

# TİTREŞİM ANALİZİ İLE MAKİNA ELEMANLARI ARIZALARININ BELİRLENMESİ

**Mete KALYONCU**

*İrd. Doç. Dr., Selçuk Ü., Müh. Mim. Fak., Makina Müh. Bölümü*

## ÖZET

Bu çalışmada, makinalarda ve makina elemanlarında meydana gelen arızaların tespitinde titreşim analizinin kullanımı ve faydaları sunulmuştur. Makina veya teçhizatın sürekli gözlenmesi ve işlem görme şartlarının ve bunların zamanla gelişiminin analiz edilmesini içeren ve esas olarak titreşim ölçümü metodu kullanılan kestirimci bakım irdelenmiştir. Örnek uygulama olarak rulmanlarda meydana gelen arızalar incelenmiş ve titreşim analiz sonuçları grafiksel olarak verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Titreşim analizi, makina arızaları, makina elemanları arızaları, kestirimci bakım

## ABSTRACT

In this study, it is presented the benefits and using of vibration analysis in damage detection occurred machineries and machine parts. Predictive maintenance using generally vibration measurement methods, and including being monitored continually machinery or machine part and being analyzed conditions of process and changes with time of these, is investigated. Faults of bearing are discussed for example and results of analysis are presented in graphical form.

**Keywords:** Vibration analysis, damage of machinery, damage of machine part, predictive maintenance

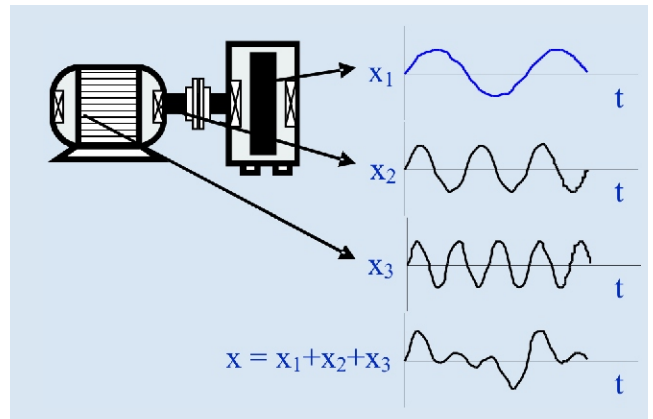
## GİRİŞ

**A**rıza yapan makinaların bakım ve onarımı hem zahmetli, hem de maliyetlidir. Beklenmeyen arızalarda bakım ve onarım uzun sürer, yedek parça bulmak zorlaşır, bu arada da üretim kayıpları ve maliyetler de artar. Bir makinadan en yüksek verimi almak ve bakımdan kaynaklanan üretim kayıplarını en aza indirmek için bugüne kadar değişik yaklaşımlar benimsenmiştir. Bunlardan biri de, "Durum İzlemeye Dayalı Bakım" ya da "Kestirimci Bakım" dediğimiz bakım anlayışdır. Bu anlayışın benimsendiği uygulamalarda, bakım maliyetlerinde çok önemli azalmalar kaydedilmiştir. Bu azalmaların genel ortalamaları; arıza bakım ve yedek parça maliyetlerinde %27, koruyucu bakım maliyetlerinde %74, toplam duruş sürelerinde %40'dır [1]. Bu yöntemle arıza tahminleri yapılırken titreşim analizi metotları temel olarak kullanılır.

## TİTREŞİM ANALİZİ

Makinalar belli bir hasara maruz kaldıklarında, bu hasarlara yönelik uyarı sinyalleri verirler. En iyi uyarı sinyalini

