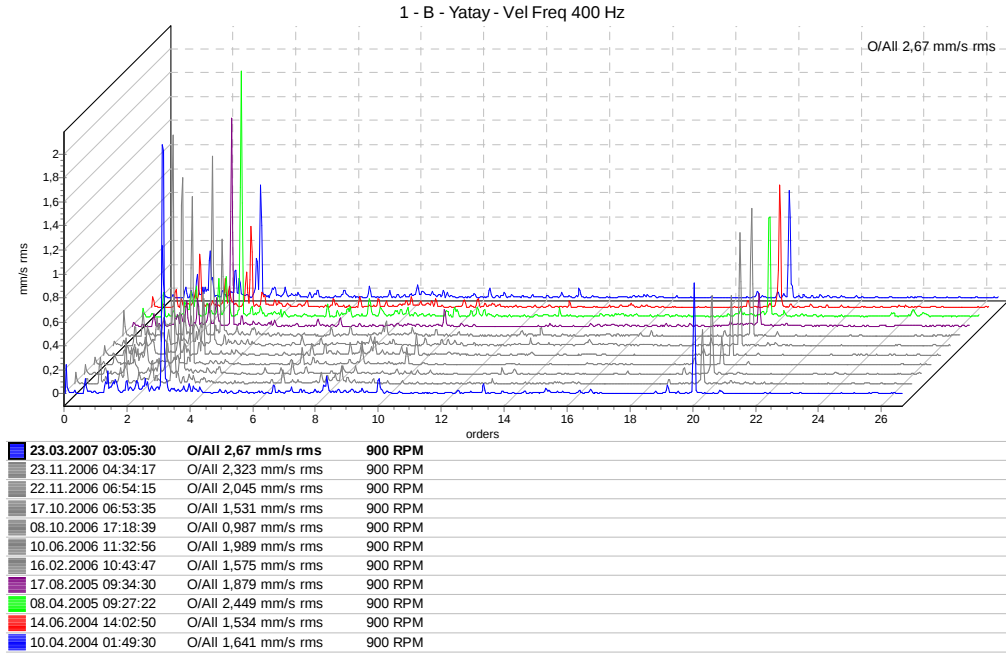
Şekil 9.24. Motor 14.06.2004 Yatay eksen spektrum grafiği

Bileziklere ait temel hasar frekansları ve harmonikleri incelendiğinde, genlik seviyelerinin düşük ancak kafes temel hasar frekansı ile modülasyon sonucu yan bant oluşturduğu bu durumda rulman arızalanma aşamalarından 3. aşamada olduğunu göstermektedir. Bileziklere ait hasar frekansları ve harmonikleri Şekil 9.25. de görülmektedir.



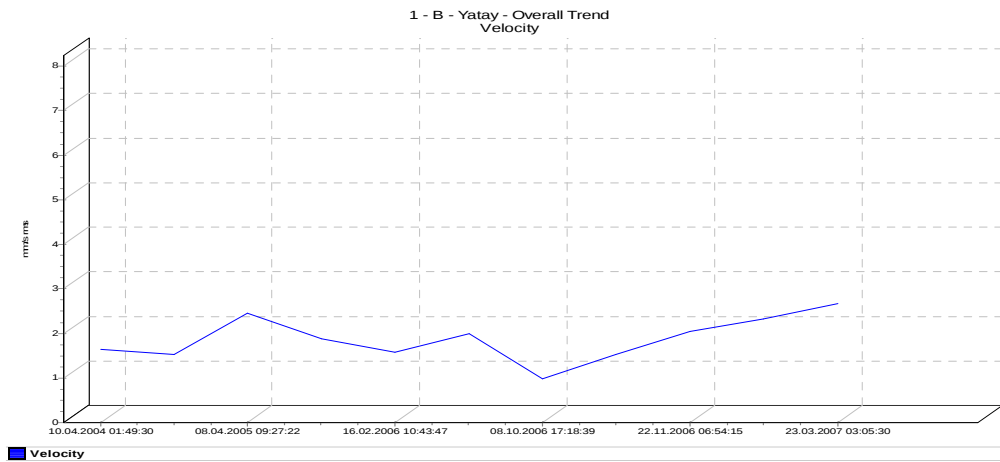
Şekil 9.25. Rulman bilezikleri hasar frekansları

Çoklu spektrum grafiği incelendiğinde titreşim sinyallerinin 300 Hz civarında yükseklik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu seviyelerin rulman elemanları harmonikleri ile doğal frekansların modülasyonu sonucu oluşmuş rezonanslardan kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Çoklu spektrum grafiği Şekil 9.26. da görülmektedir. Periyodik ölçüm spektrumlarını bir arada gösteren çoklu spektrum grafiği incelendiğinde titreşim seviyelerinde önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir.



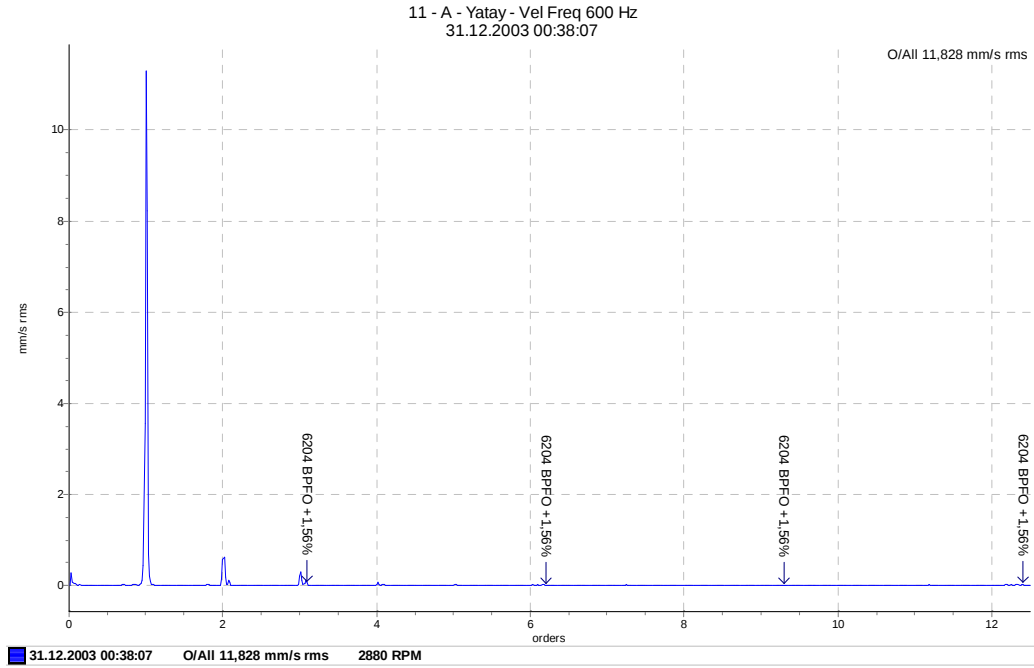
Şekil 9.26. Ana motor çoklu spektrum grafiği

Motor rulman yatağı üzerinden alınan titreşimlere ait seviyelerin eğilimi Şekil 9.27. de verilen eğilim grafiğinde görülmektedir. Eğilim grafiği incelendiğinde titreşim seviyelerinde önemli bir artış olmadığı bu yüzden motor rulmanının hala yararlı ömrünü tamamlamamış olduğu düşünülmüştür. Bu nedenle rulman değiştirilmemiş ancak, sürekli olarak periyodik ölçüm ve analizlerde kontrol altında tutulması gereği benimsenmiştir.



