

## PAPER DETAILS

TITLE: DETERMINATION OF CENTRIFUGAL PUMP BEARING HEALTH THROUGH VIBRATION ANALYSIS

AUTHORS: Saadettin ORHAN,Nizami AKTÜRK,Veli ÇELİK

PAGES: 543-552

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/83324>

## BİR SANTRİFÜJ POMPA RULMANLARININ ÇALIŞABİLİRLİĞİNİN TİTREŞİM ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ

Sadettin ORHAN

*Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 71450,  
Kırıkkale, TÜRKİYE*

Nizami AKTÜRK\*

*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 06570,  
Maltepe/ Ankara, TÜRKİYE, nakturk@gazi.edu.tr*

Veli ÇELİK

*Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 71450,  
Kırıkkale, TÜRKİYE*

### ÖZET

Bu makale çalışmasında titreşim analizine dayalı kestirimci bakım tekniğinin işleyişi kısaca ele alınmış ve tekniğin gerçek bir sistemde yapılan uygulaması sunulmuştur. Bir santrifüj pompanın rulmanlarının çalışabilirliği titreşim analizi yardımıyla incelenmiştir. Rulman titreşimlerinde görülen titreşim genlik artışlarından dolayı pompa rulmanları değiştirilmiş ve rulmanların tahmin edildiği gibi ömürlerini tamamlamak üzere olduğu belirlenmiştir. Yeni rulmanların takılmasından sonra titreşim seviyesinde gözle görülür bir düşüş meydana gelmiştir.

*Anahtar Kelimeler: Rulman, titreşim, kestirimci bakım*

## DETERMINATION OF CENTRIFUGAL PUMP BEARING HEALTH THROUGH VIBRATION ANALYSIS

### ABSTRACT

Vibration based condition monitoring is briefly described in this paper and a case study is given in order to show the application of the technique. Determination of the health of bearings which are installed in a centrifugal pump is investigated. The increase in the vibration level has indicated that the bearings are about to fail and they are replaced. It is observed that the bearings were on the rank of fail. The vibration level is observed to be relatively low after replacement.

*Keywords: Bearing, vibration, predictive maintenance*

### 1. GİRİŞ

Bakım uygulamaları, işletmelerdeki iş akışının devamı için yapılması gereken en önemli işlerden

birisidir. Eski zamanlardan beri zamanın şartlarına göre değişik bakım stratejileri geliştirilip uygulanmıştır. Önemli olan, bakım masraflarını en az seviyede tutacak ve üretimi veya yapılan işi aksatmayacak bir bakımın uygulanmasıdır.

Belirli endüstri kollarına bağlı olarak, bakım masrafları üretim maliyetinin %15'i ile %40'ı arasında olabilmektedir. Örneğin gıda endüstrisinde ortalama bakım masrafları üretim maliyetinin %15'ine karşılık gelmektedir. Bu oran, demir-çelik, kâğıt ve diğer ağır endüstri kollarında %40'a kadar varmaktadır. Bakım giderleri Amerika'da, yılda 200 milyar dolardan fazla bir rakama karşılık gelmektedir (1). Bakım yönetiminin verimliliği üzerine yapılan son araştırmalarda, bakım masraflarının 1/3'ünün gereksizce yapılan veya zamanında yapılmayan bakımlar sonucu israf edildiğini göstermiştir (1, 2). Bu yüzden işletmenin yapısına göre bakım masrafı en az tutacak şekilde bir bakım stratejisi uygulanmalıdır (3). Genel olarak uygulanan üç çeşit bakım yöntemi vardır: Bozulunca bakım, koruyucu bakım ve duruma göre bakım.

### 1.1. Bozulunca Bakım

Makinaya bozuluncaya kadar dokunulmaz, bozulan eleman yenisi ile değiştirilir. Bu bakım tekniği, yerine takılacak olan eleman pahalı değilse ve bozulma başka arızalara sebep olmayacaksa uygulanabilir.

### 1.2. Koruyucu Bakım

Bakım sabit aralıklarla yapılır. Örneğin her 3000 çalışma saati veya yılda bir defa makinanın çalışmasında bir aksama olmasına bakımsız bakım yapılır. Şeker fabrikaları veya çimento fabrikalarında yapılan periyodik bakımlar tipik koruyucu bakımdır. Bakım aralıkları genellikle geçmiş tecrübelerden istatistiksel olarak belirlenir. Bu metot beklenmedik arızaların sayısını azaltmasına rağmen ekonomik değildir (4). Çünkü arıza meydana gelmeden önlem amacıyla parçalar ömrünü tamamlamadan değiştirilmekte bu ise gereksiz israfa yol açmaktadır.

