

**Makale**

**Gülşen YAMAN**  
**Halil Murat KARADAYI**

**Abstract:**

Pumps are used in daily life in many points. Particularly, they work a lot of critical points in industry. If a failure occurs in them, this failure can cause unexpected production losses. This unplanned downtimes increase operating costs.

In this study, the critical pumps are selected by using the ABC (Pareto) analysis. Vibration analysis is one of the predictive maintenance methods. Vibration measurements were taken over the critical pumps and followed the course of vibration. Also the measurements, that taken from the pumps, were analyzed by using FFT (Fast Fourier Transform) spectrum method. The equipment failures can be predicted by using vibration analysis before they cause. And in some defects were found to be associated with each other.

**Key Words:**

Predictive Maintenance, Vibration Analysis, Pumps and Failures

# Titreşim Analizi ile Pompalarda Arıza Tesbiti ve Kestirimci Bakım İçin Örnek Bir Çalışma

**ÖZET**

*Pompalar endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle sanayide birçok kritik noktada önemli fonksiyonlar üstlenmektedir. Bu makinelerde meydana gelecek herhangi bir arıza, işletmeler için beklenmedik üretim kayıplarına sebep olmaktadır. Yaşanan bu plansız duruşlar işletme maliyetlerini artırmaktadır.*

*Bu nedenle bu çalışmada işletme için kritik olan pompalar grubu öncelikle ABC (Pareto) analizi ile belirlenmiş ve kestirimci bakım yöntemlerinden biri olan titreşim ölçümü yöntemiyle bazı ekipmanlar üzerinden ölçümler alınarak ekipmanın titreşim seyri izlenmiştir. Ayrıca alınan ölçümler ile bu ekipmanların FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü) spektrum analizi yapılmıştır. Sonuçta titreşim analizi ile ekipmanların arıza bir duruşa sebep olmadan önce arızalarının tespitinin yapılabildiği ve bazı arızaların birbiriyle ilişkili olabileceğinin belirlendiği uygulamalarla gösterilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Pompalar, Arıza, Kestirimci Bakım, Titreşim Analizi

**1. GİRİŞ**

Günümüzde yaşanan teknolojik gelişmeler, artan enerji ihtiyacı, değişen ve gelişen rekabet şartları, işletmelerin önemli gider kalemlerinden birini oluşturan bakım ve onarım faaliyetlerini daha da önemli hale getirmektedir. Teknoloji geliştikçe, işçilik giderleri azalmakta, buna bağlı olarak yatırım giderleri ve otomasyon ağırlıklı tesislerin sayısı artmaktadır. Artan yatırım, oranlı olarak bakım giderleri de artmaktadır.

Üretim esnasında oluşan beklenmedik arızalar neticesinde yaşanan üretim kayıpları, üretim planlarının uygulanmasını aksatabilmektedir. Günümüzde mevcut üretimin kesintiye uğraması, dakikalarla bile olsa büyük maliyetlere sebep olmaktadır.

Arıza yapan makinelerin bakım ve onarımı hem zahmetli, hem de maliyetli olmaktadır. İşletme içerisinde beklenmeyen, ani olarak olu-

şan arızalarda bakım ve onarım hem uzun sürer hem de yedek parça bulmak, arızanın çıktığı yere bağlı olarak zorlaşabilir. Tabii ki bu arada üretim kayıpları ve maliyetler artar [1]. Her ne kadar arıza oluştuğundan sonra arızaya müdahale, bir çeşit bakım yöntemi olsa da günümüz şartları göz önüne alındığında, arıza oluşmadan makineye müdahale etme anlayışı daha öncelikli olmaktadır ve bu husus gitgide önem kazanmaktadır.

Makinelere arıza meydana çıkmadan müdahale etme anlayışı, bir makineden en yüksek verimi almak ve arıza bir duruştan veya bakımdan kaynaklanan üretim kayıplarını en aza indirmek için geliştirilmiş bir anlayıştır. Çalışan makinelere durum izlemeye yönelik bu anlayışa; kestirimci bakım anlayışı denir. Mevcut kestirimci bakım yöntemleri ile çalışan makine durdurulmadan toplanan veriler incelenerek yorumlar yapılmaktadır. Bu yorumlar neticesinde söz konusu makinelere arıza oluşumu tahmin edilip uygun duruşlar uygun zamanlarda planlanarak makineye müdahale edilir. Böylece arıza durum oluşmadan makinedeki arızalı olan bölgeye müdahale edilerek gereksiz duruş ve maliyetlerin önüne geçilir.

Bu çalışmada da kestirimci bakım anlayışını inceleyerek, bu bakım anlayışı içinde %45 ile diğer kestirimci bakım yöntemleri içinde de en önemli paya sahip olan titreşim analizi yöntemi kullanılacaktır [2]. ABC analizi ile önem derecesini belirlediğimiz kızgın yağ pompalarından veriler toplanacak ve bu veriler ışığında oluşabilecek arızaların ortaya çıkma sıraları önceden belirlenmeye çalışılacaktır.

Bir kestirimci bakım metodu olan titreşim analizi ile çeşitli arıza teşhisi konuları üzerinde çalışmalar da yapılmıştır.

Arslan (2010)'da [3], fan makinelerinde oluşturduğu test düzeneği ile muhtemel arızalar oluşturmuş, bunları titreşim analizi ile incelemiş, oluşabilecek arızalar ile ilgili bilgileri irdelemiştir.

Denli (2007)'de [4], makinelerin çalışırken yaydığı ses, titreşim ve ısıdan yola çıkarak yaptığı ölçüm ve gözlemler neticesinde makinelerin durumlarını incelemiştir. Önceki durumlarıyla karşılaştırıp alınması

gereken önlem ve planlarla ilgili çalışmalar yaparak, kestirimci bakım uygulamalarının iyileştirilmesi üzerine çalışmıştır.

Baykara (2009)'da [5], yaptığı çalışmada, şanzımanlarda titreşim analizi ile arıza teşhisi ve kestirimci bakım uygulamaları konusunu ele almıştır. Sistem üzerinde çalışan belirlediği bir şanzımandan titreşim ölçümleri alarak, bu ölçümler neticesinde bir dişli hasarı tespit etmiştir. Kestirimci bakımı uygulayarak şanzımanın ciddi bir şekilde hasarlanarak plansız duruşa sebep olmasını engellemiştir.

Orhan (2002)'deki [6] çalışmasında, rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi metodunu kullanarak kestirimci bakımını gerçekleştirmiştir. Bu amaçla fan ve pompalardan oluşan bir makine grubunda periyodik titreşim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde ettiği verileri frekans analizi metodu ile değerlendirerek makinelere oluşan balanssızlık, mekanik gevşeklik, aksel ayarsızlık ve rulman hasarlarının henüz oluşmaya başlamadan tespit edilebildiğini göstermiştir.

Tatar (2010)'daki [7] çalışmasında, periyodik ve kestirimci bakım arasındaki farkı ortaya koymuştur. Ayrıca kestirimci bakım tekniklerinden titreşim analizi yardımıyla arızaların genel titreşim özellikleri hakkında bilgiler vermiştir.

Bu çalışmada ise endüstride oldukça fazla kullanılan ekipmanlardan olan pompalarda meydana gelebilecek arızaların, titreşim analizi ile incelenmesi yapılmıştır. Bunun yanında kestirimci bakım uygulamaları incelenmiştir. Uygulama yapılacak işletmedeki pompa seçiminde ABC analizinden yararlanılmıştır.

## 2. KESTİRİMCİ BAKIM VE KESTİRİMCİ BAKIM YÖNTEMLERİ

### 2.1. Bakım Yaklaşımları

Her bir işletmede uygulanan, işletmelerin şartlarına göre farklılık gösteren, ancak 4 ana başlık altında toplanmış bakım yaklaşımları mevcuttur.

- Arıza Çıktıkça Bakım
- Periyodik-Koruyucu Bakım
- Kestirimci Bakım
- Pro-Aktif Bakım

## Makale

Bu bakım yaklaşımları göz önüne alınarak, bakım yaklaşımlarının verimliliği üzerine yapılan araştırmalarda, bakım masraflarının 1/3'ünün gereksizce yapılan parça değişimleri ve bakımlar ya da zamanında yapılmamış bakımlar sonucunda israf edildiğini göstermiştir [8, 9, 10].

### 2.1.1. Arıza Çıktıkça Bakım Yaklaşımı

Bu yaklaşım, makinelerin arızalanana kadar herhangi bir müdahaleye uğramadan çalışması, sadece makine arızalandığı zaman müdahale edilerek makinenin tamirinin yapılması prensibine dayanır. Ancak makinenin arızaya sebep olan noktasının yanında makine arızalanana kadar bu ekipmana herhangi bir bakım yapılmadığı için, makinenin başka yerleri de arızalanabilir. Tüm bakım yaklaşımları içinde en verimsiz denilebilecek yaklaşımdır.

### 2.1.2. Periyodik-Koruyucu Bakım Yaklaşımı

Periyodik-koruyucu bakım yaklaşımında amaç, makineler arızalanana kadar değil, belirli aralıklarla bakıma alınarak periyodik kontrollerinin yapılması ve arıza meydana getirebilecek parçalarının değiştirilmesi esasına dayanır.