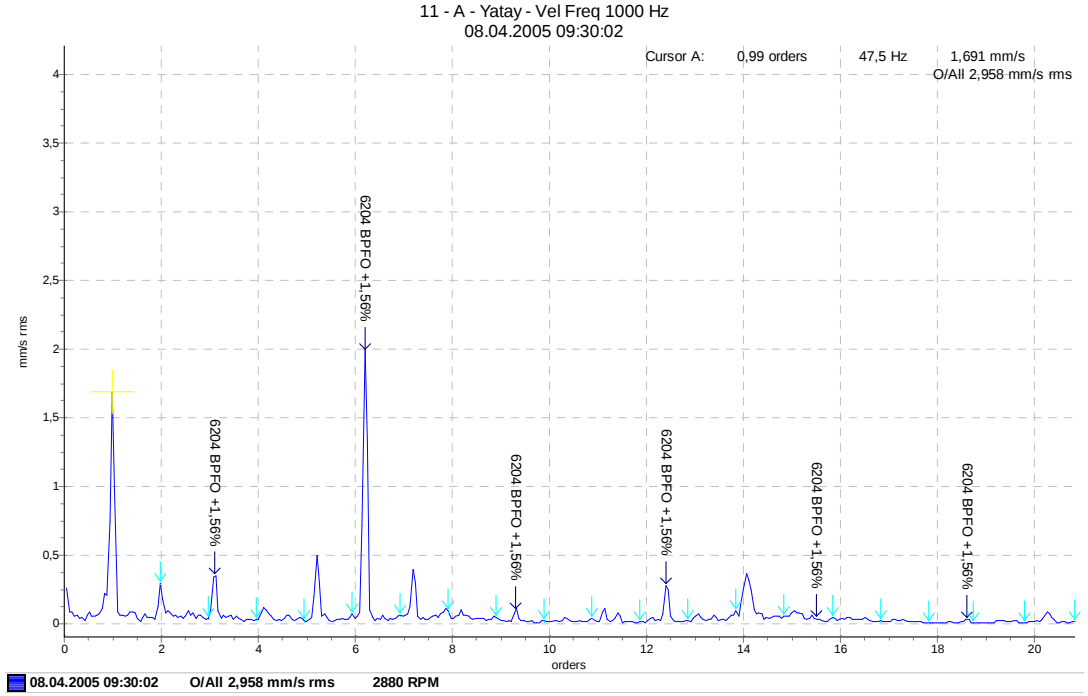
Şekil 9.27. Ana motor eğilim grafiği

Bir başka rulman arızasına örnek olarak da ana motor fan motoruna ait rulman arızası incelenmiştir. Fan motoru ana motor üzerinde 2880 d/d dönme hızı ile çalışan bir alternatif akım motorudur. Motor üzerinde iki tarafta FAG 6204 numaralı rulmanlar bulunmaktadır. Şekil 9.28. de ilk ölçüm yatay eksen spektrumu görülmektedir.



Şekil 9.28. Fan motoru ilk ölçüm spektrum grafiği

Spektrum incelendiğinde motor dönme devri olan 2880 d/d (48 Hz), yani dönme devri birinci katında dengesizlik arızası haricinde bir arıza frekansı tespit edilmediği görülmektedir. Bu arıza daha önce dengesizlik arızası kısmın da incelenmiştir. Periyodik ölçümler incelendiğinde dengesizlik arızasından sonra fan motoruna ait rulman elemanlarından kaynaklanan arıza frekansları tespit edilmiştir. 08.04.2005 tarihli Şekil 9.29. da verilen spektrum incelendiğinde 6204 numaralı rulmana ait dış bilezik hata frekansı (6204 BPFO) ve harmonikleri görülmektedir.



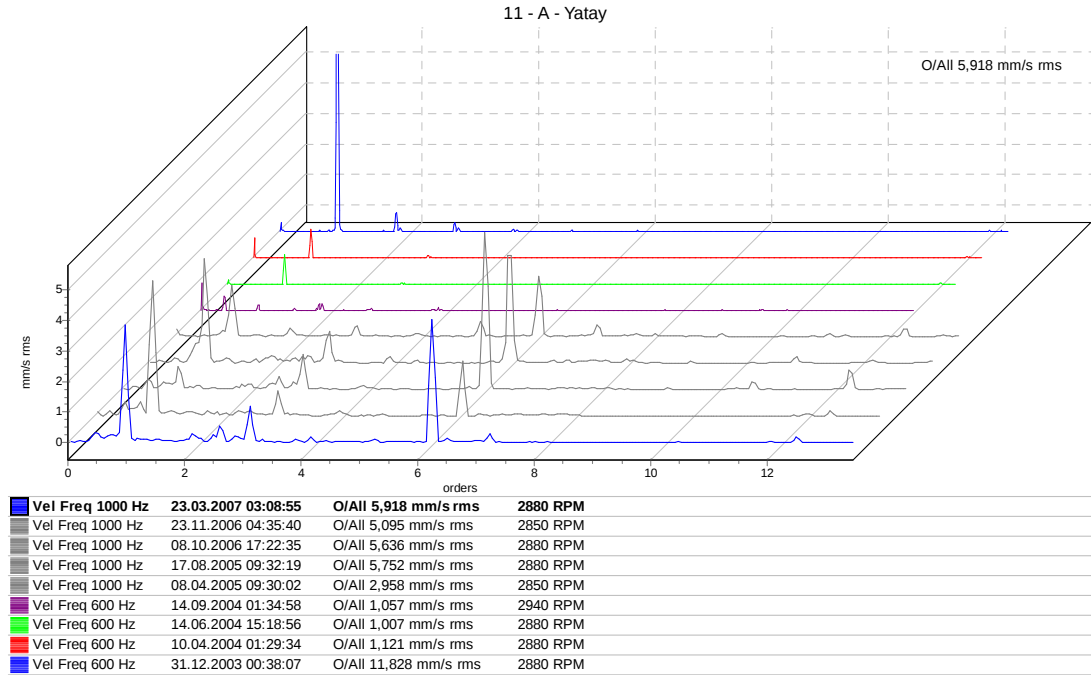
Şekil 9.29. 08.04.2005 tarihli fan motoru spektrum grafiği