### 1.3. Duruma Göre Bakım

Diğer iki teknikten farkı, bakımın makinanın durumu gerektirdiğinde yapılmasıdır. Seçilen parametreler (titreşim, sıcaklık, v.b.) periyodik olarak ölçülüp izlenir, bu ölçümlerden makinanın durumu belirlenir. Bakım gerektiren bir durumla karşılaşıldığında makina bakıma alınır, yakında oluşması muhtemel arıza giderilir. Aynı zamanda yapılan ölçümlerden makinenin durumunun kabul edilebilir çalışma sınırlarını ne zaman aşacağı tahmin edilmesine çalışılır. Bu yüzden kestirimci bakım (ya da erken uyarıcı bakım) da denmektedir.

Bakım metotları içinde ön yatırım ve uygulama maliyetleri içermesine rağmen kestirimci bakım iyi bir alternatif olarak gösterilebilir (5). Fakat özellikle can güvenliği içeren veya pahalı sistemlerde ön yatırımın kısa zamanda kendini amorti edeceği unutulmamalıdır.

## 2. KESTİRİMCİ BAKIM

Kestirimci bakım; termografi, yağ analizi ve triboloji, ultrasonik izleme, motor akımı izleme ve titreşim analizi gibi değişkenlerin incelenmesi yoluyla yapılabilir (1, 3). Bu teknolojilerin her hangi birinin veya birkaçının birlikte uygulanması ile kestirimci bakım programı gerçekleştirilebilir (6). Makinalardaki arızaları belirlemede en etkili olanı titreşim analizidir (7, 8). Diğer analizler buna ek olarak yapılabilir. 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 (9,10). 1980'li yıllardan sonra uygulaması iyice yaygınlaşan titreşim analizi ile kestirimci bakım, çok etkili bir yöntemdir. Özellikle rulmanların arıza tespitinde kestirimci bakım yöntemlerinin uygulanması çok başarılı sonuçlar vermektedir (11-14). Rulmanlardaki değişik hatalar da kestirimci bakım yardımıyla kolayca belirlenebilir (15-17). Bu yöntemde programa alınan makinelerin titreşimleri periyodik (periyotlar

makinanın kritikliğine göre seçilir) olarak ölçülür, analiz edilir. Geçmiş veriler de kullanılarak titreşimdeki değişimler izlenir. Arızadan dolayı oluşan bir titreşim varsa titreşim eğilimi artma gösterecektir. Bu aşamada, durum önemli ise ve planlı duruşa kadar beklenemeyecek ise, makina hemen bakıma alınır, gerekli tamir yapılır veya parça değiştirilir. Bu bakım metodunda makinalardan ölçümler alınarak onların durumlarının takip edilmesi ve gerektiğinde bakımın yapılması öncelikli amaçtır. Kestirimci bakım son ölçüm ve geçmiş ölçümleri bir bütün içinde eğilim çözümleme yöntemi (Trend Analysis) ile değerlendirerek gelecekte çıkacak olası arızayı belirler. Makinaları, çalışmalarını engellemeden takip ederek durumlarını yakından izleme imkanı sağlayan bu yöntemle gereksiz durmalar ortadan kalkmakta ve zamansız parça değiştirmeler de önlenmektedir. Arıza çıkacak nokta önceden algılanabildiği için, geleceğe yönelik bir bakım onarım programı oluşturulabilmekte, ani duruşlara neden olan, ortaya çıkabilecek arızalar da ortadan kaldırılmaktadır. Hedef, arıza makinaı durdurmadan tespit ederek arızanın önüne geçmektir. Etkili bir kestirimci bakım programı maliyetinin ortalama beş katını iki veya üç yıl içinde tesise geri kazandırmalıdır (10). Kestirimci Bakım metodu üç adımda gerçekleştirilir:

### 2.1. Tespit

Bu adımda titreşim ölçümlerinden yararlanılarak makinada oluşan problem belirlenir. Bu yüzden kestirimci bakım uygulanan bütün makinalarda periyodik titreşim ölçümleri gerçekleştirilmelidir. Titreşim ölçüm periyotları makinaların kritikliğine göre belirlenir. Titreşim ölçümleri bir titreşim analizörü ve algılayıcı kullanılarak gerçekleştirilir.

### 2.2. Analiz ve Teşhis

Makinada oluşan problem belirlendikten sonra bu probleme neden olan arıza araştırılır. Bu işlem, elde edilen titreşim sinyallerinin incelenmesi ile gerçekleştirilir.