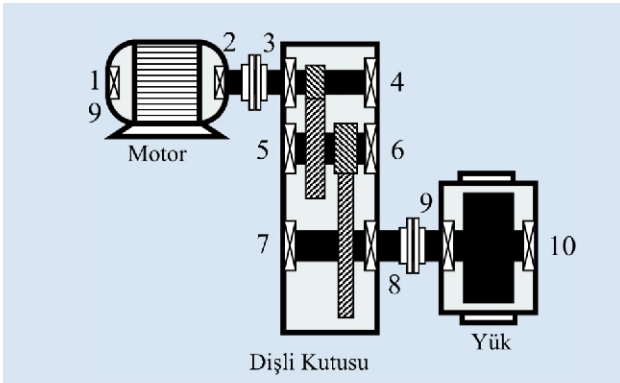
de titreşim verir. Titreşim, bir makinanın mekanik aksamalarının iç ve dış kuvvetlere karşı gösterdiği tepki davranışdır. Farklı noktalardan alınan titreşim sinyalleri, farklı problemler nedeniyle kompleks bir dalga formu verirler. Bu dalga formunu yorumlamak genellikle zordur. 1822 yılında Baron Jean Baptiste Fourier kompleks dalga formlarının basit sinüs dalga formlarına ayrılabilceğini ispat etti (Şekil 1). Bu basit dalga formlarının genliklerinin frekans bandına taşınması ile spektrumlar ortaya çıktı.



Şekil 1. Dalga formlarının Basit Sinüs Dalga Formlarına Ayrılması

Titreşim analizi yaparken dikkate alınan iki bileşen vardır. Bunlar; frekans (belirli bir zaman periyodunda olayın oluş sayısı) ve genliktir (titreşim sinyalinin boyutu). Titreşimin gerçekleştiği frekans, hasarın ya da hatanın tipini gösterir. Yani belli bazı hatalar, belirli frekanslarda gerçekleşir. Titreşim sinyalinin genliği ise, hatanın ya da arızanın şiddeti hakkında bilgi verir. Genlik ne kadar yüksekse arıza da o kadar fazladır. Genlik makinanın tipine bağlıdır.

Titreşim analizi; elektriksel problemler, dişli hasarları, rulman hasarları, balanssızlık, eksenel ayarsızlık, mekanik gevşeklik gibi durumların tespitinde kullanılır. Titreşim analizi için ölçüm yapılan noktalara örnekler Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Titreşim Analizinin Yapıldığı Yerler

Bu problemler arıza oluşana kadar titreşim artışı, sıcaklık artışı, gürültü artışı, aşırı akım vs. gibi çeşitli belirtiler gösterirler. Durum izlemeye dayalı bakım, bu belirtilerin ölçülüp değerlendirilmesiyle yapılır.

Buradaki en önemli konulardan biri de titreşim ölçümü ve değerlendirilmesidir. Çünkü makineler hasar gördüklerinde verdikleri en iyi uyarı sinyali titreşimdir. Her mekanik problemin kendine özgü bir titreşim karakteristiği vardır. Bu nedenle, titreşim genliğinin büyüklüğünün ve karakteristiğinin incelenmesi problemin büyüklüğü ve kaynağı hakkında fikir verir.

### Titreşim Ölçüm Parametreleri

Titreşim karakteristikleri ekipmanın çalışır durumdaki

kondisyonunu ve mekanik problemlerin ortaya çıkarılmasında en önemli faktörleri teşkil ederler. Bunlar titreşimin frekansı ve genliğidir. Değişik problemler, değişik frekanslarda ortaya çıktığından, frekansın analizi olayın da analizidir. Titreşimin meydana geldiği frekans, arızanın ya da uygunsuzluğun tipini ve kaynağını gösterir. Frekansın birimi devir/dakika (d/d) veya Hz (1/s) 'dir. Genliğin belirlenmesi ise deplasman, hız veya ivme konumunda olur. Genlik titreşim sinyalinin büyüklüğüdür. Titreşim genliği arızanın ya da sorunun kaynağındaki uygunsuzluğunun büyüklüğünü ve şiddetini verir. Buna göre frekans titreşimin kaynağını, genlik ise titreşimin ve problemin büyüklüğünü ifade eder.

Titreşim ölçümünde, zaman veya frekansa karşılık, genellikle şu üç parametre kullanılır [2].

#### Yer değiştirme

Titreşim yapan ekipmanın yer değiştirdiği mesafeyi belirtir. Birimi "mikron" veya "mils" olarak ifade edilir. Peak to Peak şeklinde ölçüm yapılır. Düşük frekanslı makinalarda bu ölçüm şekli tercih edilir. 600 d/d 'in altındaki frekanslar için daha uygundur.

#### Hız

Genellikle "mm/sn" veya "In/Sec Pk" olarak ölçülür. Bu birimlerle yer değiştirmenin hangi hızda meydana geldiğini gösterir. 600 ile 100.000 d/d arasındaki ölçümler için daha uygundur.