Dış bilezik arıza frekansı (BPFO 1X) ve harmoniklerinin (1X,2X,3X,.....10X) genlik miktarları düşük olduğu ancak, arıza frekansı ikinci harmoniğinin (2X) dönme devri frekansı (1X) ile yan bant oluşturduğu tespit edilmiştir. Rulman dış bilezik arıza frekansı harmoniklerine ait yan bantların düşük seviyelerde olduğu dikkate alınarak rulmanın daha yararlı ömrü olabileceği düşüncesiyle bir süre daha çalışmasına karar verilmiştir. Rulmana ait temel arıza frekansları ve frekanslara ait harmonikler, Çizelge 9.2. de verilmiştir.

Çizelge 9.2. FAG 6204 rulman frekansları ve frekans harmonikleri

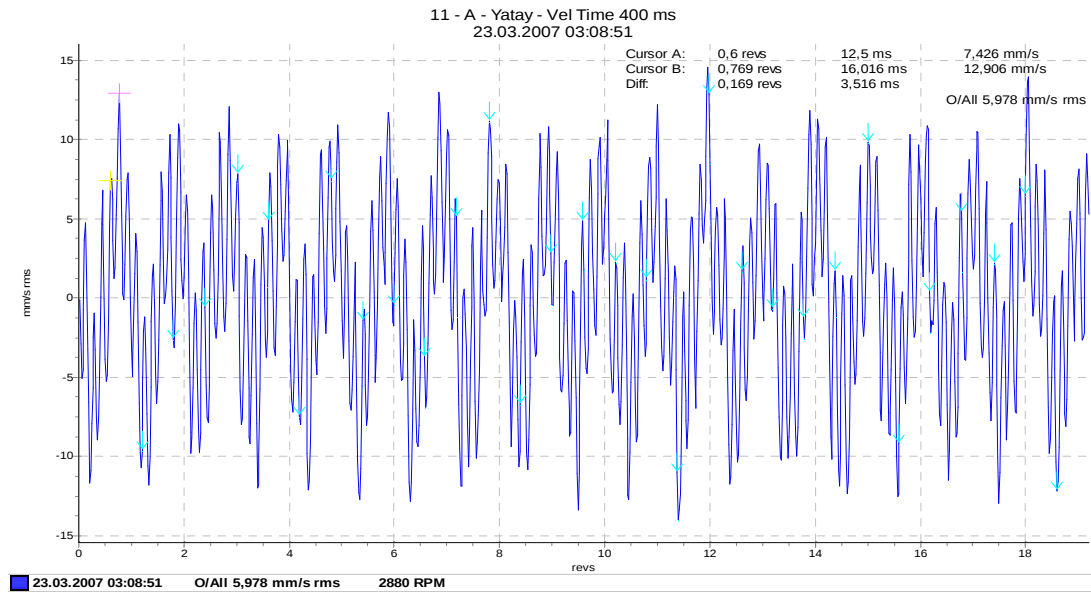
| Harmonik  | FTFİ           | BSF                  | BPFO                             | BPFİ                            |
|-----------|----------------|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|           | Kafes Frekansı | Bilya Dönüş Frekansı | Dış Bilezik Bilya Geçiş Frekansı | İç Bilezik Bilya Geçiş Frekansı |
| <b>1</b>  | 0,3820         | 1,9915               | 3,0520                           | 4,9480                          |
| <b>2</b>  | 0,7640         | 3,9830               | 6,1040                           | 9,8960                          |
| <b>3</b>  | 1,1460         | 5,9745               | 9,1560                           | 14,8440                         |
| <b>4</b>  | 1,5280         | 7,9660               | 12,2080                          | 19,7920                         |
| <b>5</b>  | 1,9100         | 9,9575               | 15,2600                          | 24,7400                         |
| <b>6</b>  | 2,2920         | 11,9490              | 18,3120                          | 29,6880                         |
| <b>7</b>  | 2,6740         | 13,9405              | 21,3640                          | 34,6360                         |
| <b>8</b>  | 3,0560         | 15,9320              | 24,4160                          | 39,5840                         |
| <b>9</b>  | 3,4380         | 17,9235              | 27,4680                          | 44,5320                         |
| <b>10</b> | 3,8200         | 19,9150              | 30,5200                          | 49,4800                         |

Şekil 9.30. da verilen çoklu spektrum grafiği incelendiğinde rulmana ait dış bilezik bilya geçiş frekansı, diğer bir deyişle dış bilezik arıza frekansında zamanla bir artış görülmektedir. Ayrıca dengesizlikten kaynaklanan frekans genliğindeki artış da gözlemlenebilmektedir.



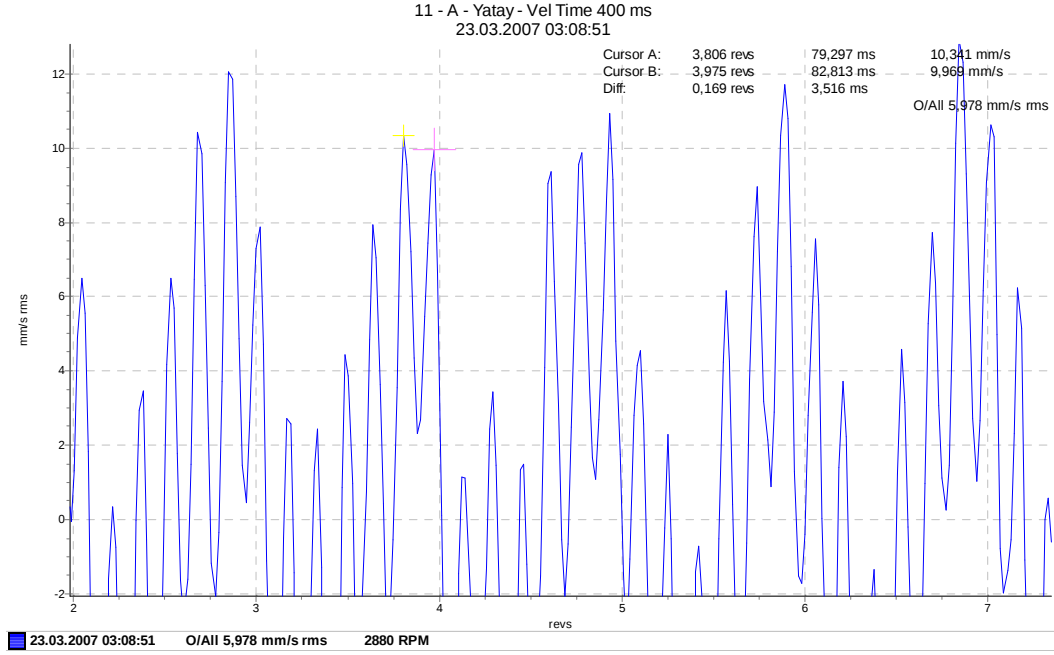
Şekil 9.30. Fan motoru yatay çoklu spektrum grafiği

Şekil 9.31. deki dalga form grafiğinde ise dengesizlikten kaynaklanan darbe sinyalleri (20,8 ms) ve dış bilezik arıza frekansı ikinci harmoniğine ait darbeler (3,30 ms) kendini göstermektedir.