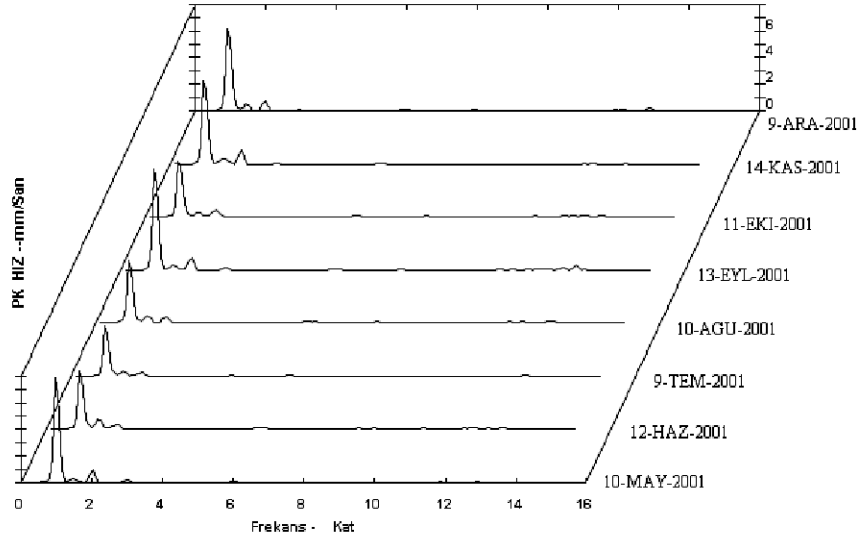
### 2.3. Düzeltme (Bakım-Onarım)

Olası arıza belirlendikten sonra bunu gidermek için işletme şartlarına en uygun zaman için bakım planlanır. Planlanan zamanda arızalı kısım sökülür, gerekli tamirat veya parça değişimi gerçekleştirilir.

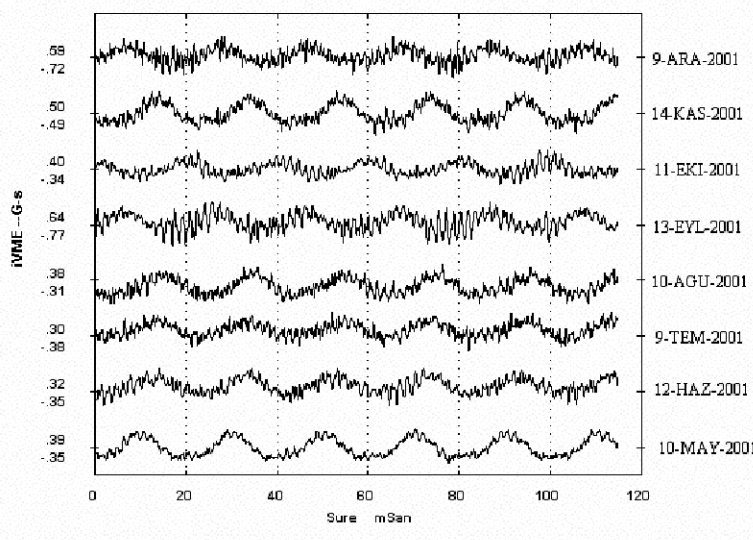
Günümüzde yaygın olarak gerçekleştirilen kestirimci bakım programı en genel hali ile verilerin toplanması ve değerlendirilmesinden oluşmaktadır. Veri toplamak için alt yapının oluşturulması ve toplanan verilerin değerlendirilmesi için yazılım kullanılmaktadır. Bu yazılım programı ile ölçümü gerçekleştirecek makinaların noktaları tanımlanır, bu noktalardaki titreşim spektrum analizörüne aktarılır. Aynı yolla, ölçülen titreşim değerleri bilgisayara aktarılır ve yazılım yardımıyla gerekli değerlendirmeler yapılır. Aşağıda detaya inilmeden bir kestirimci bakım programı ile titreşim ölçümlerinin değerlendirilme yöntemleri sunulacaktır.

## 3. ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

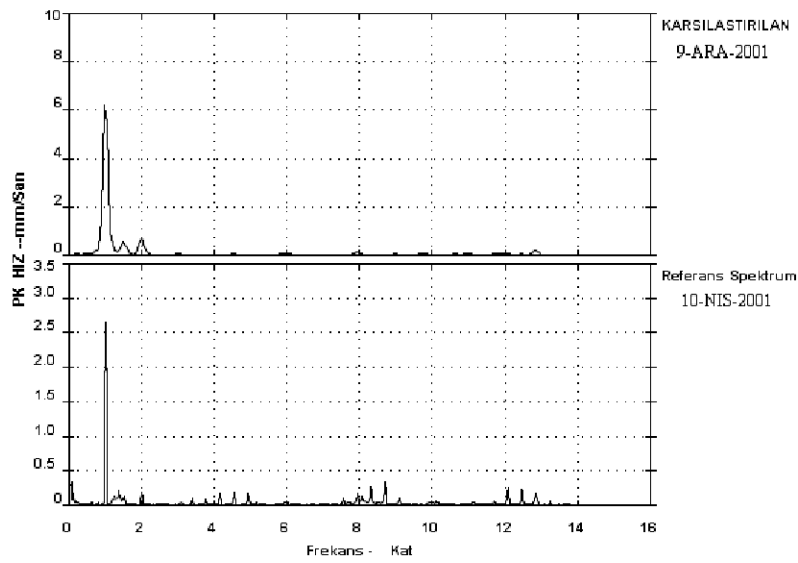
Kestirimci bakım yazılımları önceki ölçümleri ve yeni ölçümü istatistiksel yöntemlerle değerlendirerek sonuç üretmektedir. Bunun için önce makinanın işletmeye yeni alındığı zamanki titreşim ölçümü (referans ölçüm), eğer bu mümkün olmamışsa izlenmeye başlandığı andaki titreşim değerleri kaydedilmelidir. Yazılım bu ilk ölçümü referans ölçüm olarak alır ve sonraki ölçümlerle bunu karşılaştırır (5). Ölçüm sonuçları spektrum (genlik-frekans) ve dalga form (genlik-zaman) 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 (genlik-frekans), hem de dalga form (genlik-zaman) grafikleri için yapılmalıdır (Şekil 1.a, 1.b.)