#### İvme

Genellikle "gs RMS" birimi ile ifade edilir. Bu birimle hızın ne kadar çabuk değiştiği ölçülür. 100.000 d/d üzerindeki frekanslar için daha uygundur.

Görüldüğü gibi birimler birbiriyle ilgilidir. Bu birimlerin her üçü ile de ölçüm yapılmaktadır. Hangi ölçümün kullanılacağı çok önemlidir. Çünkü bazı ölçümler yanıltıcı olabilir. Bazen aynı makina bir birimle ölçüldüğü zaman normal değerler içinde olabilir, fakat diğer birim ile ölçüldüğünde ise titreşim normal değerler üzerinde gözükabilir.

Makinada sorun belirgin hale gelmiş ise "yer değiştirme" ile de problem fark edilebilir. Fakat problemin başlangıç anında "yer değiştirme" ile hiçbir sorun görülemeyebilir, titreşimler normal gözükabilir. "Hız" ile ölçüm yapıldığında gelişmekte olan bir sorun önceden fark edilebilir.

Yukarıda görüldüğü gibi en çok kullanılan "hız" ölçümüdür. Hız, yer değiştirmeye göre daha sağlıklıdır. İvme yüksek frekansların söz konusu olduğu yerlerde kullanılır. Mesela, dişlilerdeki diş bozuklukları ve rulmanlardaki bilya gibi elemanlardaki bozuklukları anlamak için en sağlıklı yol ivme ölçümü yapmaktır. Fakat hız ölçümü yapmak da bir ip ucu ve fikir verebilir. Hız ölçümü ile ön bir inceleme yapıldıktan sonra ivme ile kesin teşhis konabilir.

## KESTİRİMCİ BAKIM

Bu metod, makina veya teçhizatın sürekli gözlenmesi ve işlem görme şartlarının ve bunların zamanla gelişiminin analiz edilmesini içerir. Makinanın durumunun gözlenmesi için müracaat edilen bir uygulamadır. Makinaların durumu periyodik veya sürekli ölçüm yapılarak tespit edilir. Ölçüm ve kontrollerin sonucuna göre üretimi etkileyecek arızanın oluşabileceği zaman önceden tahmin edilir. Buna göre uygun zamanlarda makinalar bakıma alınır. Toplanan veriler üzerinde yapılan analizler ile arızaların kaynağı ve gelişimleri öğrenilir. Böylece makinaların en yüksek veriminde kullanılması ve beklenmeyen arıza duruşlarının önlenmesi sağlanır. Bu metod, genellikle herhangi bir müdahaleyi planlamayı ve makina veya teçhizat duruşlarını çok küçük düzeyde tutmayı mümkün kılacaktır. Yedek parçaların yönetimini basitleştirir ve duruşların (kesintilerin) süresini azaltır.

Makina ve ekipmandaki arızalar aşınma, yorulmalar vb. durumlar sonucu ortaya çıkar. Durum izlemeye dayalı bakım programlarında bunların sorun haline gelmeden önce saptanıp analiz edilmesi ve düzeltilmesi için bazı parametreler (Mutlak veya bağıl titreşim, basınç, güç, açısız hız, sıcaklık, akım gibi) seçilir, ölçülür ve önceden belirlenen sınır değerler ve trendler kullanılarak karşılaştırılır.

Bu yaklaşımla makina ve ekipmanların hem geçmişleri izlenir, hem de şu andaki ve gelecekteki durumları ile ilgili tahminler yapılır.

### Kestirimci Bakım Uygulama Basamakları

Kestirimci bakım üç basamakta uygulanır. Bunlar aşağıdaki gibidir [3]:

#### Ölçüm

Amaç arıza çıkmadan arızanın önüne geçmektir. Bu sebeple analiz ve ölçme işleminin yapılacağı kritik noktalar belirlenir. Gerekli ölçümler yapılır.

#### Analiz

Makina sağlığı açısından belirlenen kritik noktalardaki ölçüm sonuçları analiz edilir. Kritik noktanın tüm frekans tabanındaki genlik grafikleri alınır ve titreşim genliğindeki artış nedeni, başka bir deyişle arızanın nereden kaynaklanmakta olduğu incelenir.