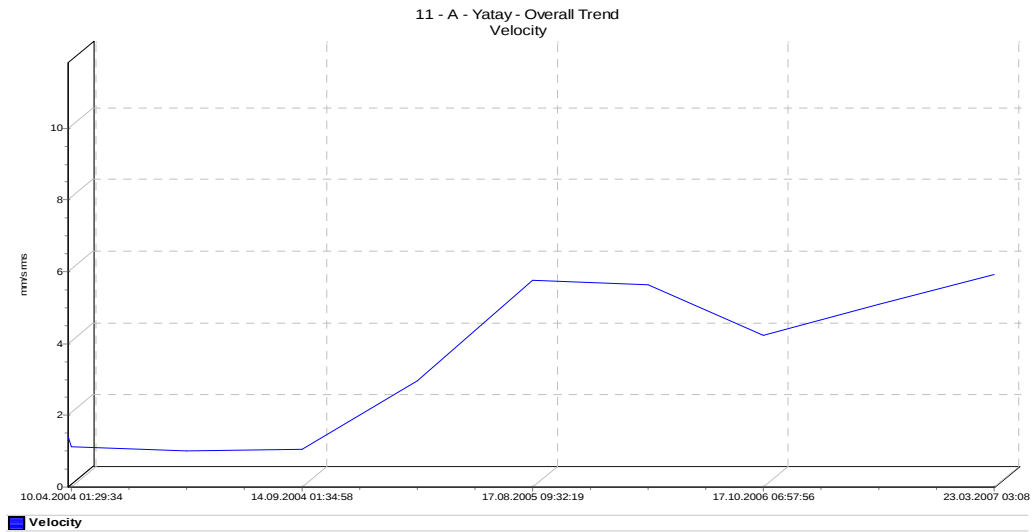
Şekil 9.31. Fan motoru dalga form grafiği

Dalga form grafiğinin yakınlaştırılmış görüntüsü Şekil 9.32. de verilmiştir. Rulman dış bilezik bilye geçiş frekansı 2. harmoniğine (2X) ait darbe sinyalleri görülmektedir.



Şekil 9.32. Fan motoru yakınlaştırılmış dalga form grafiği

Eğilim grafiği fan motoruna ait spektrumlardaki titreşim seviyelerindeki değişimi göstermektedir. Fan motoruna ait titreşimlerin eğilim grafiği Şekil 9.33. de görülmektedir.



Şekil 9.33. fan motoru titreşim eğilim grafiği

## 10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, dönel makinalardaki karakteristik arızalar ve bu arızaların titreşim karakterlerine değinilerek sürekliform baskı makinası kestirimci bakım uygulamasından örnek titreşim analizleri sunulmuştur. Sürekliform baskı makinası kestirimci bakım planı dâhilinde belirlenmiş olan noktalardan periyodik titreşim ölçümleri alınarak analizler yapılmıştır. Arızaların karakteristik titreşim davranışları incelenerek, arızaların daha büyük hasarlar oluşturmalarına fırsat vermeden, başlangıç ve gelişim süreçlerinde müdahale yapılabileceği görülmüştür.

Yapılan titreşim analizleri sonucunda, arızaların daha başlangıç ve gelişim aşamalarında belirlenebilmesi, kestirimci bakımın geleneksel bakım yöntemlerine göre üstünlüğünü ve kritik süreçlerdeki sistemler için gerekliliğini ortaya koymuştur. Kestirimci bakımın uzman personel ve teknolojik altyapıya ihtiyaç duyması yüksek ilk yatırım maliyetlerini ortaya çıkartmakta ancak uzun vade de bu maliyetleri telafi edeceği arızaları önceden tespit etme yeteneği sayesinde görülmüştür.

Bu bölümde 9.bölümde verilen örnek arıza analizleri sonuçları özetlenerek daha sonraki çalışmalara ışık tutacak öneriler sunulmuştur.

### 10.1. Dengesizlik

- Dönel makine elamanlarındaki dengesizlik dönme devri frekansında kendini göstermektedir.
- Spektrumda 1X baskın yükselti ve dalga form grafiğinde periyodik, basit, vuruntusuz ve sinüs deseni şeklinde oluşmaktadır.
- Baskın darbe sinyalleri arasındaki zaman farkı tespit edilerek periyodun bir devir süresine eşit olduğu görülmektedir.

- Fanlarda meydana gelen dengesizlik, zamanla ortam şartlarından kaynaklanabilmekte ve oluşan dengesizlik eğilim grafikleriyle sürekli takip edilebilmektedir.
- Dengesizlikteki genlik seviyesine göre, arıza aşamaları tespit edilirken EK-3 de verilen titreşim seviyeleri standardı etkin olarak kullanılabilmekte ve bu standart değerlere göre alarm ve limit seviyeleri belirlenebilmektedir.

### 10.2. Eksenel Ayarsızlık

- Eksenel ayarsızlık genelde makinanın şaft bağlantılarında tespit edilmiş çoğunlukla açısız eksenel ayarsızlık görülmüştür.
- Şaft bağlantılarındaki eksenel ayarsızlıkta, dönme devri frekansı (1X) ile birlikte, dönme devri ikinci katında (2X) yükselti tespit edilmiştir. Bu titreşim genliğinin (2X), dengesizlikten kaynaklanan (1X) den daha yüksek seviyelerde olabildiği görülmüş, ayarsızlığın seviyesi yükseldikçe bu fark daha fazla artış göstermiştir.
- Eksenel ayarsızlığın paralel eksenel ayarsızlık ya da açısız eksenel ayarsızlık olduğu titreşimlerin yönünden anlaşılmıştır. Açısız eksenel ayarsızlık, eksenel spektrum grafiklerinde, paralel eksenel ayarsızlık ise düşey ve yatay spektrum grafiklerinde görülmektedir.
- Sürekli baskı makinasında tespit edilen eksenel ayarsızlığın gelişimi çoklu spektrum ve eğilim grafiklerinde takip edilerek gerekli önlem alınmış arıza giderildikten sonra genlik seviyesindeki düşüş gerçekleşmiştir.