Şekil 1.a. Çoklu spektrum grafiği



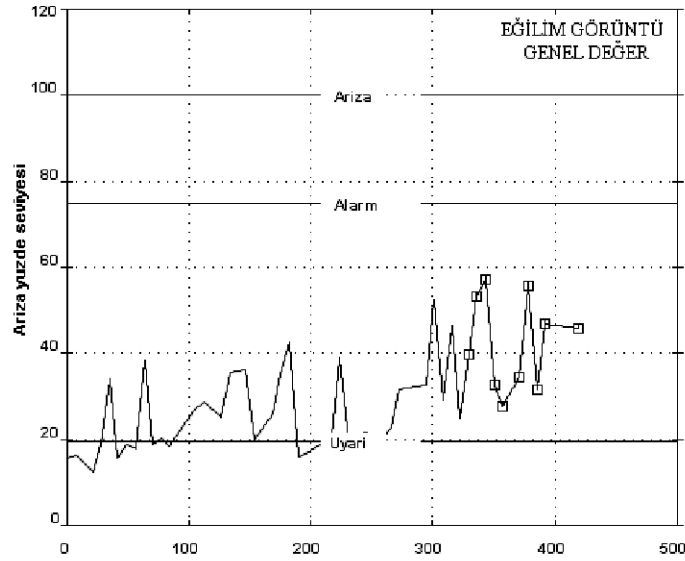
Şekil 1.b. Çoklu dalga form grafiği



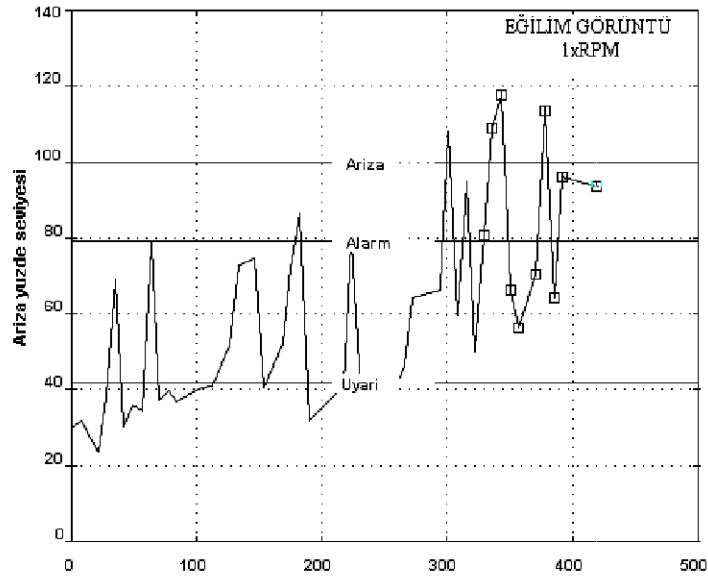
Şekil 2. Spektrum karşılaştırması

Ölçümleri değerlendirmede bir diğer yöntem ise yeni ölçümü referans ölçümle karşılaştırarak aradaki farkı tespit etmektir (Şekil 2.).

Kestirimci bakım yazılımlarının en önemli özelliklerinden birisi kullanıcı tarafından seçilen alarm, uyarı ve arıza değerlerini esas alarak, ölçümlerin eğilimlerini hesaplayıp muhtemel arıza zamanını kestirmesidir. "Genel değer eğilimi" izlenebildiği gibi, "parametre eğilimleri" de izlenebilmektedir (Şekil 3 ve 4). Bazı durumlarda "genel değer eğilimi" sağlıklı sonuç vermemekte, bu yüzden araştırılan arıza frekansının bandının eğilimine bakmak daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Şekil 3 ve 4'te bu durum açıkça görülmektedir. Titreşimin genel eğilimi normal sınırlarda kalmasına rağmen  $1 \times \text{RPM}$  (mil devri) parametre eğilimi arıza işareti vermektedir. İstenirse tüm parametrelerin eğiliminin tek grafikte çizildiği "çoklu parametre eğilimi" de izlenebilir.