#### Onarım

Analiz basamağında tespit edilen arıza, işletme programına bağlı olarak değerlendirilir ve onarım programa alınır.

### Organizasyonda İzlenecek Yol

Kestirimci bakım organizasyonunda izlenecek yol aşağıdaki aşamalardan oluşur.

1. Programda yer alacak makinaların listelenmesi,
2. Makinaların işletmedeki yerlerini gösterir krokinin çizilmesi,
3. Her makinada ölçüm alınacak noktaların, ölçüm yönlerinin ve şekillerinin belirlenmesi,
4. Her ölçüm noktasındaki ölçüm biriminin belirlenmesi,
5. Geçerli alarm seviyelerinin her nokta için belirlenmesi,
6. Her makinanın basit bir çiziminin çizilmesi ve makina özelliklerinin belirlenmesi,
7. Her makinanın temel ölçüm değerlerinin alınması,

8. Ölçüler arasındaki zaman diliminin belirlenmesi,
9. Ölçüm rotasının ve makinaların isimlendirilmesi,
10. Rota içinde yer alan makinaların sıralanması,
11. Uygulamayı yapacak elemanların eğitilmesi.

### Makinalarda Dikkate Alınması Gereken Bilgiler

Kestirimci bakım ile izlenecek makinalarda dikkate alınması gereken bilgiler şunlardır:

1. Makinanın çalışma ve çevre şartları,
2. Makinanın üretim açısından kritikliği,
3. Makinanın çalışma prensibi,
4. Makinanın tipi,
5. Sürekli veya aralıklı çalışma durumu,
6. Devir,
7. Tahrik tipi,
8. Transmisyon tipi,
9. Yataklama biçimi ve yatağın özellikleri,
10. Muhtemel arıza ve problemler,
11. Arıza veya problemin oluşum sıklığı,
12. Proje bilgileri,
13. Makinanın yükü,
14. Makinanın özellikleri.

### Kestirimci Bakımın Yararları

Kestirimci Bakımın bazı yararları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [4, 5].

- Arıza duruşlarını minimuma indirir veya tamamen ortadan kaldırır ve faydalı çalışma süresini artırır, böylelikle de üretim artar,
- Karmaşık makina arızalarını minimuma indirir veya tamamen ortadan kaldırır. Karmaşık arızadan doğan zarar genellikle başka şekillerde oluşabilecek olanlardan daha çok maliyetlidir,
- Bakım maliyetini düşürür,
- Planlanmamış bakımı azaltır, tamirler üretimi en az etkileyecek şekilde yapılabilir,

- Yedek parça stokunu azaltır ve planlanmış makina duruşları sırasında yapılacak tamirler için birçok parça tam zamanında satın alınabilir.
- Makina performansını optimize eder, makinalar her zaman tanımlandığı şekilde çalışmasını sağlar,
- Verimsiz makina performansından kaynaklanan aşırı elektrik tüketimini önler, enerji ihtiyacındaki maliyeti düşürür,
- Yedek teçhizat ve ilave alan ihtiyacını, ayrıca ekipman veya sistem için gereken sermayeyi daha da azaltır,
- Fabrika kapasitesini artırır,
- İyi yapılmayan makina bakımından kaynaklanan sermaye amortisman süresini düşürür, daha iyi bakımlı makina daha uzun ve daha performanslı çalışır,
- Gereksiz makina tamiratını azaltır, makinalar sadece performansları optimal çalışma seviyesinin altına indiği zaman tamir edilir,
- Yanlış makina tamiri olasılığını minimuma indirir veya tamamen ortadan kaldırır,
- Optimal çalışma seviyesinin altındaki makina performansı kaliteyi düşürdüğünden, düşük kaliteden dolayı oluşacak müşteri memnuniyetsizliğini ve müşteri kaybını azaltır,
- Optimal çalışma şartlarının altında çalışan makinanın sebep olduğu tekrar çalışmalar azaltılır,
- Düşük performanslı makinanın sebep olduğu hurda miktarını azaltır,
- Düşük performanslı makina veya arızalardan dolayı oluşacak ürün kayıpları için gereken fazla mesaiyi azaltır,
- Düşük performanslı makina veya arızalardan dolayı oluşacak teslimat gecikmelerinden sonuçlanacak cezaları azaltır,
- Ürün kalitesini artırır,
- Düşük performanslı makinanın sebep olacağı düşük