### 10.3. Mekanik Gevşeklik Boşluk

- Sürekli baskı makinası şaft bağlantısında civata gevşekliğinden kaynaklanan, eksenel ayarsızlıkla beraber mekanik gevşeklik, boşluk problemi tespit edilmiştir.
- Mekanik gevşeklik, boşluk problemi, spektrumda dönme devri harmoniklerinde (1X,2X,3X,4X,...) görülmüştür. Problemin ciddiyeti

artıkça harmoniklerin sayısı artmakta, ayrıca dönme devrinin yarım ve çeyrek harmonikleri de oluşmaktadır.

- Dalga form grafiğinde ayrıca mekanik gevşeklik boşluk probleminin göstergesi olan düzensiz darbe sinyalleri görülmektedir.
- Yoğun darbe vuruntularının etkisi altında çalışan makine ünitesinden alınan titreşim grafikleri, mekanik gevşeklik, boşluk spektrumlarına benzemektedir. Dalga formda darbeden kaynaklanan vuruntular baskın bir şekilde görülmüştür.
- Vuruntu frekansları ve harmonikleri oluşabilecek arıza frekanslarıyla hem genlik hem de frekans modülasyonu oluşturmakta ve spektrumun analizini güçleştirmektedir.
- Makine elemanına ait doğal frekansların bir veya birkaçının, arıza frekanslarıyla çakışması sonucu tehlikeli genlik seviyelerine sebep olabilecek rezonans frekansları oluşabilmektedir.

#### 10.4. Dişli Arızası

- Dişli çarklara ait titreşim grafikleri incelendiğinde baskın titreşim yükseltilerinin dişli kavrama frekansında (dönme devri frekansı X dişli diş sayısı) ve bu frekansın harmoniklerinde olduğu tespit edilmiştir.
- Kavrama frekansı genlik miktarı, harmoniklerin genlik miktarı ve sayısı arızanın ciddiyetini belirlemektedir.
- Kavrama frekansının dönme devri modülasyonu sonucunda oluşan yan bantlar dişli çarkta muhtemel bir boşluk veya eksantriklik hatası olduğunu göstermektedir.
- Dalga form grafiğinde yüksek genlikli darbe sinyalleri, dalga formunu karmaşık bir hale getirmekte, ancak darbe sinyalleri arasındaki süre bir diş geçiş süresi kardır.
- Çoklu spektrum grafiği ve titreşim eğilim grafiği, dişlilerde oluşan hataların zamanla artış miktarını göstererek arızanın gelişim hızı hakkında bilgi vermektedir.

### 10.5. Rulman Arızaları

- Rulman arızaları, rulmanın geometrisi ve mil dönme devrine bağlı olan formüllerle hesaplanan arıza frekanslarında görülmektedir.
- Rulman hasarları, hasarı karakterize eden iç bilezik, dış bilezik, yuvarlanma elemanı ve kafes frekansında ve bunların harmonik ve yan bantlarında tespit edilmiştir.
- Rulman hasar frekansları temel hasar frekanslarının haricinde tabii frekansların temel hasar frekanslarıyla oluşturdukları rezonans frekanslarında da görülebilmektedir.
- Tespit edilen rulman arızasında rulman elemanına ait temel hasar frekansının genlik seviyesinin, hasar frekans harmoniklerinin genlik seviyesinden daha düşük seviyede olduğu görülmüştür.
- Rulmanlarda hasar frekanslarının ve harmoniklerinin tespit edilmesinden sonra bile, rulmanın yararlı ömrünün sona ermeden çalışmaya devam ettiği görülmüştür.
- Rulman arızalarının gelişim takibinde genel titreşim seviyesine göre alınan eğilim grafiklerinin etkinliği görülmüştür.
- Arıza gelişen rulmana ait dalga form grafiğinde, baskın rulman arıza frekansı ve harmoniklerine ait darbe sinyalleri tespit edilmiştir.

### 10.6. Daha Sonraki Çalışmalar İçin Öneriler

- Titreşim analizi yapılacak makine elemanlarının, dönme devirleri, diş sayıları, rulman numaraları gibi teknik özellikleri mutlaka önceden bilinmeli hatta bir tanıtım kartının olması analiz yapmayı kolaylaştıracaktır.
- Titreşim analiz yazılımının desteklemesi durumunda, arızalara ait alarm seviyelerinin kurulması, gözden kaçabilecek ani değer yükselmelerinde uyarıda bulunabilme özelliğinden dolayı kestirimci bakımın etkinliğini artıracaktır.

- Kestirimci bakım tekniklerinden olan, titreşim analizinin arıza tespitinde etkinliğinin yüksek olabilmesi için titreşim ölçümleri doğru noktadan, doğru zamanda ve doğru parametrelerde alınmalıdır.
- Ölçüm sonuçlarının hassasiyetini etkileyebileceğinden titreşimler, dönel elemana ve yataklara mümkün olan en yakın noktalardan, eşit çalışma periyodunda, aynı dönme devrinde ve arıza karakterine uygun parametrelerde alınmalıdır.
- Uygun seçilmemiş frekans aralığı ve düşük grafik çözünürlüğü farklı frekans bölgesindeki arızalara ait titreşim yükseltilerinin tespitini engellemektedir.
- Titreşim sensörünün yanlış bağlanması ve zamanından önce sökülmesi spektrumu ve dalga formu karmaşık ve anlaşılmaz bir hale getirmektedir.
- Ölçüm periyotlarının eşit olmaması arızanın eşit zaman aralığındaki gelişim miktarını doğru olarak yansıtmayacağından dolayı eğilim grafiklerinin etkinliğini etkilemektedir.
- Arızaların genelinde dönme devri frekansı ön plana çıkmaktadır, bu yüzden dönme devri öncelikle bilinmeli ve öncelikle dönme devri frekansları spektrumda belirlenmelidir.
- Tüm dönel elemanlarda bir miktar dengesizlik mevcut olduğundan dönme devrindeki her yükselti arıza anlamına gelmemekte, arıza olabilmesi için genlik seviyesinin ve zamanla seviyedeki artışın tespiti gerekmektedir.
- Titreşim ölçümlerinin mümkün mertebede üç eksen de alınması arızayı en doğru analiz için gereklidir.
- Eksenel ayarsızlığın açısız ya da paralel ayarsızlık olduğuna karar verebilmek için farklı yönlerde alınmış titreşim spektrumları karşılaştırılmalıdır.
- Dişli çark arızalarında dişli kavrama frekansı, dönme devrinin diş sayısı ile çarpımı sonucu belirlenmekte, bu yüzden titreşim ölçümü parametre ayarı belirlenirken, yeterince geniş frekans aralığı seçilmelidir. Dar ve geniş frekans aralığı olarak iki adet titreşim ölçümü alınması analizin etkinliğini artıracaktır.