### 2.1.3. Kestirimci Bakım Yaklaşımı

Kestirimci bakım yaklaşımında, çalışır durumdaki makinelerin durumlarını izleyerek, oluşabilecek muhtemel arızaları, analizler neticesinde tahmin ede-

rek uygun bakım zamanını ve uygun stokları planlayarak arızaya müdahale etme amacı vardır.

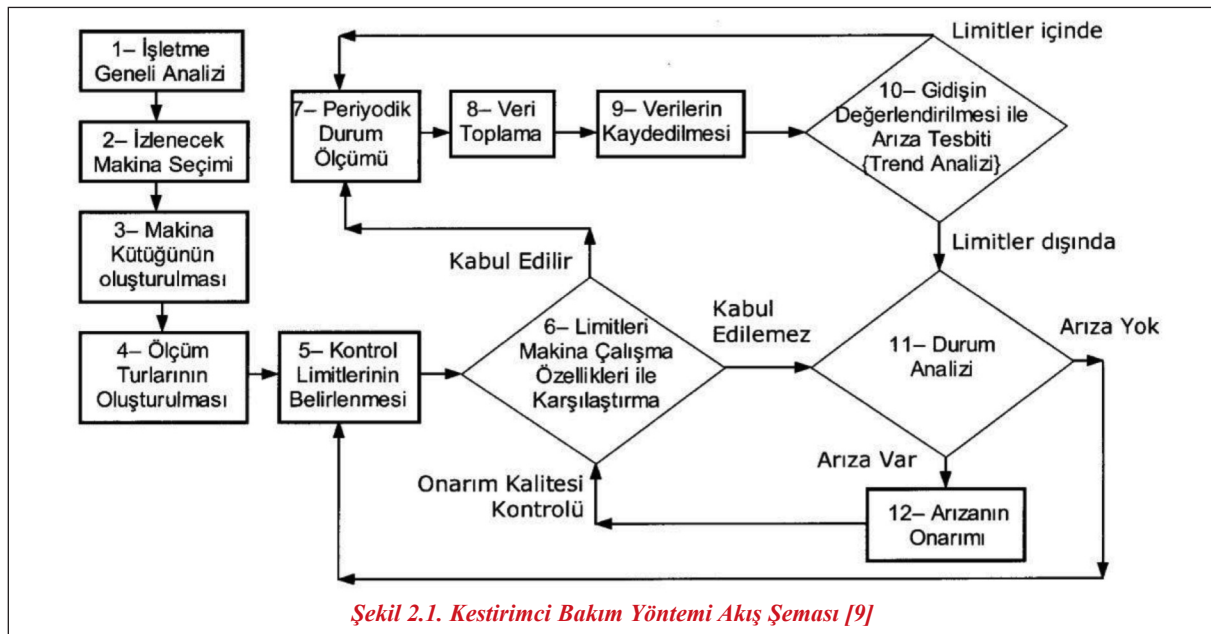
### 2.1.4. Pro-Aktif Bakım Yaklaşımı

Arızanın kaynağına inilerek arızayı oluşmadan önlemek için kullanılır. Sürekli tekrarlayan bir problemi, sürekli yakalayıp sürekli müdahale etmek yerine arızayı oluşturabilecek sebepleri; örneğin gerilme, dengesizlik, eksenel kaçıklık vb.; problemleri uygun ekipmanlar kullanarak azaltıp ortadan kaldırarak veya etkisini azaltarak arıza oluşmasını engeller. Ayrıca geciktirir. Proaktif bakıma örnek olarak lazerli kaplin ayarı ve balans alma işlemi verilebilir [4].

### 2.2. Kestirimci Bakım Yöntemleri

Kestirimci bakımı gerçekleştirmek için çeşitli yöntemler uygulanır. Bu yöntemlerle, periyodik olarak, çalışan makinelerden veriler toplanarak, üretimi durdurmadan kontrol ve ölçümler yapılır. Elde edilen bu verilerin analiz edilmesiyle oluşan sorunlar önceden yakalanır. En uygun zamanda da bakımı yaparak kestirimci bakım yaklaşımının amacına ulaşılır.

Bu yaklaşımın dezavantajı, arızalı ekipmanların yanlış değerlendirilmesinden dolayı bakım işlerinin artması olabilmektedir [3]. Ancak bu sorun eğitimle ve tecrübe edinildikçe azalır ve zamanla ortadan kalkar. Şekil 2.1'de kestirimci bakım yaklaşımının işletmedeki uygulama adımları verilmiştir.

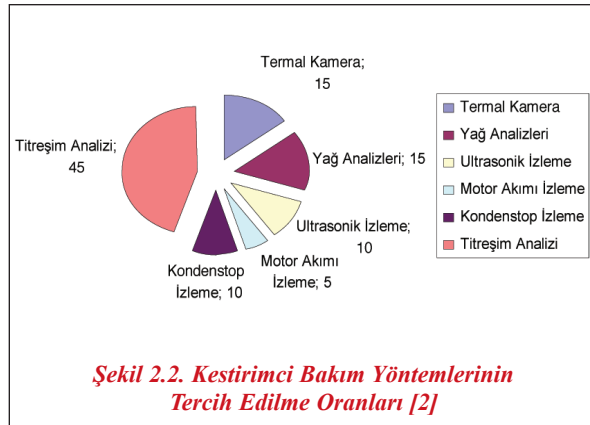


Şekil 2.1. Kestirimci Bakım Yöntemi Akış Şeması [9]

Kestirimci bakım yaklaşımının bir işletmede uygulanabilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmalıdır. Bu yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Kızıl Ötesi Termografi (Termal kamera ile izleme)
- Yağ Analizleri
- Ultrasonik İzleme
- Motor Akımı İzleme
- Kondenstop İzleme
- Titreşim Analizi

Bu yöntemler arasından birini veya birkaçını işletmeye uygulayarak kestirimci bakım programı oluşturulabilir [8, 6]. Bu yöntemler içerisindeki önem sıralaması Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Titreşim analizi yönteminin diğerlerinden daha büyük paya sahip olması, titreşim analizi ile çalışan makineyi durdurmadan verileri toplayıp, hızlı bir şekilde çok çeşitli sorunları tespit edebildiğimiz içindir. Titreşim analizi bir bakıma bize makine hakkında daha fazla veri sağladığı için daha verimli bir yöntemdir. Ancak bir kerede, makine titreşimi ölçüm analizi ile arıza kaynağı ile ilgili kesin ve net karar verebilmek için titreşim analizi ile ilgili deneyim ve bilgi sahibi olmak gerekir [11]. Bu durumun etkisini azaltmak için titreşim ölçümleri belirli aralıklarla tekrarlanarak oluşacak değişimler takip edilir.

### 2.2.1. Kızıl Ötesi Termografi (Termal Kamera ile İzleme)

Kestirimci bakım yöntemleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Pek çok elektriksel ve mekanik arızanın önceden yakalanmasına yardımcı olur.

### 2.2.2. Yağ Analizi

Hareketli makine parçalarında yağlamanın önemi büyüktür. Temas yüzeyleri arasındaki yağlayıcının analizi, kestirimci bakımda oldukça önemlidir [9]. 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.

### 2.2.3. Ultrasonik İzleme

Ultrasonik izleme, kestirimci bakım yöntemleri içerisinde bulunan işletmeye önemli kazançlar sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak basınçlı hava kaçakları belirlenebilir, kondensstopların (buhar kapanı) çalışma testleri yapılabilir, rulmanların yağlama ve hasar durumlarının kontrolleri yapılabilir, tesisatlarda kalınlık ölçülmesi, korozyonun tespiti yapılabilir [12].

### 2.2.4. Titreşim Analizi

Titreşim analizi yöntemi, kestirimci bakım yöntemleri arasında en çok uygulanan ve en hızlı sonuç alınabilen yöntemdir. Bu yöntemde, titreşimleri bir elektrik sinyaline dönüştüren bir alıcı yardımıyla makine üzerinden ölçüm alınır ve bu ölçüm sonucunda oluşan elektrik sinyalini işleyen bir cihaza aktarılır. Bu bilgiler bilgisayara aktarılarak, bir analiz yazılımı yardımıyla analiz edilerek, makineler hakkında bir sonuca varılır.

Dönen parçaları bulunan tüm makinelere uygulanabilir. Makinenin mekaniksel durumu hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar [8]. Makinelerin sürekli olarak, önem durumlarına göre belirli aralıklarla titreşim ölçümlerinin yapılması ve verilerin analizi ile yapılır.

İzleme işlemi neticesinde çok fazla sayıda arızayı yakalama şansımız vardır. Bunlar arasında balanssızlık problemleri, mekanik gevşeklik problemleri, aksel ayarsızlık problemleri, rulman arızaları, kayış-kasnak problemleri, dişli hasarları, kaplin hasarları, mil eğrilikleri, yatak aşınmaları, kavitasyon, yağlama problemleri, şase ve ankraj zayıflıkları bulunur. Her biri için elde edilen verilerin iyi ve

## Makale

detaylı analizleri yapılmalıdır. Aksi halde yanlış tespitler yapmak mümkün olabilmektedir. Tüm kestirimci bakım yöntemlerinde olduğu gibi tecrübe isteyen bir konudur. Belki de en çok tecrübe isteyen yöntem bu yöntemidir.