ürün kalitesinden dolayı garanti süresi ile ilgili şikayetleri azaltır,

- Arıza giderilene kadar fatura ödemeleri yapılmayacağından, arızadan dolayı makina kabullerinde oluşacak olan problemleri azaltır,
- Makinaların istenilen özellikleri karşılama ihtimalini artırır,
- Makina güvenliğini artırır, çünkü yaralanmalar genellikle düşük makina performansından kaynaklanır,
- Güvensiz makinalardan kaynaklanan güvenlik ile ilgili hukuki cezaları azaltır,
- Sigorta giderlerini azaltır, çünkü daha iyi bakımlı makinalar güvenliği artırır,
- Makina tamiri için gerekli süreyi azaltır, çünkü makinanın durumunun iyi olması tamir sürecinin daha verimli düzenlenmesine izin verir,
- Eğer arzu edilirse, makinanın çalıştırılma hızını artırır,
- Makinanın rahat çalışmasını sağlar.

## BİLGİSAYAR DESTEKLİ KESTİRİMCİ BAKIM

### Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakım Uygulama Basamakları

Bilgisayar destekli kestirimci bakım uygulamalarında takip edilen basamaklar aşağıdaki şekildedir:

1. Bilgisayara sistem analiz bilgilerinin yüklenmesi,
2. Ölçüm yapılacak makinaların ve ölçüm kriterlerin belirlenmesi,
3. Bilgisayardan rota ile ilgili bilgilerin, makina analiz edicinin hafızasına aktarılması,
4. Rotadaki birinci noktadan başlanarak makinalar üzerinden ölçümlerin alınması,
5. Ölçümlerin cihaz hafızasına alınması ve bu işlemin rota üzerindeki bütün noktalarda tekrarlanması,
6. Toplanan verilerin bilgisayara aktarılması,
7. Kestirimci bakım bilgisayar programıyla bu verilerin değerlendirilmesi, analiz edilmesi ve rapor üretilmesi,
8. Değerlendirilen raporlar neticesi gerekli bakım onarım programının yapılması ve onarımın gerçekleştirilmesi.

### Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakımın Yararları

Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakımın yararları şu şekilde sıralanabilir:

1. Zamandan tasarruf sağlar,
2. Kolay kullanım sunar,
3. Elle ölçüm toplanmasında yapılabilecek yazılım hataları, otomatik veri toplayıcı kullanımı ile ortadan kaldırılır.
4. Operatörler daha az bir eğitim ile sisteme uyabilirler,
5. Değerlendirmede yapılabilecek hatalar minimuma iner,
6. Gürültülü uyarı imkanı sayesinde otomatik veri toplayıcılar ekranından operatöre uyarı yapılabilir,
7. Gelişmiş veri toplayıcıları direkt analiz yapma özelliğine sahip olup, titreşim algılayıcıları dışında, sıcaklık, faz, DC voltaj algılayıcıları ile çalışmakta olup, değerler otomatik veri toplayıcı belleğine aktarılır.

### Bilgisayar Destekli Kestirimci Bakımın Ekonomik Yönden Maliyeti

Bilgisayar destekli kestirimci bakımın maliyet getiren işlemleri şunlardır:

1. İşletme genel analizi, optimum ölçüm teknik ve noktaların belirlenmesi,
2. Kullanılacak cihaz seçimi ve alımı,
3. Rutin Ölçümleri yapacak elemanların eğitilmesi,
4. Sonuçları değerlendirecek mühendis ve uygulayacak teknisyen eğitimi.

## ÖRNEK BİR UYGULAMA: RULMAN HASARLARI

Rulman hasarları genel anlamda aşağıdaki sebeplerden dolayı meydana gelir [1].

### Yanlış Montaj



Erken rulman hasarlarının %16'sı yanlış montajdan kaynaklanır. Özel araç gereç ve teknikler kullanılarak yapılan profesyonel montaj, en uzun makina çalışma süresine ulaşma yolunda atılan olumlu bir adımdır (Şekil 3).