- Rulman arızalarında, elemanlara ait hasar frekans ve bu frekansların harmonik ve yan bantlarının tespiti ile birlikte doğal frekansların, rezonans frekanslarının ve kritik hızların belirlenmesi için Campell diyagramlarının kullanılması analizin etkinliğini artıracaktır.
- Düzenli darbelerin mevcut olduğu sistemlerde titreşim analizi yapılırken darbe vuruntuları spektrumda ve dalga formda belirlenmeli arıza frekansları ve arıza harmonik frekansları ile modülasyonları dikkate alınmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Belek, T.H. ve Güvenç, S., "Endüstriyel Tesislerin Bakımında Modern Yaklaşım : Dinamik Erken Uyarıcı Bakım Yöntemleri", **Mühendis ve Makine Dergisi**, 29, (339): 29-36 (1988).
2. Sönmez, A.İ. ve Baykasoğlu,A., "Bilgisayar yardımı ile küçük ve orta ölçekli işletmeler için bakım sistemi planlaması", **Mühendis ve Makine Dergisi**, 37:17-22 (1996).
3. Köse, K. Ve Sümen, H., "Kestirimci Bakım yöntemini Uygulamak", **Otomasyon**, 115, (2001).
4. Altay, O., "Önleyici bakım Amacıyla makine Titreşimlerinin İzlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 70 (1986).
5. Feyzullahoğlu, E., "Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Uygulamaları", **Mühendis ve Makine Dergisi**, 42 (503): 30-37 (2001).
6. Orhan, S., Aktürk, N. Ve Çelik, V., "Bir Santrifüj Pompa rulmanlarının Çalışabilirliğinin Titreşim Analizi ile Belirlenmesi", **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 16(3):543-552 (2003).
7. Çağlayan. H. İ., "Değişik Tip Pompalarda Titreşim Ölçüm ve Analizi ile Arıza Tanımı" **VibraTek Teknik Bülten 25, Ankara**, 2-8 (2003).
8. Orhan. S., "Dönen makinalarda oluşan arızalar ve titreşim ilişkisi" **TEKNOLOJİ**, 6 (3-4): 41-48 (2003).
9. Hamzaoui, N., Boisson, C. And Lesueur, C., "Vibro-acoustic Analysis and Identification of Defects in Rotating Machinery, Part I: Theoretical Model", **JSV**, 216(4): 553-570 (1998).
10. Hamzaoui, N., Boisson, C. And Lesueur, C., "Vibro-acoustic Analysis and Identification of Defects in Rotating Machinery, Part II: Experimental Study", **JSV**, 216(4): 571-583 (1998).
11. Çağlayan, H. İ., "Sağlıklı Titreşim Analizi İçin 3 Eksende Ölçüm Neden Gerekli?", **Otomasyon**, 159: 84-88 (2005).
12. Köse, R. K., "Makina Arızalarının Belirlenmesinde Titreşim Analizi", **Otomasyon**, 130: 88-90 (2003).
13. Köse, R. K., "Makina Titreşimleri, Sürekli İzleme Sistemleri (Monitörü)", **Makine Tek**, 76: 70-76 (2004).

14. Orhan, S. Ve Aktürk, N., "Aktarma Organı Dişlilerinde oluşan Fiziksel Hataların Titreşim Analizi İle Belirlenmesi", **Gazi Üniv.Müh. Mim. Fak.Der**, 18 (3): 97-106 (2003).
15. Öztürk, H., Yeşilyurt, İ. Ve Sabuncu, M., "Dişli Çark Oyukçuk Arızasının Titreşim Analizi ile Tespiti", **Makine Tek**, 98: 72-79 (2005).
16. Fetvacı, M. C. ve İmrak, E. C., "Dişli Çarklarda Meydana Gelen Hataların Durum İzleme Metodlarıyla Tespiti", **Makine Tek**, 93: 52-56 (2005).
17. Aktürk. N., Üzkurt. İ. Ve Yüksel. Ş., "Titreşim analiziyle rulmanların çalışabilirlik durumlarının belirlenmesi", **Mühendis ve Makina Dergisi**, 503: 28-33 (2000).
18. Arslan, H., Aktürk, N., "Açısal Temaslı Bilyalı Rulmanlarda Bilya Titreşimlerinin İncelenmesi", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 19 (3): 305-312 (2004).
19. Karaçay, T., "Açısal Temaslı Rulmanlarla Yataklanmış Şaftların Dinamiği ve Rulman Hatalarının Deneysel Analizi" Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 34-37 (2006).
20. Ayaz, E. ve Şeker, S., "Elektrik Motorlarında Rulman Arızasının Gelişimi Üzerine İşaret Tabanlı İstatistiksel Bir İnceleme" **3 E Dergisi**, 91: 46-49 (2001).
21. İmrek, H. ve Bağcı, M., "Rulmanlı Yataklardaki Kayıplar" **Makine Tek**, 94: 98-101 (2005).
22. Orhan, S., Arslan, H. ve Aktürk, N., "Titreşim Analiziyle Rulman Arızalarının Belirlenmesi", **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi**, 18 (2): 39-48 (2003).
23. Arslan, H. Orhan, S. ve Aktürk, N., "Bilyalı rulman hasarlarının neden olduğu titreşimlerin modellenmesi", **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ**, 18 (4): 123-146 (2003).
24. Çağlayan H.i., Yılmaz M., "Elektrik Motorlarında Arıza Tespit Yöntemleri 2. Bölüm", **Otomasyon**, 119: 122-127 (2002).
25. Uzun. İ., Çolakoğlu. M., "Değişik kesitli profil malzemelerdeki doğal titreşim frekanslarının ölçülmesi ve hesaplanması", **Teknoloji**, 7 (3): 435-444 (2004).