### 2.3. Titreşim Analizi ve Ölçümlerin Tanımı

#### 2.3.1. Titreşim ile İlgili Temel Kavramlar

Herhangi bir nesnenin, bir referans eksenine göre bulunduğu doğal pozisyonundan, farklı periyod ve genliklerle geçerek, tekrarlamış olduğu yer değiştirmelere titreşim denir. Titreşim tekrarlanan bir çevrim şeklinde ve sürekli dir. Aksi takdirde bu durum titreşim değil hareket olur.

Titreşimin kendini tekrar ettiği zaman aralığına periyod adı verilir [5]. Titreşimin birim zamandaki tekrarlama sayısı da bize frekansı verir. Bu iki kavram titreşim analizinde temel iki kavramı ifade eder.

Frekans iki türlü ifade edilebilir. Bunlardan ilki titreşimin bir saniye içindeki tekrarlama miktarıdır ve birimi hertz (Hz)'dir [5]. Diğeri ise titreşimin bir dakika içerisindeki tekrarlama miktarıdır ve birimi RPM (revolution per minute) yani n (d/d) devir/dakika'dır. Frekans ile periyod arasındaki bağıntı şu şekildedir;

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

$n / 60 = \text{Hz}$  eşitliği ile dönüşüm yapılabilir.

#### a) Basit Harmonik Salınım

En basit titreşim, harmonik titreşimdir [5]. Oluşan bütün harmonik hareketler periyodiktir ancak tersi her zaman mümkün değildir. Titreşimin oluşması için gereken kuvvetlerin büyüklüğü, titreşimin şiddetini ifade eder. Bu etki eden kuvvetler ne kadar büyükse yer değiştirme miktarı yani titreşimin genliği de o derece büyük olur.

#### b) Deplasman

Sıfır konumundan başlayarak maksimuma, oradan tekrar sıfır konumuna oluşan harekette yer değiştirme miktarı mm veya mikron cinsinden ifade edilebi-

ilir. Titreşim ile geçen zaman arasındaki bağıntı ise şu şekilde ifade edilir.

$$X = X_0 \sin(\omega t) \quad (2.2)$$

Buradaki X, deplasman olarak adlandırılır.  $X_0$  ise en yüksek genlik değeridir.

#### c) Hız

Titreşim hareketini yapan kütle hareket ettikçe kütlenin seyir hızı sıfırdan maksimuma doğru değişir [13]. Burada kütlenin hızı, deplasman denkleminin zamana göre türevinin alınması ile elde edilebilir.

$$V = \frac{dX}{dt} = x_0 \omega^2 \sin(\omega t) \quad (2.3)$$

Daha da basit olarak birim zamanda alınan yol olarak tanımlanır. Birimi mm/s, m/s, inç/s olabilir.

#### d) İvme

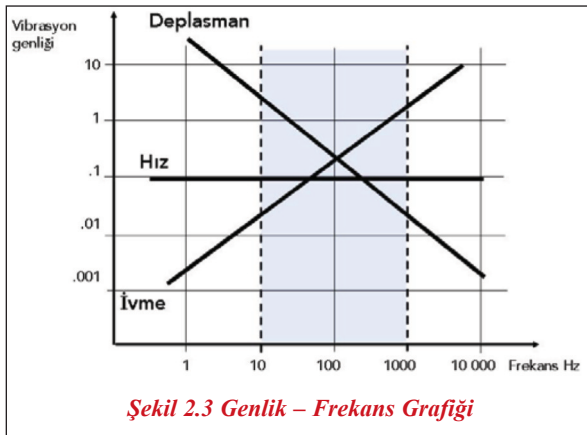
Hız denkleminin zamana göre türevinin alınması ile elde edilir. Hızda birim zamanda meydana gelen değişimdir. Birimi  $m/s^2$ ,  $mm/s^2$ , inç/ $s^2$  olabilir.

$$a = \frac{dV}{dt} = x_0 \omega^2 \sin(\omega t) \quad (2.4)$$

Bu üç ifade yani deplasman, hız ve ivme genlik birimi olarak ifade edilir.

Ölçümlerin yapılması esnasında birim olarak hangi ifadenin seçilmesi gerektiğine karar vermek önemlidir. Deplasman, hız ve ivme ile yapılan ölçümlerin kendilerine has avantaj ve dezavantajları vardır [4]. Bu kararın verilebilmesi için ölçüm yapılacak makinenin devrine göre (Hz) karar verilir. Aşağıdaki şekil bu durumu daha iyi açıklamaktadır.

Şekil 2.3'de görüldüğü üzere deplasman kullanılarak ölçüm düşük devirli makinelerde kullanılmalıdır. Yani 10 Hz'den düşük devirli (600 d/d) makinelerde kullanılmalıdır. Çünkü düşük devirli makinelerde vibrasyon enerjisinin büyük bir kısmı düşük frekans bölgesinde bulunur. İvme kullanılarak yapılan ölçümler ise yüksek devirli makinelerde kullanılır.



Şekil 2.3 Genlik – Frekans Grafiği

1000 Hz ve üzeri devire sahip makinelerde ivme kullanılırsa yorum yapabilmek kolaylaşır. Hız ise Şekil 2.3'de de görüldüğü üzere daha geniş bir frekans aralığında kullanılabilir ve verimli sonuçlar verir. Hız çoğu ölçümde kullanılabilir bir genlik birimidir.

Ölçümler esnasında hangi birimi kullanarak ölçüm yapacağımızı bilmek önemlidir. Buna uygun hareket edilmediği zaman sağlıklı ölçüm yapıp sağlıklı analizler yapamayabiliriz. Değerlerimiz ve kararlarımız yanıltıcı olabilir.

### e) Titreşim Genliği Değerleri

Genlik, yani titreşimin şiddeti, tepe değer, tepeler arası değer, RMS ve ortalama olmak üzere dört şekilde ifade edilebilir [6].

#### Tepe Değer

Tepe değer, sıfır noktasından tepe noktasına olan uzaklık, yani titreşim sinyalinin bir noktada eriştiği maksimum değerdir [6]. Bu değer  $X_0$  değeridir. Titreşimin hızının veya ivmesinin genlik değerini ifade için kullanılır [5].

#### Tepeler Arası Değer

Sinyalin maksimum tepe noktasından, minimum tepe noktasına kadar aldığı değer olarak tanımlanır.  $2X_0$  değeridir. Genellikle titreşimin deplasmanını ifade eder [5].

#### RMS (Root Mean Square)

Bir sinyalin  $t_1$  ve  $t_2$  zaman aralıklarında aldığı değerlerin karelerinin ortalamasının kareköküdür.

### Ortalama

Bir sinyalin  $t_1$ - $t_2$  zaman aralığında aldığı değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

Daha öncede bahsedildiği gibi titreşim genlik değerlerinin birimleri; yer değiştirme, hız, ivme birimlerinden birisi olabilir.

Genlik değerlerini kendi içlerinde birbirine dönüştürülebilir [5].

$$\text{Ortalama} = 0,637 \times \text{Tepe} \quad (3.5)$$

$$\text{Ortalama} = 0,9 \times \text{RMS} \quad (3.6)$$

$$\text{Tepeden Tepeye} = 2 \times \text{Tepe} \quad (3.7)$$

$$\text{Tepe} = 1,414 \times \text{RMS} \quad (3.8)$$

$$\text{Tepe} = 1,57 \times \text{Ortalama} \quad (3.9)$$

$$\text{RMS} = 0,707 \times \text{Tepe} \quad (3.10)$$

$$\text{RMS} = 1,11 \times \text{Ortalama} \quad (3.11)$$

Tüm bu temel ifadeler kestirimci bakımın titreşim analizi ayağının temelini oluşturarak, analizin anlaşılmasını ve sağlıklı yorum yapılabilmesini sağlar. Ölçüm yaparken elektrik motorları, fanlar, pompalar, kompresörler gibi içlerinde belirli bir devirde dönen rotor bulunduran sistemlerin kendi gövdeleri üzerinden ve yataklara en yakın bölgelerden sensörler yardımıyla veriler toplanır [13].

### 2.3.2. Titreşim Analizi ile Yakalanabilecek Arızalar

Daha önce de bahsedildiği gibi, titreşim ölçümleri yapılarak ve bunların spektrum grafikleri incelenerek ölçüm yapılan makinede var olan sorunlar hakkında kararlar alınır. Bu arızalar şu şekilde sıralanabilir; balanssızlık, eksenel ayarsızlık, mekanik gevşeklik, rulman arızaları, dişli arızaları, yatak aşınma arızaları, yağlama problemleri, şase zayıflıkları, akış problemleri, kavitasyon, kayış-kasnak problemleri ve kaplin hasarları gibi pek çok arıza önceden yakalanıp müdahale edilebilir [3, 6, 14, 15, 16].

Titreşim ölçümlerinin yataklar üzerinden hangi yönlerden alındığının önemi büyüktür. Çünkü bazı arızalar, bazı yönlerden alınan ölçümlerden daha kolay yakalanabilir.