Şekil 3. Titreşim genel eğilimi



Şekil 4. Titreşim parametre eğilimi

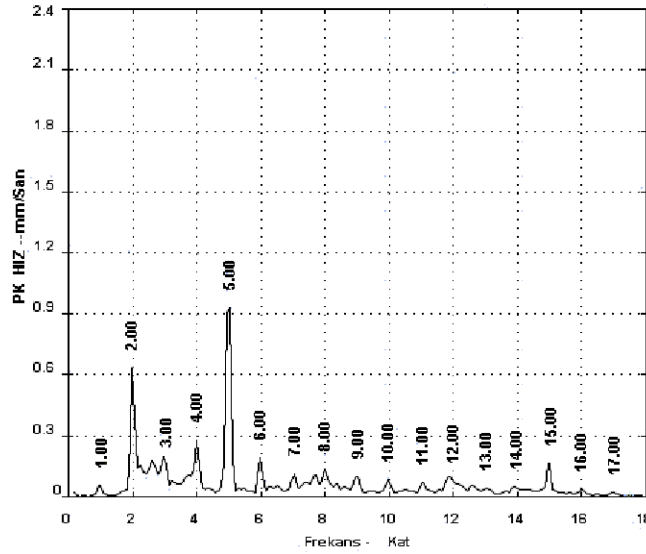
Sonuçları değerlendirirken hangi noktaların titreşiminin daha büyük olduğunu karşılaştırmak için farklı noktaların spektrum, dalga form grafiklerini ve parametre eğilimlerini tek grafikte çizmek de mümkündür. Bu yolla titreşimin nedeni daha kolay belirlenebilir (5).

#### 4. UYGULAMA ÇALIŞMASI

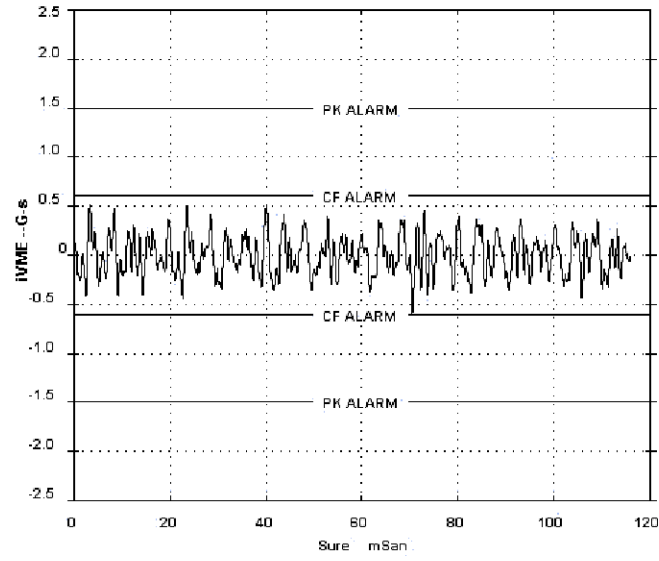
160 kW gücünde, 2975 d/d ile dönen dokuz kademeli bir santrifüj pompada titreşim analizi ile kestirimci bakım tekniği uygulanmıştır. Titreşim ölçümleri CSI marka titreşim analizörü ve ivme metre kullanılarak eksenel, yatay ve dikey olmak üzere üç doğrultuda gerçekleştirilmiştir. En kuvvetli titreşim sinyalleri eksenel doğrultuda elde edildiği için sadece bu doğrultudaki titreşim sonuçları verilmiştir. İlk ölçüm 17 Ekim 2001 günü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen spektrum ve dalga form grafikleri Şekil 5.a ve 5.b'de verilmiştir.

Oluşan titreşimlerin frekansları dönme devrinin katlarındadır. Dalga formunda düzensiz darbe sinyalleri oluşmuştur. Bu durum mekanik gevşekliğin belirtisidir (5). Fakat titreşim genlikleri ISO 2372'ye göre "güvenli çalışma" sınırları içinde kalmaktadır. Bu yüzden bu aşamada bakıma gerek duyulmamıştır. Periyodik titreşim ölçümlerine devam edilmiş, titreşim frekanslarının genliklerinde zamanla bir artış olduğu tespit edilmiştir. 15 gün sonra alınan ölçümde (1 Kasım 2001) titreşim genliğinde az bir artış olmuş, onu takip eden ölçümde (8 Kasım 2001) ise titreşim genliğinde önemli bir artış ile problemin gelişmekte olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.).