26. Aydoğan. M.Ö., Özgüven, H.N., "Titreşim ölçümüyle mekanik Yapılarda Çatlak Saptanması", **12. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu UMTS2005**, Erciyes Üniversitesi Kayseri, 9 -11 (2005).
27. Aktürk, N., "Application of Vibration Monitoring to Rotating Machinery", **Journal of the Institute of Science and Technology**, 10 (3): 419-432 (1997).
28. Ball, P.G., "Machine Wear Analysis- A Rotational Approach to Methods Integration for Maximum Benefits", **Lubrication Engineering**, 54(3): 18-22 (1998).
29. Belek, H.T., Toprak, T., "Endüstriyel Tesislerde Makina Performansına Dayalı Bakım Planlaması", **İ.T.Ü. Mak. Fak. Sürekli Eğitim Kurs Notu**, 20-22 (1997).
30. Köse, K., Çağlayan, İ., "Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Semineri", **TMMOB Kocaeli Bölge Temsilciliği**, 1-30 (1991).
31. R, Keith Mobley., "Vibration Fundamentals", **Newnes Yayınevi**, USA, 372 (1999).
32. Y,S , Lee ve C, W, Lee., "Modelling and Vibration Analysis of Misaligned Rotor-Ball Bearing Systems", **Journal of Sound and Vibration**, 224 (1): 17-32, (1999).
33. B. Overton Basic Vibration Primer, **DoctorKnows Application Paper, Computational Systems Incorporated**, Knoxville, TN, USA. 162-164 (2002).
34. İnternet : Computational System Inc Knoxville, USA "Introduction Time Waveform Analysis" [http:// www.compusys.com](http://www.compusys.com)
35. İnternet : Universal Technologies Inc "An Introduction to Time WaveformAnalysis" <http://www.unitechinc.com/pdf/IntroductiontoTimeWaveformAnalysis.pdf>
36. Staszewski, W. J., "Gearbox Vibration Diagnostics-An Overview", **The 8th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management** (COMADEM-96), England, 16 -18 (1996).
37. Pape, D.B. and Houser, D. R., "Signal Processing for the Detection of Gear Manufacturing Discrepancies", **Noise-Con 85, The Ohio State University Columbus**, Ohio, USA, 3-5, 305-314 (1985).

38. Dalpiaz, G. and Meneghetti, U., "Monitoring Fatigue Cracks in Gears", **NDT&International**, 24 (6): 303-306 (1991).
39. Smith, J. D., "The Uses and Limitations of Transmission Error", **Gear Technology**, 23: 34-39 (1988).
40. Brie, D., Tomczak, M., Oehlman, H. and Richard, A., "Gear Crack Detection by Adaptive Amplitude and Phase Modulation", **Mechanical Systems and Signal Processing**, 11(1): 149-167 (1997).
41. Singh, A., Houser, D. R. and Vijayakar, S., "Early Detection of Gear Pitting", **DE-Vol.88, ASME Power Transmission and Gearing Conf.**, 673-678 (1996).
42. Wang, W. J. and McFadden, P. D., "Application of Orthogonal Wavelets to Early Gear Damage Detection", **Mechanical Systems and Signal Processing**, 9(5): 497-507 (1995).
43. Taylor, J. I., The Vibration Analysis Handbook, **Vibration Consultant Inc.**, Florida, USA, 273 (1994).
44. Dalpiaz, G., Rivola, A. and Rubini, R., "Gear Fault Monitoring: Comparison of Vibration Analysis Techniques", **3rd International Conference Acoustical and Vibratory Surveillance Methods and Diagnostics Techniques**, 13-15, 623- 632 (1998).
45. Orhan, S., "Rulmanlarla Yataklanmış Dinamik Sistemlerin Titreşim Analiziyle Kestirimci Bakımı", Doktora Tezi, **Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı**, Kırıkkale, 57 (2002).
46. Reeves, T., "Failure Modes of Rolling Element Bearings", **Doctor Know® Application Paper, Computational Systems Incorporated**, Knoxville, TN, USA, 328-329 (2002).

## EKLER

## EK-1 Sürekli form baskı makinası titreşim ölçüm planı

| SÜREKLİ FORM BASKI MAKİNASI TİTREŞİM ÖLÇÜM PLANI |                        |                    |                              |         |       |             |           |              |
|--------------------------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|---------|-------|-------------|-----------|--------------|
| NO                                               | ÖLÇÜM ROTASI           | ÖLÇÜM NOKTASI      | ÖLÇÜM EKSENLERİ <sup>1</sup> |         |       | AÇIKLAMALAR |           |              |
|                                                  |                        |                    | YATAY                        | EKSENEL | DÜŞEY | DEVİR SAYI  | RULMAN NO | DİŞ SAYISI   |
| 1                                                | ANA MOTOR              | A MOTOR ARKA       | X                            | X       | X     | 780         | 6310      | 24 CM KASNAK |
|                                                  |                        | B MOTOR ÖN         | X                            | X       | X     | 780         | 6310      |              |
|                                                  |                        | C THRK KSNK YATAK1 | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 20CM KASNAK  |
|                                                  |                        | D THRK KSNK YATAK2 | X                            | X       | X     | 660         | 6309      |              |
| 2                                                | 3. BASKI ÜNİTESİ       | A ORTA             | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | B ÇIKIŞ            | X                            | X       | X     | 360         | 6309      | 48           |
|                                                  |                        | C GİRİŞ            | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | D DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
|                                                  |                        | E DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
|                                                  |                        | F DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 360         | 6004      | 48           |
|                                                  |                        | G KÜÇÜK ŞANZUMAN   | X                            | X       | X     | 675         | 6203      | 22 konik     |
| 3                                                | 4. BASKI ÜNİTESİ       | A ORTA             | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | B ÇIKIŞ            | X                            | X       | X     | 360         | 6309      | 48           |
|                                                  |                        | C GİRİŞ            | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | D DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
|                                                  |                        | E DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
|                                                  |                        | F DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 360         | 6004      | 48           |
|                                                  |                        | G KÜÇÜK ŞANZUMAN   | X                            | X       | X     | 675         | 6203      | 22 konik     |
| 4                                                | KAVRAMA ŞANZUMANI      | A ORTA             | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | B ÇIKIŞ            | X                            | X       | X     | 360         | 6309      | 48           |
|                                                  |                        | C GİRİŞ            | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
| 5                                                | ÇEKME ŞANZUMANI        | A ORTA             | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | B ÇIKIŞ            | X                            | X       | X     | 360         | 6309      | 48           |
|                                                  |                        | C GİRİŞ            | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | D DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
|                                                  |                        | E DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
|                                                  |                        | F DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 360         | 6004      | 48           |
|                                                  |                        | G DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
|                                                  |                        | H DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 360         | 6004      | 48           |
| 6                                                | DELĞİ ŞANZUMANI        | A ORTA             | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | B ÇIKIŞ            | X                            | X       | X     | 360         | 6309      | 48           |
|                                                  |                        | C GİRİŞ            | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | D DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
| 7                                                | 1. NUMARATÖR ŞANZUMANI | A ORTA             | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | B ÇIKIŞ            | X                            | X       | X     | 360         | 6309      | 48           |
|                                                  |                        | C GİRİŞ            | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | D DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
| 8                                                | 2. NUMARATÖR ŞANZUMANI | A ORTA             | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | B ÇIKIŞ            | X                            | X       | X     | 360         | 6309      | 48           |
|                                                  |                        | C GİRİŞ            | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | D DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
|                                                  |                        | F DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
| 9                                                | PERFORAJ ŞANZUMANI     | A ORTA             | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | B ÇIKIŞ            | X                            | X       | X     | 360         | 6309      | 48           |
|                                                  |                        | C GİRİŞ            | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 24           |
|                                                  |                        | D DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
|                                                  |                        | E DİŞLİ ÇARK       |                              | X       |       | 180         | 6004      | 96           |
| 10                                               | SON ÇIKIŞ ŞANZUMANI    | A GİRİŞ            | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 36 konik     |
|                                                  |                        | B ÇIKIŞ            | X                            | X       | X     | 660         | 6309      | 36 konik     |
| 11                                               | FAN (Motor Üst)        | A GİRİŞ            | X                            | X       | X     | 2880        | 6203      |              |