Makinenin gövdesi üzerinden ve yataklara en yakın

## Makale

olan yerden titreşim ölçümleri radyal ve aksel yönlerden alınmalıdır. Titreşim ölçümü yaptığımız sensörü ölçüm yaptığımız yatağa, dönen mile dik olacak şekilde dikey ve yatay tutarak ölçümler alınır. Ayrıca eğer makinede bir kaplin bağlantısı, kayış kasnak bağlantısı gibi durumlar mevcutsa, o yataktan bir de dönen mile paralel olacak şekilde ölçüm alınmalıdır. Bu ölçümlerde yatay yönde mile dik eksende yapmış olduğumuz ölçümde balanssızlık problemini yakalayamayız kolaylaşır. Balanssızlık temel bir problemdir ve makinelerde görülen yaygın bir titreşimdir [15].

Dikey yönde alınan ölçümlerde ise makinede var olan mekanik gevşeklik problemini daha kolay yakalayabiliriz. Aksel yönden alınacak ölçümde ise aksel ayarsızlık problemlerini daha rahat bir şekilde yakalayabiliriz.

### 2.3.3. Titreşim Standartları

Titreşim ölçümlerinde elde edilen değerlerin kabul edilebilir olup olmadıkları uluslararası bir standart ile kabul görür. Çalışmamızda da kullanılacak olan standart ISO 2372 no'lu standarttır. 10 ile 1000 Hz arasındaki frekanslardaki hız değerleri için titreşim sınırları belirler. Ölçümlerde göz önünde bulundurulacak olan standartlar Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1'deki sınıf kavramları şu şekilde belirlenmiştir.

**Tablo 2.1. ISO 2372**

| TİTREŞİMİN DERECESE |          |           |          | RMS  |      |
|---------------------|----------|-----------|----------|------|------|
| Sınıf I             | Sınıf II | Sınıf III | Sınıf IV | mm/s |      |
| A                   | A        | A         | A        | 0,28 |      |
|                     |          |           |          | 0,45 |      |
|                     |          |           |          | 0,71 |      |
| B                   | B        | B         | B        | 1,12 |      |
| C                   |          |           |          | 1,8  |      |
| D                   | C        | C         | B        | 2,8  |      |
|                     |          |           |          | 4,5  |      |
|                     | D        | D         | D        | D    | 7,1  |
|                     |          |           |          |      | 11,2 |
|                     |          |           |          |      | 18   |
|                     |          |           |          |      | 28   |
|                     |          |           |          | 45   |      |

Bu Tabloda A iyi, B kabul edilebilir, C takip altında tutulmalı, D kabul edilemez, anlamındadır.

- Sınıf I, 15 Kw'a kadar olan motorlarla tahrik edilen makineleri
- Sınıf II, 15 Kw ile 75 Kw arası gücü olan motorlar tarafından tahrik edilen makineleri
- Sınıf III, 75 Kw'dan yukarı ve rijit bir temel üzerine monte edilmiş büyük makineleri
- Sınıf IV, 75 Kw'dan yukarı ve yumuşak bir temel üzerine monte edilmiş büyük makineleri ifade eder.

## 3. MATERYAL VE METOD

### 3.1. Uygulamada Kullanılacak Pompalar

Pompalar günlük yaşamda ve sanayide oldukça fazla kullanılmaktadır. Pompalar ihtiyaca ve kullanılacak yerlere göre çok çeşitli olarak üretilirler. Suyun iletiminde, soğutma ve ısıtmada, endüstride ise çok çeşitli sektörlerde pompalardan yararlanılır. Endüstride pompalar iki amaç için kullanılır. Bunlar devir daim ettirmek ve nakil etmektir.

Tesisatlarda ise pompalar çok önemli elemanlardır. Tesisatın amacına uygun olarak çalışabilmesi, pompaların doğru seçimi ve verimli çalıştırılması ile doğru orantılıdır. Bu yüzden pompaların bakım faaliyetleri oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca günümüzde giderek önem kazanan enerji verimliliği konusu da pompaların önemini daha da arttırmıştır. Günümüzde daha yaygın olarak kullanılan pompa tipi, santrifüj pompalardır. Bu bildiriye de santrifüj kızgın yağ pompaları inceleneceğinden bu tip pompalar hakkında kısa bilgi vermekte fayda vardır.

#### 3.1.1. Santrifüj Pompalar

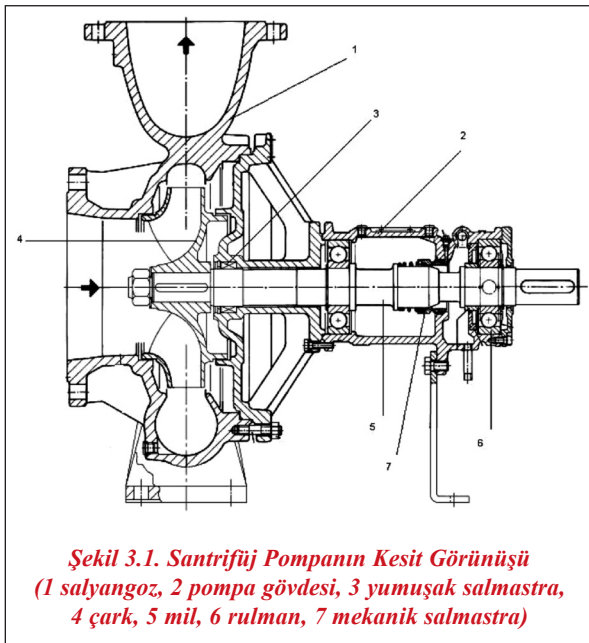
Santrifüj pompalar içinde, sıvının daha düşük bir seviyeden yüksek seviyeye kaldırılmasına olanak veren bir dinamik basınç geliştiren pompalar roto dinamik tip pompalar olarak sınıflandırılırlar [17].

Santrifüj pompalar, dönen bir çark ve pompa gövdesi olarak iki ana bölümden oluşur. Gövdede emme ve basma tarafları bulunur. Bu tip pompalarda sıvıya verilen enerji, üzerinde çarklar bulunan ve bir eksen etrafında dönen bir çark tarafından sağlanır. Çarkın sıvıya devrettiği kinetik enerji, sıvı çarktan ayrıldıktan sonra yayıcı ve salyangoz içerisinde basınç enerjisiye dönüştürülür. Santrifüj pompalar sıvıyı bir seviyeden diğer seviyeye sürekli bir şekilde basar. Bir

mile bağılı olan çarkın devir sayısına göre sıvının basıncı sınırlı bir şekilde arttırılır.

Santrifüj pompanın çarkı sıvıyı belirli bir yüksekliğe kadar basar. Sıvıyı daha yüksek seviyelere basmak istendiği takdirde çarklar aynı gövde içerisinde seri olarak bağlanır. Bir pompanın bastığı sıvı yeterli değilse pompalar paralel bağlanır [17, 18].

Santrifüj pompalar pek çok işletmede kullanılmaktadır. Kullanım yerine göre tek, ikili ve daha çoklu pompalar seçilebilir. Bu çalışmanın uygulama kısmının yapıldığı tesiste inceleyeceğimiz santrifüj pompalar kızgın yağ transferinde kullanılmaktadır [19]. Santrifüj pompanın kesit görünüşü Şekil 3.1'de verilmiştir.



### 3.2. Uygulama Çalışması

Uygulama çalışması Balıkesir bölgesinde yonga levha fabrikasında yapılmıştır. Fabrikanın kazan bölümünde bulunan 3 adet kızgın yağ pompası üzerinden belirli periyodlarla ölçümler alınmıştır. Fabrika genelinde bulunan 37 adet kızgın yağ pompası arasından ABC analizi yapılarak kazan bölgesindeki bu pompalar kritik makine olarak seçilmiştir. Makineden alınan titreşim ölçümlerinin spektrum analizleri yapılmış ve bunun sonucunda ölçüm periyodu arasında çeşitli değişimler elde edilmiştir. Elde

edilen bu değişimler, mevcut tesisat durumu da göz önüne alınarak değerlendirilmiş ve kızgın yağ pompalarında ortaya çıkan arıza durumları, sıraları ve değerlerin değişimleri incelenmiştir [19].

Uygulama çalışması için yapılan ölçümlerde ufak boyutlu, rahatlıkla el ile taşıma yapılabilen tasarım olarak son derece ergonomik bir cihaz kullanılmıştır. Cihaz, sahip olduğu modüler yapı sayesinde pek çok ölçümü yapabilmektedir. Satın alınma esnasında mevcut ihtiyaçlara göre seçenekler belirlenip, buna göre alım yapıldığı için avantajlı bir duruma sahiptir. Sonradan ortaya çıkacak ihtiyaçlar olduğunda da sıkıntı yaşanmadan veya bir başka cihaza ihtiyaç duyulmadan, talep karşılanabilmektedir.

### 3.3. ABC (Pareto) Analizi

Uygulama çalışması için ekipmanların seçimi yapılırken ABC analizi (Pareto Analizi) yöntemi kullanılmıştır.

ABC analizi değişik sayıdaki önemli nedenleri, daha az önemde olan nedenlerden ayırmak için kullanılan bir yöntemdir. İlk kez 19. yüzyılda yaşayan bir İtalyan ekonomist olan Pareto tarafından uygulanmıştır. Pareto prensibi, problemlerin büyük bir kısmının genellikle birbiri ile bağlantılı az sayıda ancak baskın nedenlerden kaynaklandığını ifade eder.