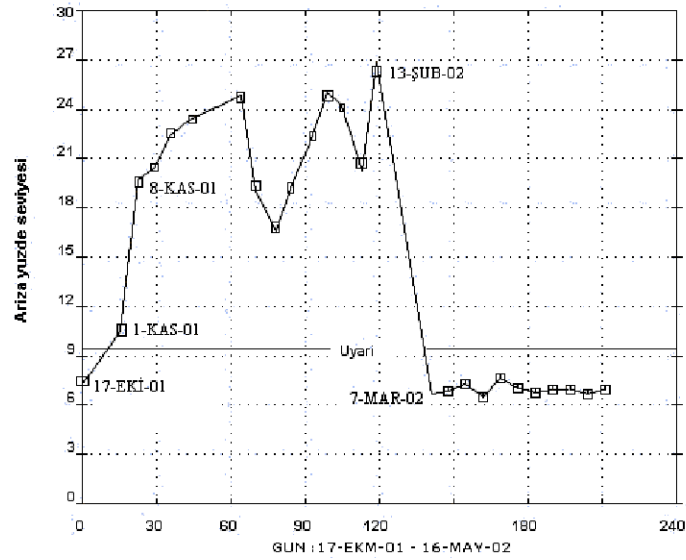
8 Kasım 2001 günü elde edilen titreşim değerleri incelendiğinde titreşim genliğinde ciddi bir artış ile beraber dalga formu grafiğinde gevşekliğin tipik belirtisi olan düzensiz darbe sinyalleri olduğu gözlenmiştir (Şekil 7, 8). Gevşekliğin nedenleri araştırıldığında zemin bağlantılarında herhangi bir çözülmeye rastlanmamıştır. Bu aşamada problemin iç yatak rulmanındaki gevşeklikten kaynaklandığı kesinleşmiştir. Arızanın hızlı gelişme ihtimaline karşı bakım planlanarak, 19 Şubat 2002 günü rulman sökülüştür.



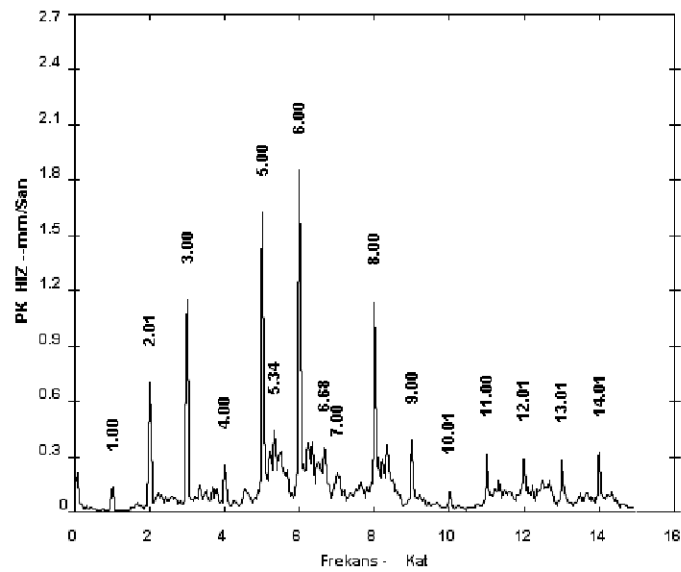
Şekil 5.a. Pompa iç yatak spektrum grafiği



Şekil 5.b. Pompa iç yatak dalga form grafiği



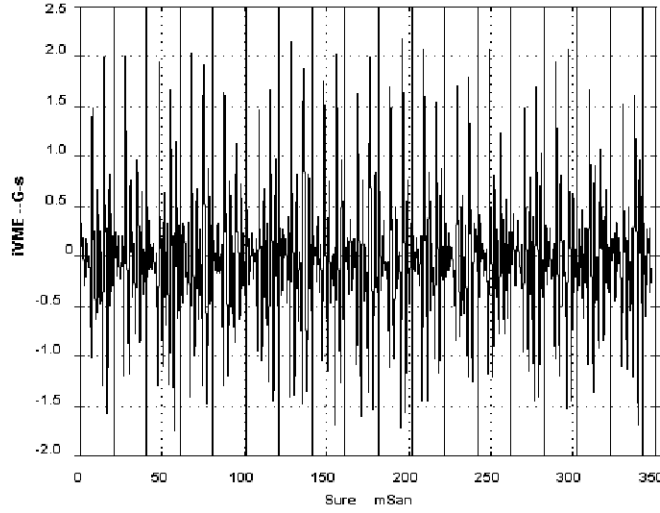
Şekil 6. Pompa iç yatak titreşim trendi



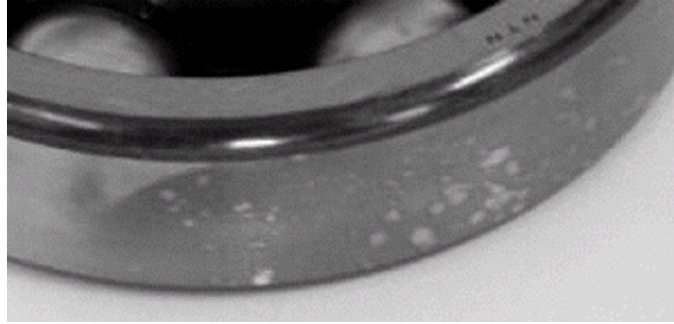
Şekil 7. İç yatak arızalı durum spektrum grafiği