EK–2 Commtest marka titreşim ölçme cihazı (Spektrum Analiz Cihazı) ve titreşim sensörü



Resim Ek–2.1. Titreşim ölçüm cihazı ve titreşim sensörü

Commtest VB 3000 Titreşim analiz cihazı (spektrum Analizörü)

Teknik özellikler

1. 1–20000 Hz frekans ölçüm aralığı
2. ISO 2372 ve ISO10816 normlarına göre seviyeleri otomatik karşılaştırma
3. Spektrum, zaman düzlemi, demodulation, orbit ve bode plots, cross channel faz ölçüm ve analizleri
4. Vurma testi, Run-up/Coast Down test, time synchronous averaging (9).

Titreşim sensörü (Akselerometre)

Teknik özellikler

1. 100 mV/g hassasiyet.
2. Paslanmaz çelik gövde
3. 0,5 Hz ile 15 kHz aralığında frekans ölçümü
4.  $\pm 50$  g Dinamik ranj
5. -50°C ile 121°C sıcaklık ında kullanım
6. Kendinden kablolu, konektör bağlantılı veya yan çıkış seçenekleri
7. Direkt yatağı vidalama veya ara parça yapıştırma seçeneğı (9).



## EK-4 Arızalar ve oluşturdıkları belirgin titreşim frekansları

| Sebeup                                                                                                                         | Frekans                                                 | Yön                    | Faz ilişkisi                          | Genlik |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------|
| <b>1. Dengesizlik</b>                                                                                                          |                                                         |                        |                                       |        |
| <b>1.1.</b> Kütle dengesizliği                                                                                                 | 1x                                                      | Radyal                 | Aynı noktada yatay düşey arasında 90° | Sabit  |
| <b>1.2.</b> Statik dengesizlik                                                                                                 | 1x                                                      | Radyal                 | Radyalde iki yatakta aynı             |        |
| <b>1.3.</b> Dinamik dengesizlik                                                                                                | 1x                                                      | Radyal                 | Eksenelde ve radyalde 180°            |        |
| <b>2. Eğik Mil</b>                                                                                                             |                                                         |                        |                                       |        |
| <b>2.1.</b> Eğik Mil                                                                                                           | Genellikle 1x, zaman zaman 2x                           | Eksenel                | Yataklar arası 180° fark              | Sabit  |
| <b>3. Eksen kaçıklığı</b>                                                                                                      |                                                         |                        |                                       |        |
| <b>3.1.</b> Paralel                                                                                                            | 1x, 2x,bazen 3x,4x                                      | Radyal                 | Radyalde 180°                         | Sabit  |
| <b>3.2.</b> Açısal                                                                                                             | 1x, 2x bazen 3x,4x                                      | Eksenel                | Eksenelde 180°                        | Sabit  |
| <b>3.3.</b> Her ikisi                                                                                                          | 1x, 2x bazen 3x,4x                                      | Radyal ve/veya eksenel | 180°<br>180°                          | Sabit  |
| <b>4. Gevşeklik</b>                                                                                                            |                                                         |                        |                                       |        |
| <b>4.1.</b> Rulman Yatakları gibi dönmeyen parçalar                                                                            | 1x,2x,3x baskın, 10x'e kadar düşük genlik               | Radyal                 |                                       | Sabit  |
| <b>4.2.</b> Yönlendirici gibi dönen parçalar                                                                                   | 1x baskın, 10x'e kadar düşük genlik                     | Radyal                 |                                       | Sabit  |
| <b>5. Hasarlı Rulman</b>                                                                                                       |                                                         |                        |                                       |        |
| <b>5.1.</b> Rulman elemanlarının hesapla belirlenen arıza frekanslarında ve bu frekansların harmoniklerinde kendini tekrarlar. |                                                         |                        |                                       |        |
| <b>6. Kararsızlık</b>                                                                                                          |                                                         |                        |                                       |        |
| <b>6.1.</b> Yağ Kırılması                                                                                                      | 0.4-0.46xdevir/dak                                      | Radyal                 |                                       | Sabit  |
| <b>6.2.</b> Rotorda aşınma                                                                                                     | 0.5xdevir/dak ve yarı harmoniklerinde kendini tekrarlar | Radyal                 |                                       | Sabit  |

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AÇIKEL, Serhan  
 Uyuşu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 30.10.1974 Çayıralan  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (312) 497 41 02  
 Faks : 0 (312) 497 40 61  
 e-mail : [serhan@titresimanalizi.com](mailto:serhan@titresimanalizi.com)

### Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi                   | Mezuniyet Tarihi |
|--------|---------------------------------|------------------|
| Lisans | Gazi Üniversitesi / Makina Eğt. | 1997             |
| Lise   | Kırıkkale End. Mes. Lisesi      | 1991             |

### İş Deneyimi

| Yıl       | Yer                             | Görev             |
|-----------|---------------------------------|-------------------|
| 1994–1996 | Enmak Ltd. Şti                  | Kalite Sorumlusu  |
| 1996–1998 | Pekış Makine Ltd. Şti           | Üretim Sorumlusu  |
| 1998–2002 | M.Kemalpaşa End. Mes. Lis.      | Teknik Öğretmen   |
| 2002–2006 | Eğitim Teknolojileri Genel Müd. | Makina Bakım Sor. |
| 2006–2007 | Eğitim Teknolojileri Genel Müd. | Teknik Öğretmen   |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

1. S. AÇIKEL, T. KARAÇAY ve N. AKTÜRK, "Sürekli Form Baskı Makinası Fan Arızasının Titreşim Sinyali Yardımıyla Kestirimci Bakım Analizi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., (gönderildi).

2. S. AÇIKEL, T. KARAÇAY ve N. AKTÜRK,"Kestirimci Bakım ve Dişlilerde Oluşan Hataların Titreşim Analizi İle Belirlenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., (gönderildi).