ABC analizinde veya Pareto analizinde olaylar sıklık, zaman ve önem sırasına göre sıralanır. Bu şekilde oluşturulan tablonun en belirgin özelliği, sıralamayı göstermesidir. Olayların sıklık sırasına göre sıralanması, hangi sorunun daha önce ele alınması gerektiği konusunda yardımcı olur. Daha az öneme sahip bir işe zamanın çoğunu harcamak yanlış bir davranış olacaktır. Sorunların önem ve öncelik sırasına göre çözülmesi daha gerçekçi bir durumdur. ABC analizi ile bu durumu elde edebiliriz.

ABC analizinin faydalarından bahsedilecek olunursa;

- Sorun üzerinde en önemli etkiye sahip olan faktörü belirlemek.
- Problemleri listelemek veya sebepleri tablolamak ve her biri için oluşan hata sayısını saptamak.
- Önem sırasına göre tablo oluşturmak.



## Makale

- Listedeki toplam hata sayısını belirlemek.
- Her bir problemin gösterdiği % oranlarını hesaplamak.
- Herhangi bir takım çalışmasında ortak bir karar almak ya da bir yolda birleşmek olarak sayılabilir.

### 3.4. Uygulama Yapılacak Kritik Ekipman Seçimi

Uygulamada titreşim ölçümü yapılacak olan bölge ve ekipman seçiminde izlenen yol şu şekilde gerçekleşmiştir.

Tesiste bulunan 37 kızgın yağ pompası bölgeleri ile birlikte listelenip, bölgelerin üretim başta olmak üzere, iş güvenliği ve tehlike boyutları da dikkate alınarak bir sınıflandırma yapılmıştır. Ayrıca ekipman bazında değişim sıklığına göre de ayrı bir sınıflama yapılmıştır.

Tablo 3.1'de analiz sonuçları görülmektedir. Harflerin ne ifade ettikleri ise Tablo 3.2'de belirtilmiştir.

**Tablo 3.1. Kızgın Yağ Pompalarının Bölümlere Göre ABC Analizi**

| Ekipman Adı                                  | Bölüm           | Bölümlerin Üretim Yönünden Kritikliği | Ekipman Bazında Pompa Değişim Sıklığına Göre |
|--|-----------------|---------------------------------------|--|
| Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 1             | Yonga Levha     | A                                     | C  |
| Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 2             | Yonga Levha     | A                                     | C  |
| Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 3             | Yonga Levha     | A                                     | C  |
| Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 4             | Yonga Levha     | A                                     | C  |
| Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 5             | Yonga Levha     | A                                     | C  |
| Yonga Levha Kızgın Yağ Pompası 6             | Yonga Levha     | A                                     | C  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 1                | Emprenye        | B2                                    | C  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 2                | Emprenye        | B2                                    | C  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 3                | Emprenye        | B2                                    | B  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 4                | Emprenye        | B2                                    | B  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 5                | Emprenye        | B2                                    | B  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 6                | Emprenye        | B2                                    | C  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 7                | Emprenye        | B2                                    | C  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 8                | Emprenye        | B2                                    | C  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 9                | Emprenye        | B2                                    | C  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 10               | Emprenye        | B2                                    | B  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 11               | Emprenye        | B2                                    | C  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 12               | Emprenye        | B2                                    | C  |
| Emprenye Kızgın Yağ Pompası 13               | Emprenye        | B2                                    | C  |
| Melamin Pres 1 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 1 | Melamin Pres 1  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 1 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 2 | Melamin Pres 1  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 1 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 1 | Melamin Pres 1  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 1 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 2 | Melamin Pres 1  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 2 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 1 | Melamin Pres 2  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 2 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 2 | Melamin Pres 2  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 2 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 1 | Melamin Pres 2  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 2 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 2 | Melamin Pres 2  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 3 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 1 | Melamin Pres 3  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 3 Kızgın Yağ Pompası Üst Blok 2 | Melamin Pres 3  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 3 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 1 | Melamin Pres 3  | B                                     | B  |
| Melamin Pres 3 Kızgın Yağ Pompası Alt Blok 2 | Melamin Pres 3  | B                                     | B  |
| Kazan Kızgın Yağ Pompası 1                   | Kazan Dairesi   | A                                     | A  |
| Kazan Kızgın Yağ Pompası 2                   | Kazan Dairesi   | A                                     | A  |
| Kazan Kızgın Yağ Pompası 3                   | Kazan Dairesi   | A                                     | C  |
| Kazan Kızgın Yağ Pompası 4                   | Kazan Dairesi   | A                                     | C  |
| Destek Pompası 1                             | Melamin Presler | A                                     | C  |
| Destek Pompası 2                             | Melamin Presler | A                                     | C  |

**Tablo 3.2. Kritiklik Seviyeleri**

|  |  |
|--|--|
| Bölümlerin Üretim Yönünden Kritikliği                | Ekipman Bazında Pompa Değişim Sıklığına Göre |
| A: Çok Kritik (Duruş Kabul Edilemez)                 | C: 1 Yıldan Fazla                            |
| B: Kritik ( Belli Dönemlerde Duruş Kabul Edilebilir) | B: 6 Ay - 1 Yıl Arası                        |
| B2: Kritik   | A: 0 Ay - 6 Ay Arası                         |

Tablolardaki bu değerler neticesinde kazan dairesinde bulunan kızgın yağ pompaları üretim açısından A değerini almıştır, zira bu bölgede meydana gelecek bir arıza tüm tesisi durdurmaktadır. Ayrıca bu bölgede meydana gelecek arıza bir duruş veya önceden fark edilmemiş bir arıza, hatlarda kızgın yağ bulunduğundan güvenlik anlamında da bir risk oluşturmaktadır. Ek olarak ekipman bazında pompa değişim sıklığına göre bakılacak olursa A değeri ile sıklıkla değişim yapıldığı görülmüştür.

Tüm bu kritiklik düzeylerinden dolayı kazan bölgesindeki üç adet kızgın yağ pompasından belirli aralıklarla titreşim ölçümü alınarak titreşim analizleri yapılmasına karar verilmiştir.

Çalışma için belirli aralıklarla titreşim ölçümü alınacak olan kızgın yağ pompasının özellikleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

**Tablo 3.3. Titreşim Ölçümü Yapılacak Pompa Bilgileri**

|                   |              |
|-------------------|--------------|
| Pompa Tipi        | NTT100-250   |
| Motor Gücü        | 75 Kw        |
| Motor Ön Rulman   | 6315 2Z C3   |
| Motor Arka Rulman | 6315 2Z C3   |
| Motor Devri       | 2975 d/d     |
| Pompa Ön Rulman   | 6308 2Z/C4WT |
| Pompa Arka Rulman | 6308 2Z/C4WT |
| Pompa Devri       | 2975 d/d     |

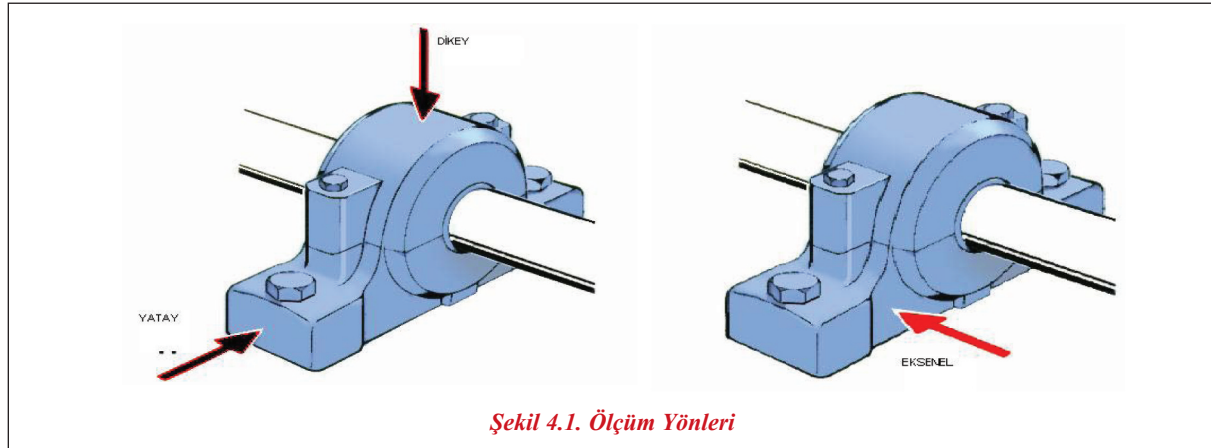
Pompa ve elektrik motorunun rulman ve devir bilgileri bir yazılım yardımı ile sisteme girilerek ölçüm rotası oluşturulmuştur. Elektrik motoru üzerinden, arka taraf rulman yatağının olduğu kısımdan yatay ve dikey ayrıca şok ölçümü, motor ön tarafından yatay, dikey ve eksenel yönde ölçüm ayrıca şok ölçümü olacak şekilde toplam beş noktadan titreşim, iki noktadan şok ölçümü yapılmıştır. Pompa üzerinden ise, pompa kaplin tarafından yatay ve dikey, ayrıca şok ölçümü, pompa çark tarafından yatay ve dikey ayrıca şok ölçümü olacak şekilde toplam 4 noktadan titreşim ölçümü ve 2 noktadan şok ölçümü yapılmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen veriler ışığında yapılan değerlendirmede çeşitli sonuçlarla karşılaşmıştır.