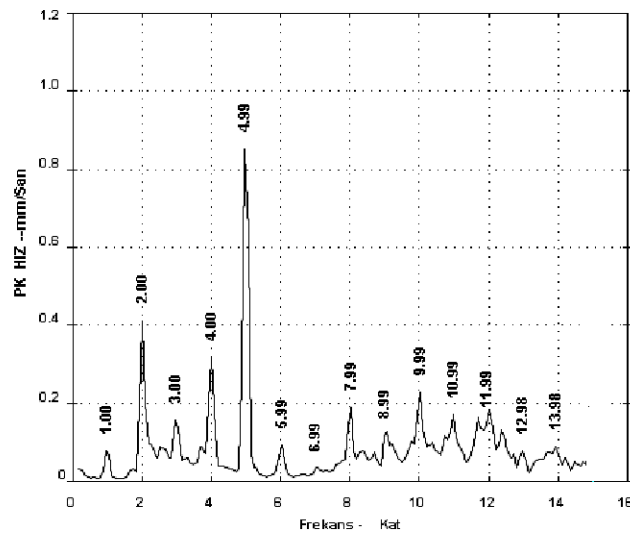
Gevşekliğin yatak yuvasını aşındırdığı ve rulmanın dış bileziğinde korozyon başlangıcı olan lekelenme oluşturduğu (Şekil 9) tespit edilmiştir. Yatak yuvası kaynakla doldurulmuş ve yeni rulman takılmıştır. Titreşim seviyesinin arıza öncesi seviyeye indiği görülmüştür (Şekil 6, 10, 11,12,13). Şekil 6, 12 ve 13'te 8 Kasım 2001 ile 13 Şubat 2001 tarihleri arasındaki titreşim değerleri arızalı duruma aittir. Spektrum grafiği ve dalga formunda genlikteki düşüş titreşim seviyesinin normale döndüğünün en açık belirtisidir.



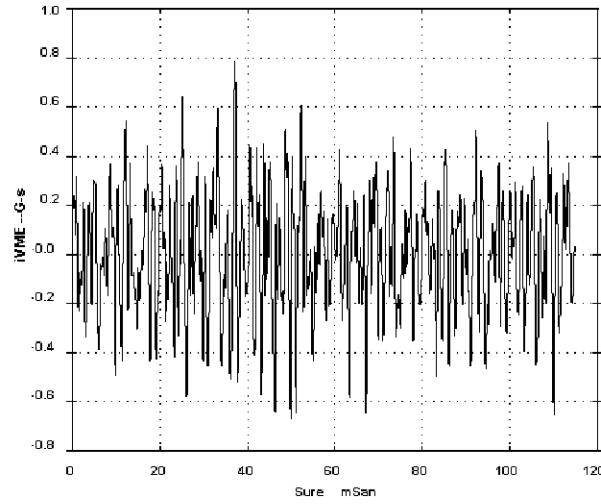
Şekil 8. İç yatak arızalı durum dalga form grafiği



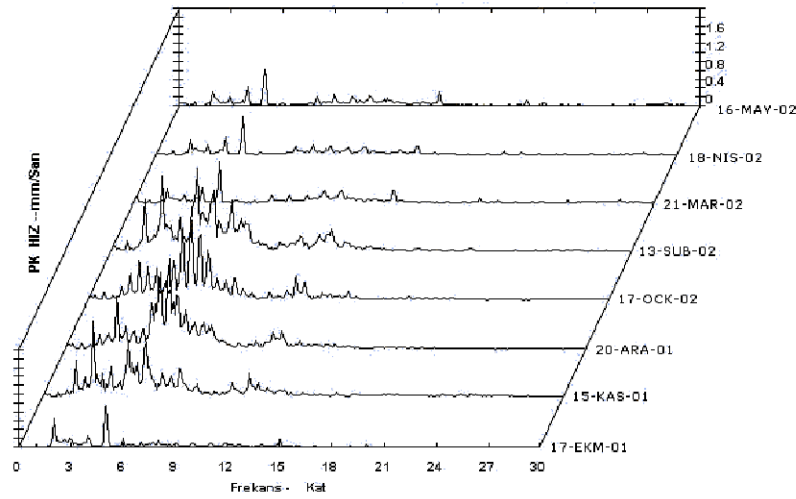
Şekil 9. Rulman dış bileziğinde korozyon başlangıcı



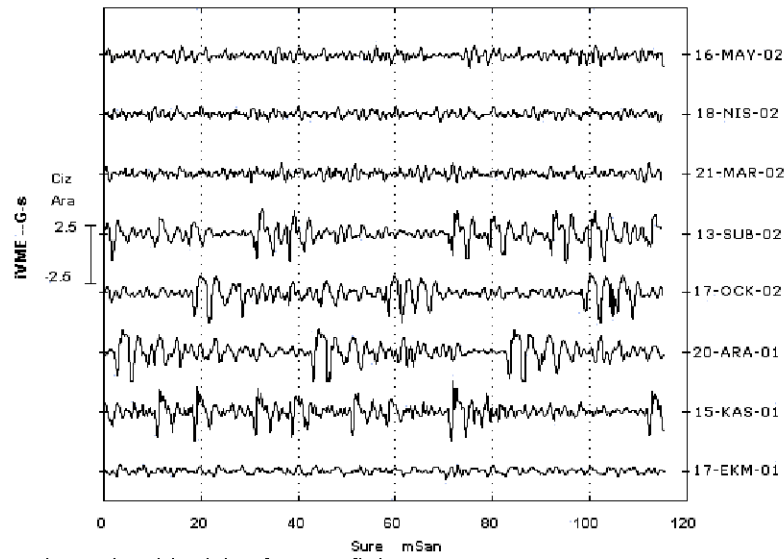
Şekil 10. Bakım sonrası iç yatak spektrum grafiği