Şekil 3. Rulmanda Yanlış Montaj Sonucu Oluşan Hasar

## Kirlenme



Erken rulman hasarlarının %14'ü yağa karışan yabancı madde (kir, su gibi) problemlerinden olur. Bir rulman, hem kendisi hem de yağ kirlilikten tamamen uzaklaştırılmadıkça verimli çalışmayacaktır (Şekil 4).

Şekil 4. Rulmanda Kirlenme Sonucu Oluşan Hasar

## Yanlış Yağlama



Erken rulman hasarlarının %36'sı hatalı seçilmiş yağ kullanmaktan ya da yağın yanlış uygulanmasından kaynaklanır. Çünkü rulmanlar, makinaların en zor ulaşılabilir parçaları olduğundan, yağlamaya önem verilmemesi problemi büyütür (Şekil 5).

Şekil 5. Rulmanda Yanlış Yağlama Sonucu Oluşan Hasar

## Yorulma



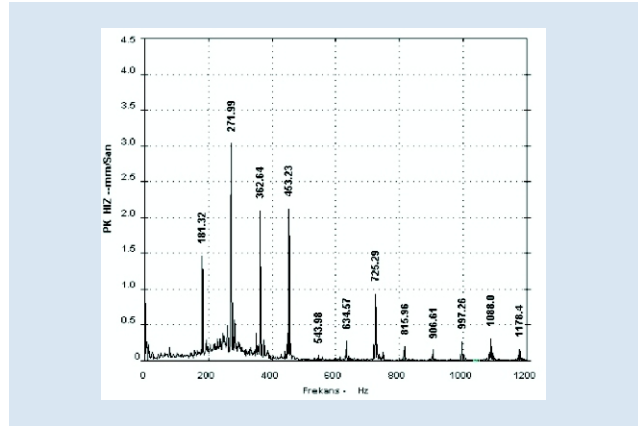
Erken rulman hasarlarının %34'ü aşırı yüklenmiş, yanlış bakım ya da ihmal edilmiş makinalar yüzünden olur. Rulmanlar durum izlemeye bağlı bakım programları ile saptanabilen "erken uyarı" sinyalleri yaydıklarından, ani arızalar engellenebilir (Şekil 6).

Şekil 6. Rulmanda Yorulma Sonucu Oluşan Hasar

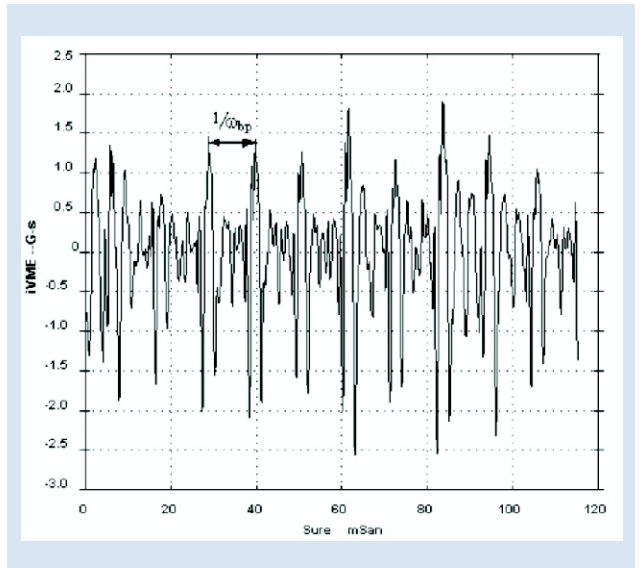
## Bir Rulmana Ait Dış Bilezik Titreşim Analiz Grafikleri

Bir makina probleminde rulman hasarı olup olmadığını anlamak için, rulman hasar frekansı titreşim spektrumunda hesaplanmıştır ve yüklenmiş olmalıdır.