## 4. BULGULAR

### 4.1 Kızgın Yağ Pompalarında Titreşim Ölçümleri

Titreşim ölçümleri yapılırken üç yönden titreşimler alınmıştır. Bu yönler yatay, dikey ve eksenel yönlerdir. Üç farklı yönden alınmasının sebebi, farklı yönlerdeki titreşim ölçümlerinde farklı problemlerin daha net ortaya çıkmasıdır.

Motor dış tarafından yatay, dikey titreşim ve şok ölçümü olacak şekilde üç noktadan, motor iç tarafından yatay, dikey, eksenel ve şok olmak üzere dört



## Makale

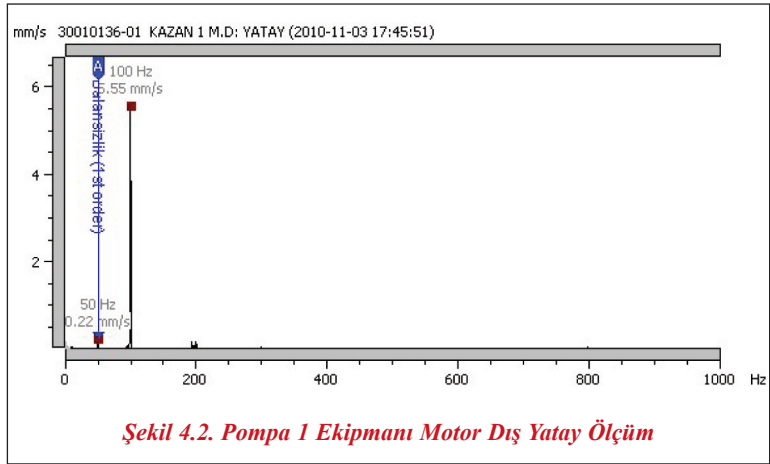
noktadan, pompa iç tarafından yatay, dikey ve şok olmak üzere üç noktadan ve yine motor dış tarafından yatay, dikey ve şok olmak üzere üç noktadan toplamda onüç noktadan bir ekipman için ayrı ölçümler alınmıştır.

### 4.2. Kızgın Yağ Pompası 1 Titreşim Analizi ve Elde Edilen Sonuçları

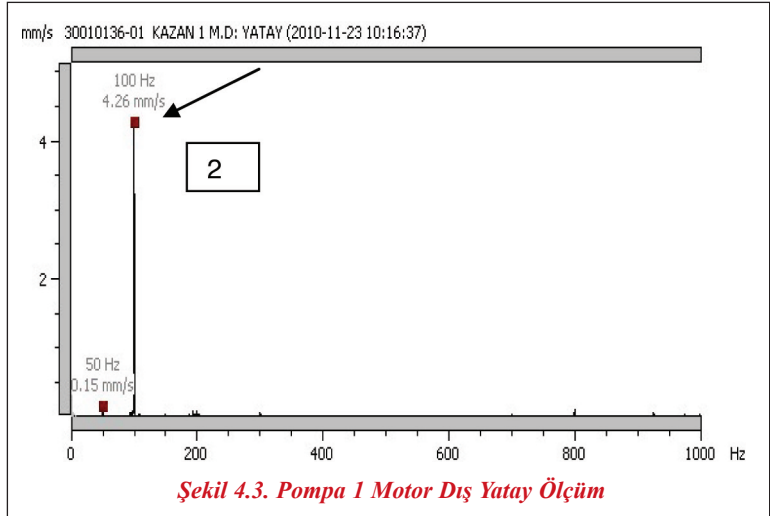
Kızgın yağ pompası 1 ekipmanı için şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Kızgın yağ pompası 1 ekipmanında titreşim ölçümleri toplanmaya başlandığı tarihte mevcut bir aksenal ayarsızlık sorunu vardı. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de motor dış tarafından ve yatay yöndeki ölçümlerin spektrum grafikleri incelendiğinde dönme devri frekansında yani 50 Hz seviyesinde 1X ve bu frekansın iki katında yani 100 Hz'de 2X piki oluşmuştur. Bu pikler arasında 1X'te oluşan pik temel pik olup tüm makinalarda balanssızlık çalışma değeri tam olarak sıfırlanamayacağı için mevcut olur. Ancak paralel bir aksenal ayarsızlık mevcut olduğu takdirde 2X'te oluşan pik, 1X'te oluşan pikten baskın hale gelir ve yatay ve dikey ölçümde oluşur. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de titreşimin değeri 5,5 mm/sn, 4,26 mm/sn seviyelerinde aksenal ayarsızlığa bağlı olarak yüksek seyrediyor.

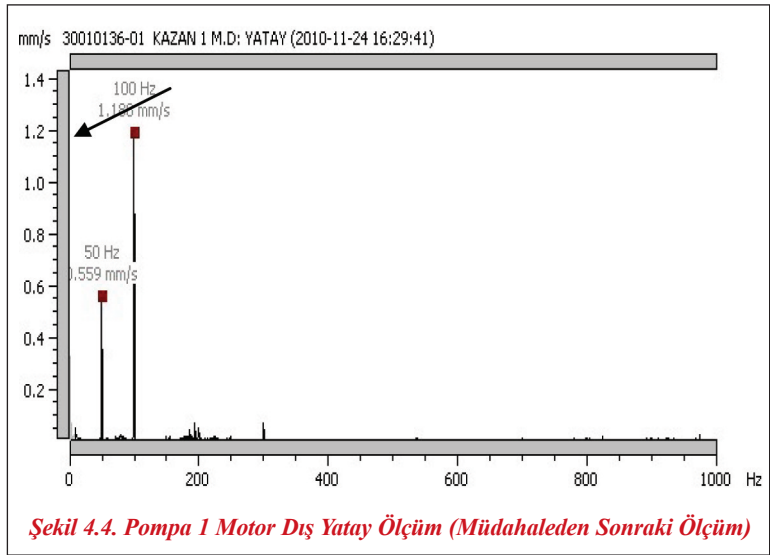
Aynı şekilde Şekil 4.5'de 2X piki, 1X pikine göre baskındır. Titreşimin değeri ise 3,4 mm/sn seviyelerindedir. Burada da aksenal bir ayarsızlık olduğu gözükmemektedir. Hatta 2X piki, 1X pikinden baskın olduğu için makinenin paralel yönde bir kaplin ayarı istediği görülmüştür. Kaplin ayarından (müda-



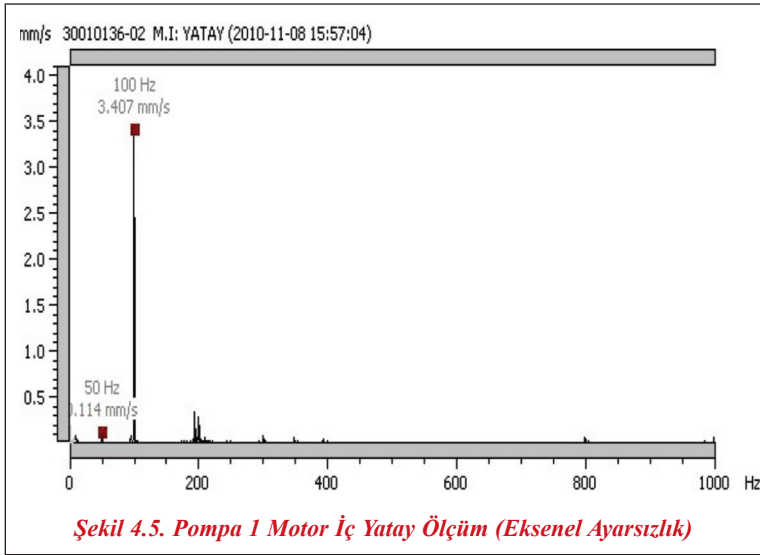
Şekil 4.2. Pompa 1 Ekipmanı Motor Dış Yatay Ölçüm



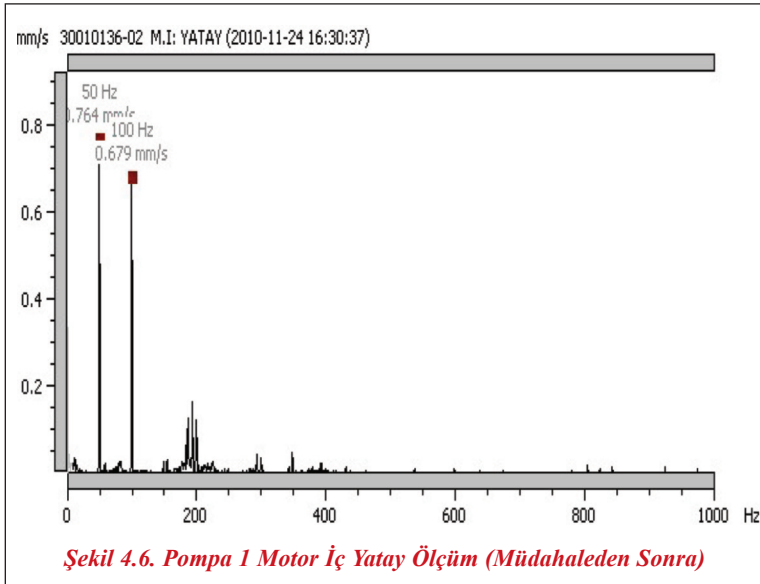
Şekil 4.3. Pompa 1 Motor Dış Yatay Ölçüm



Şekil 4.4. Pompa 1 Motor Dış Yatay Ölçüm (Müdahaleden Sonraki Ölçüm)



Şekil 4.5. Pompa 1 Motor İç Yatay Ölçüm (Eksenel Ayarsızlık)



Şekil 4.6. Pompa 1 Motor İç Yatay Ölçüm (Müdahaleden Sonra)

halden) sonra titreşim seviyelerinde düşüş yaşanmıştır. Titreşim seviyesi 0,76 mm/sn seviyelerine düşmüştür.