Şekil 11. Bakım sonrası iç yatak dalga form grafiği



Şekil 12. Pompa iç yatak çoklu spektrum grafiği



Şekil 13. Pompa iç yatak çoklu dalga form grafiği

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada titreşim analizi kullanılarak gerçekleştirilen kestirimci bakım programı kısaca

tanıtılmıştır. Santrifüj bir pompada oluşan rulman gevşekliğinin belirlenmesi ve problemin giderilmesi titreşim ölçümü ve analizi yardımıyla uygulanmıştır. Arızalar oluşma aşamasında iken, titreşim analizi ile kestirimci bakım tekniğinin, arızayı bulmada ve makinenin bakımının yapılmasında etkili bir şekilde kullanılabileceği, gerçek bir sistem üzerinde gösterilmiştir. Bu bakım tekniğinin uygulamasında, hem ilgili makineye ait geçmiş titreşim ölçümlerinin tutulmasının hem de bu analizi yapanın tecrübesinin etkili olduğu verilen uygulamada ortaya çıkmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Mobley, R.K., "An introduction to predictive maintenance", *Van Nostrand Reinhold*, New York, 1-16 (1990).
2. Chu, C., Proth J.M. and Wolff P., "Predictive maintenance: The one-unit replacement model", *Int. J. Production Economics*, 54: 285-295 (1998).
3. Aktürk, N. and Uneeb, M., "Application of vibration monitoring to rotating machinery", *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Dergisi*, 10: 419-433 (1997).
4. Belek, H. T., "Endüstriyel tesislerin bakımında modern yaklaşım: dinamik erken-uyarıcı bakım yöntemleri", *Mühendis ve Makina*, 29: 29-36 (1988).
5. Sönmez, A. İ. ve Baykasoğlu, A., "Bilgisayar yardımı ile küçük ve orta ölçekli işletmeler için bakım sistemi planlaması", *Mühendis ve Makina*, 37: 17-22 (1996).
6. Orhan, S., "Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakımı", Doktora Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 16, 50, 97-98 (2002).
7. Bilgin, K., "Makina performansının titreşim analizi metotları yardımıyla belirlenmesi ve rulmanlarda titreşim analizi ile hasar tespiti", Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 13 (1996).
8. Aktürk, N., Üzkurt, I. ve Yüksel, Ş., "Titreşim analiziyle rulmanların çalışabilirlik durumlarının belirlenmesi", *Mühendis ve Makina*, 41: 28-33 (2000).
9. Braun, S. and Datner, B., "Analysis of roller/ball bearing vibrations", *Journal of Mechanical Design*, 101: 119-125 (1979).
10. WP, "On the road to effective predictive maintenance", *World Pumps*, 43-45 (1998).
11. Franco, J.M.; Aktürk, N. and Gohar, R., "Vibrations of a rigid shaft supported by radial ball bearings with several defects", *International Gas Turbine and Aeroengine Congress and Exposition*, Cologne, Germany, ASME Paper, 92-GT-164 (1992).
12. Aktürk, N., Uneeb, M. and Gohar, R., "Vibration of a shaft supported by angular contact ball bearings", *ESDA Joint Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, June 29- July 3, İstanbul, ASME Paper PD- 47(5): 95-101 (1992).
13. Gohar, R. and Aktürk, N., "Vibrations of rotors supported by rolling element bearings", *Multi-body Dynamics: New Techniques and Applications*, IMech.E., December 10-11, London, UK, 43-64 (1998).
14. Aktürk, N., "Rulman titreşimlerine Taylor serisi açılımı yardımıyla basit bir yaklaşım", *MATİM, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 3: 200-208 (2000).
15. Aktürk, N., Uneeb, M. and Gohar, R., "The effects of number of balls and preload on vibrations associated with ball bearings", *ASME, J. of Tribology*, 119: 747-753 (1997).
16. Aktürk, N. and Gohar, R., "The effect of ball size variation on vibrations associated with ball bearings", *IMech.E., Proc. Part J, J. of Engineering Tribology*, 212: 101-109 (1998).
17. Aktürk, N., "The effect of waviness on vibrations associated with ball bearings", *Trans. ASME, J. of Tribology*, 121: 667-677 (1999).