Bir rulman dış bilezik titreşim spektrum grafiği (Şekil 7), bir rulmanın dış bilezik titreşim dalga form grafiği (Şekil 8), dış bileziği hasarlı bir rulman (Şekil 9) ve bakım sonrası titreşim seviyelerindeki düşüş (Şekil 10) aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



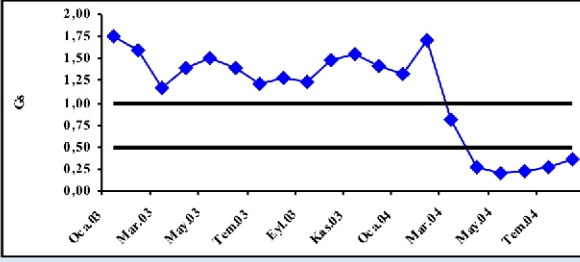
Şekil 7. Bir Rulmanın Dış Bilezik Titreşim Spektrum Grafiği [6]



Şekil 8. Bir Rulmanın Dış Bilezik Titreşim Dalga Form Grafiği [6]



Şekil 9. Dış Bileziği Hasarlı Bir Rulman



Şekil 10. Bakım Sonrası Titreşim Seviyelerindeki Düşüş

### Rulman Hasarlarının Aşamaları

Rulman hasarlarının dört aşaması mevcuttur [6]. Bunlar aşağıdaki şekildedir.

#### Birinci Aşama

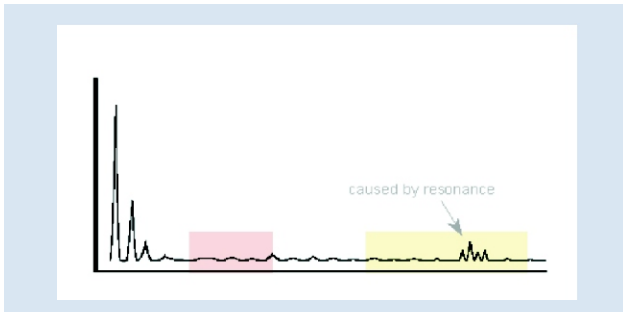
Hasarın ilk zamanlarında spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansının harmonikleri oluşur. Temel hasar frekansı görülmez (Şekil 11).



Şekil 11. Rulman Hasarında Birinci Aşama

#### İkinci Aşama

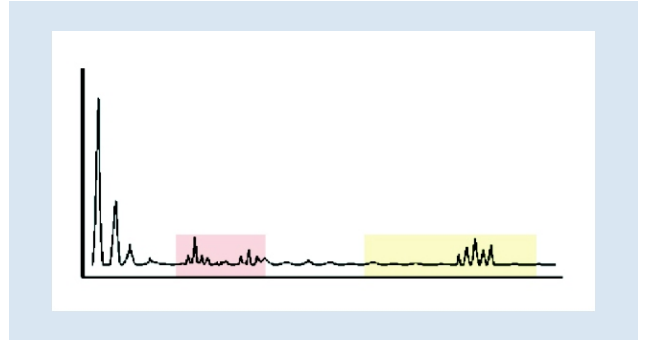
Spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansının çok daha fazla harmonikleri oluşur. Bozulma devam ettiğinde hasar titreşim frekansları mil dönme hızı ile modülasyona uğrar ve yan bantlar oluşur. Yan bantların genliği esas frekansın (merkez frekans) genliğini geçerse hasarın önemli olduğu anlaşılmalıdır (Şekil 12).



Şekil 12. Rulman Hasarında İkinci Aşama

#### Üçüncü Aşama

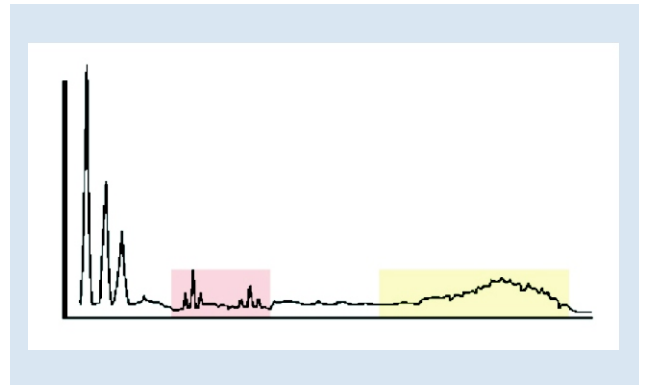
Spektrum grafiğinde hasar titreşim frekansı harmonikleri ve yan bantlarına ek olarak temel hasar frekansı da oluşur. Özellikle yan bant oluşumları rulman hasar frekanslarına eşlik ettiği zaman hasar gözle görülür seviyeye gelmiş demektir. Bu aşamada rulman değiştirilmelidir (Şekil 13).