Pompa müdahale edilmeden ki titreşimiyle çalışmaya devam etseydi, muhtemel bir rulman arızası ortaya çıkacaktı. Bunun sonucunda pompa durdurulacak ve bakım için yedeğiyle değiştirilecekti. Bu da duruşa sebep olacaktı. Ayrıca rulman arızasının fark edilememesi durumunda, rulman kilitleyebilir ve daha başka hasarlara sebep olabilirdi. Buradaki eksenel ayarsızlık problemi titreşim ölçümleri sayesinde

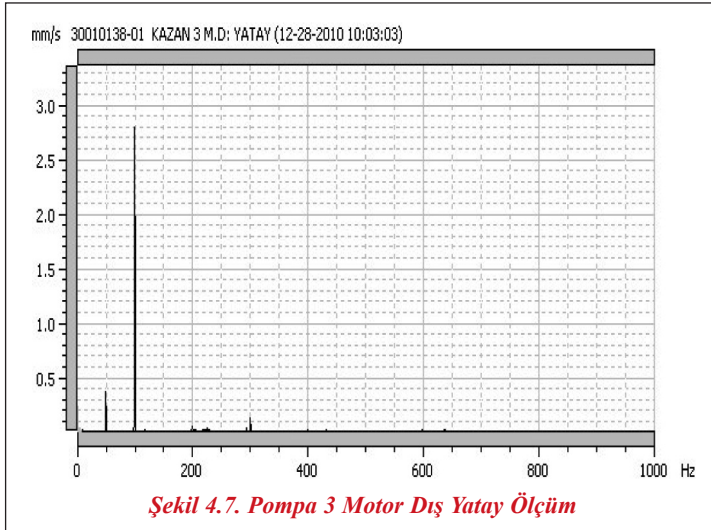
fark edilmiş ve hemen müdahale edilerek, söz konusu pompanın ömrü uzatılmıştır.

Kızgın yağ pompası 2 için yapılan titreşim analizi ve elde edilen sonuçlar kızgın yağ pompası 1 ile benzerlik göstermekte olup sonuçlar kaynak 19'da detaylı olarak görülebilir.

#### 4.3 Kızgın Yağ Pompası 3 Titreşim Analizi ve Elde Edilen Sonuçlar

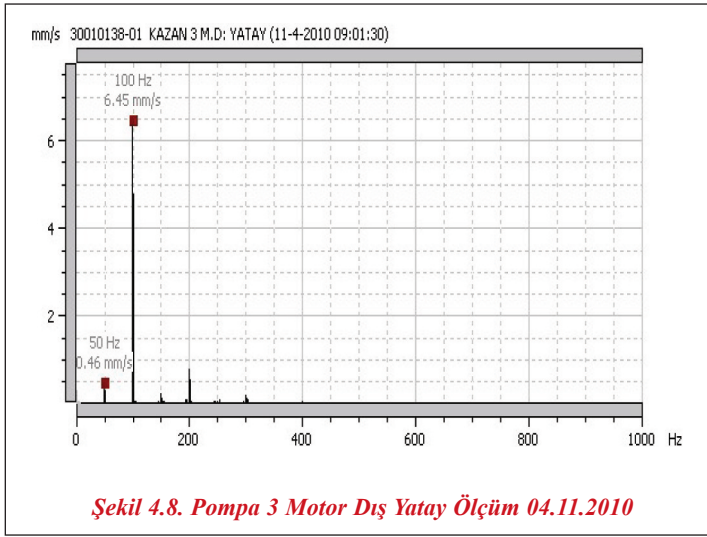
Kızgın yağ pompası 3 için yapılan ölçümler sonucunda şu veriler elde edilmiştir. Mevcut durumda eksenel yönde bir ayarsızlık mevcut iken bir süre sonra pompadaki rulmanların bozulduğu ve bu yönde spektrum grafiklerinde değişiklikler elde edilmiştir.

Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da görüldüğü gibi, motor arka (dış) ve ön (iç) tarafından alınan titreşim ölçümlerinde artış görülmektedir. Spektrum grafiğimizdeki bu durum bize tıpkı 1. pompada olduğu gibi eksenel ayarsızlığın artışı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte pompanın titreşim değerlerine ve spektrum grafiklerine bakacak olursak, sadece eksenel ayarsızlık yapmanın işe yaramayacağını

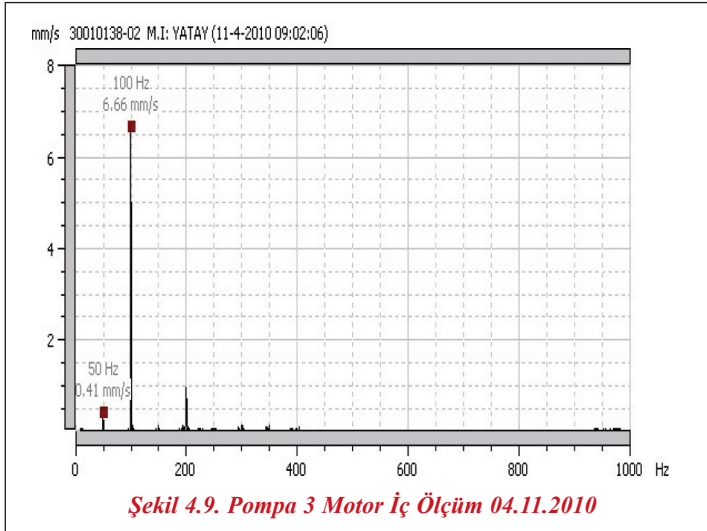


Şekil 4.7. Pompa 3 Motor Dış Yatay Ölçüm

## Makale



**Şekil 4.8. Pompa 3 Motor Dış Yatay Ölçüm 04.11.2010**



**Şekil 4.9. Pompa 3 Motor İç Ölçüm 04.11.2010**

anlarız. Çünkü pompa rulmanları da hasarlı noktaya gelerek bize pompanın değişmesi gerektiğinin uyarısını veriyor.

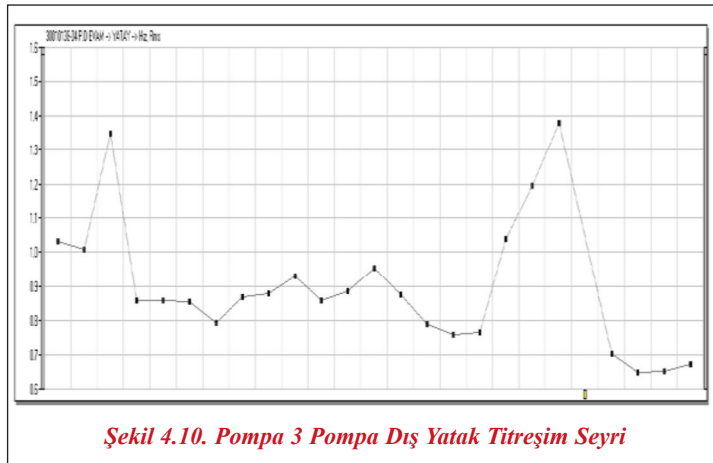
Şekil 4.10'da pompadaki çark tarafı (dış) rulman yatağından alınan ölçümlerde, hız değerinin seyri gözükmemektedir. Ayrıca yine Şekil 4.11'de pompanın kaplin tarafı (iç) rulman yatağından alınan ölçümlerde ivme seyirlerini görmekteyiz. İvmelerin hızlı bir artış göstermesi ve bununla birlikte Şekil 4.12'deki spektrum grafiğinde 800 Hz bölgesindeki geniş bant olarak toplanmış pik grubu, rulmanın hasarlandığını pompanın değişiminin olması gerektiğini gösteriyor. Bu noktada tepe değeri de 55

$m/s^2$  seviyelerine yükselmiş durumdadır. Bu noktadan sonra pompanın değişmesi gerekmektedir. Eğer değişim gerçekleşmezse, rulman arıza çıkarabilir ve arıza duruşa sebep olabilir. Daha da önemlisi ekipman işletme için kritik bir yerde olduğu için olası bir pompa kilitlenmesinde yangın riski de artmaktadır. Dolayısıyla planlamalar yapılarak değişim yapılmalıdır.