Şekil 13. Rulman Hasarında Üçüncü Aşama

#### Dördüncü Aşama

Mil devir frekansı ve harmonikleri yükselir. Rulman hasar frekansları artık dağınık ve geniş bant gürültü frekansları görüntüsündedir. 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 gürültü oluşur. Titreşimlerin genlikleri azalabilir ve geniş bant gürültüden zor ayırt edilebilirler (Şekil 14).



Şekil 14. Rulman Hasarında Dördüncü Aşama

Burada geçen "temel hasar frekansı" terimi ile hasarlı olan rulman elemanının ürettiği titreşim frekansının bir katına işaret edilmektedir. "Harmonik" ile de temel hasar frekansının çoklu katları kastedilmektedir. "Yan bant" farklı frekanslara sahip sinyallerden birinin diğerini modülasyona uğratarak başka bir frekansta bir sinyal oluşturmasına denir. "Esas frekans" ise sağ ve sol yanında yan bantları olan, bu yan bantların arasında bir değere sahip olan frekanstır. "Geniş bant gürültü" spektrum grafiğinde genliği düşük, fakat geniş bir aralığa yayılmış olan titreşim frekanslarıdır.

### Rulmanın Değiştirilmesine Karar Verilmesi

Bir rulmanın değiştirilme kararını vermeden önce bakımıcının cevap bulması gereken çeşitli sorular vardır:

1. Bu makinanın önemi nedir?
2. Kapalı durduğu saat başına maliyeti nedir?
3. Rulmanların değiştirilme maliyeti nedir?
4. Rulman hasarı makinanın verimliliğini ve kalite performansını etkiliyor mu?
5. Şimdi değiştirmemeye karar verirse, oluşabilecek en kötü arızanın sonuçları neler olur?
6. Rulmanın arıza yapmasına sebep olan şey nedir?  
(Balanssızlık, eksen ayarsızlığı, yağlama sorunları, aşırı sıcaklık vs.)
7. Eğer tahmin edilemeden önce arıza yaparsa bu makinanın işini üstlenebilecek başka bir makina var mı?
8. Şu andaki üretim yükü nedir?
9. Yakınlarda planlanmış bir duruş var mı? Varsa rulman o zamana kadar dayanır mı?
10. Bu rulmanda bir problem olduğundan emin miyim?

Bu sorular, bir karar vermeden önce yanıtlanması gereken soruların sadece birkaçıdır. Yine de unutmayalım ki, analizci tüm bu soruları tek başına yanıtlamaya kalkışmamalıdır.

## SONUÇ

Bu çalışmada, makinalarda ve makina elemanlarında meydana gelen arızaların tespitinde titreşim analizinin kullanımı ve faydaları sunulmuştur. Makina ve ekipmandaki arızalar aşınma, yorulmalar vb. Durumlar sonucu ortaya çıkar. Kestirimci bakım sayesinde bunların sorun haline gelmeden önce saptanıp analiz edilmesi ve düzeltilmesinin önemi üzerinde durulmuştur. Sistem durmadan veya planlı ve kısa süreli duruşla arıza tamir edileceği için sürekli çalışan sistemlerde en ekonomik koruyucu bakım şeklidir. Titreşim analizi ise kestirimci bakımın kılavuzudur. Titreşim ölçümü ve analizi sayesinde önceden belirlenen sınır değerler ve trendler kullanılarak yapılan karşılaştırmaların, makina ve ekipmanların hem geçmişlerinin nasıl izlendiği, hem de şu andaki ve gelecekteki durumları ile ilgili nasıl tahminler yapıldığı üzerinde durulmuştur.

## KAYNAKÇA

1. <http://www.rezonans.com>, Mart 2004.
2. [Http://hendese.tripod.com/vibrasyon.html](http://hendese.tripod.com/vibrasyon.html)
3. [Http://kontrolsistemleri.s5.com/index1.htm](http://kontrolsistemleri.s5.com/index1.htm)
4. [Http://www.maintenanceresources.com](http://www.maintenanceresources.com)
5. **Mobley, R. K.**, An Introduction to Predictive Maintenance, Butterworth-Heinemann, ISBN: 0750675314, 2002
6. **Orhan, S., Arslan, H., Aktürk, N.**, "Titreşim Analiziyle Rulman Arızalarının Belirlenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 18, No.2, s.39-48, 2003.