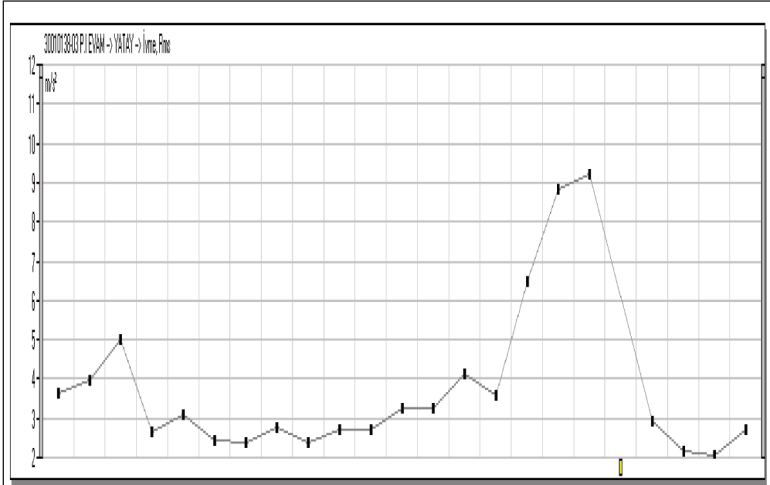
Şekil 4.13'de görüldüğü gibi, pompa değişiminden sonra titreşim değerleri düşmüştür. Ayrıca 800 Hz geniş bant aralığındaki arıza pikleri ortadan kaybolmuştur. İvme değeri  $9 m/s^2$ 'den  $2 m/s^2$  seviyelerine düşmüştür. Pompa ekipmanı duruşa sebep olmadan değiştirilmiştir. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de pompa değişiminden önce ve sonra dış yatak rulman titreşim ölçümüne ait spektrum grafiğindeki değişim görülür.

Geniş bant hasar pikleri pompa değişiminden sonraki alınan ölçümlerde ortadan kalkmıştır. Sağlıklı olarak çalışan bir pompa, sisteme arıza bir duruş olmadan planlanarak monte edilmiştir.

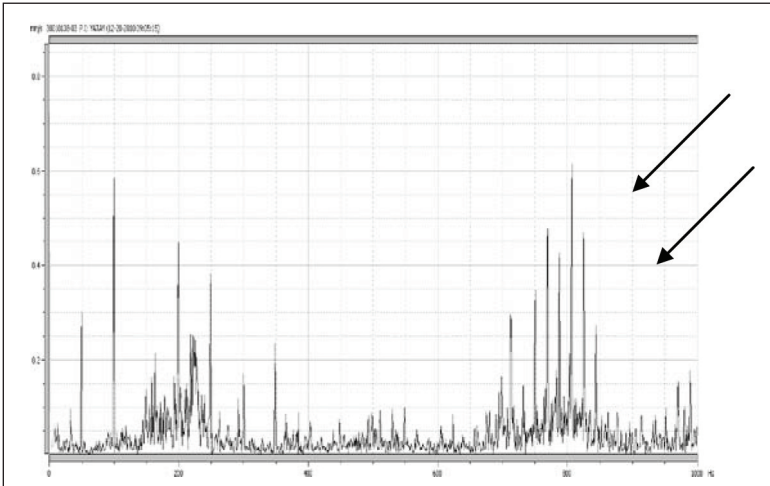
Özellikle 3 numaralı pompada ilk ölçümden itibaren aksel ayarsızlığa bağlı olarak normalin üzerinde bir titreşim mevcuttur. Bu titreşim devam ettiği takdirde yapılan ölçümler göster-



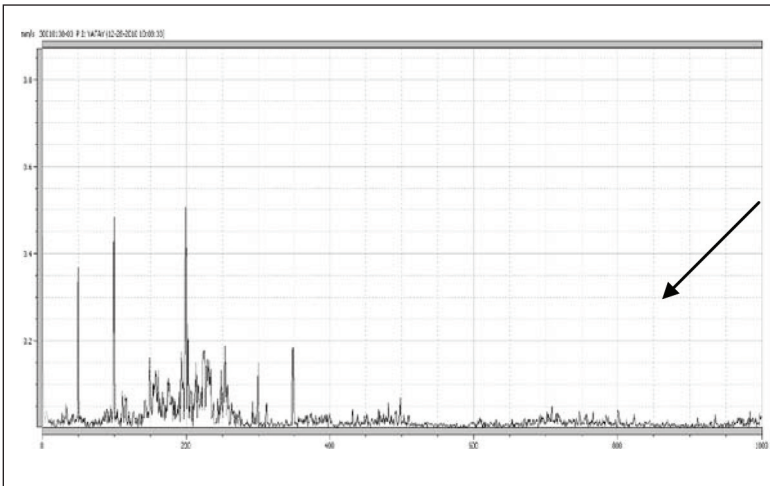
**Şekil 4.10. Pompa 3 Pompa Dış Yatak Titreşim Seyri**



**Şekil 4.11. Pompa 3 Pompa İç Yatay İvme Değeri Değişimi**



**Şekil 4.12. Pompa 3 İç Yatak Rulman Titreşim Spektrumu (Arızalı Durum)**



**Şekil 4.13. Pompa 3 İç Yatak Rulman Titreşim Spektrumu (Pompa Değişiminden Sonra)**

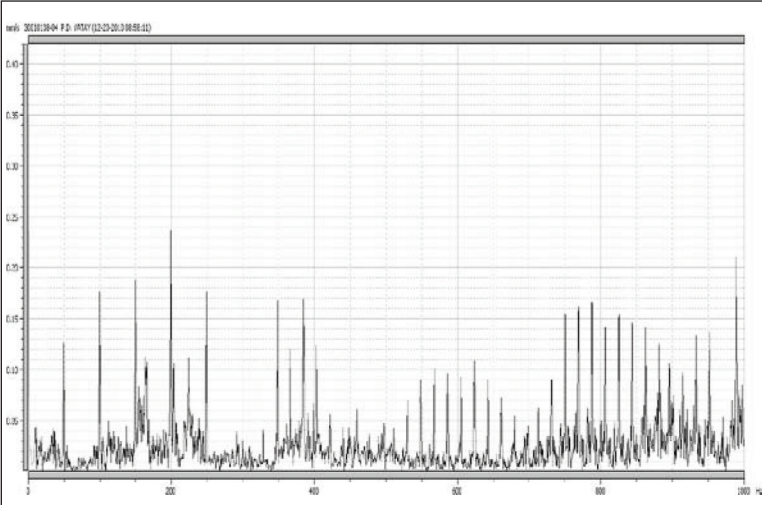
miştir ki, eksenel ayarsızlık rulman hasarına sebep olabilmektedir. Kaplin ayarına bağlı titreşim giderilmediği takdirde, rulman hasarı oluşması muhtemel olmaktadır. Bir numaralı pompada bir eksenel ayarsızlık mevcutken yapılan müdahale sonucunda titreşim seviyesi normale dönmüş ve rulman şok değerleri artış göstermeden seyretmiştir. Tabii ki farklı faktörlerde pompa, motor ve rulmanlar üzerinde farklı etkiler yaratabilir.

## SONUÇ

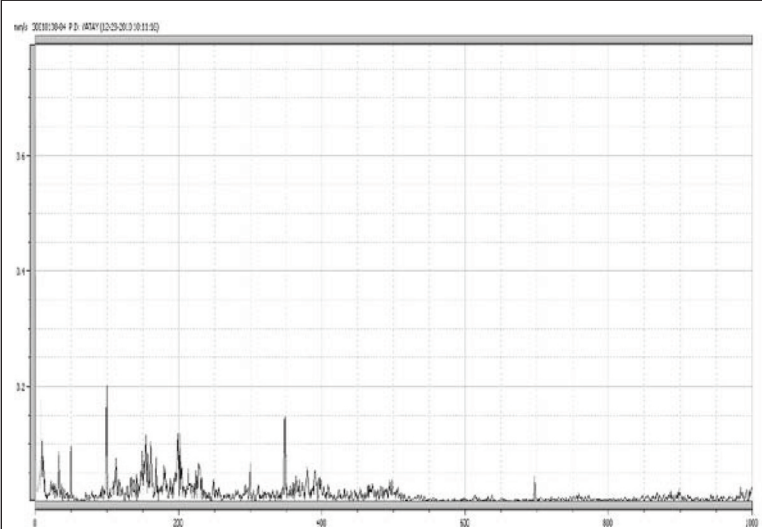
Kestirimci bakım yöntemleri günümüzde bir işletme için hayati önem taşımaktadır. Bu yöntemler içinde, titreşim ölçümü ve analizi yöntemi, çalışan ekipmanların durumları hakkında yorum yaparak, makinenin ne zaman arızalanacağını veya uygun değişimin ne zamana planlanması gerektiğini tahmin etmemizi sağlar. Oluşabilecek olan arızaların önceden belirlenip planlanması, arıza bir duruşun önüne geçecek ve üretimin beklenmedik kesintilere uğramasını engelleyecektir.

Bu çalışmada ABC analizine göre seçtiğimiz işletme için kritik olan kızgın yağ pompa ekipmanlarının periyodik olarak titreşim ölçümlerini alıp bunların titreşim analizleri incelenmiştir. Ölçüm alınan periyotta meydana gelen durumlar göz önüne alınarak, bazı arızaların birbirini tetikleyebildiği yönünde verilere ulaşılmıştır. Bu arızaların oluşmadan kontrol altında tutulup, yerinde müdahale etmenin önemli olduğu görülmüştür.

Ayrıca titreşim analizinin, işletme için kritik olan bir bölgenin kontrol

**Makale**

**Şekil 4.14. Pompa 3 Dış Yatak Rulman Titreşim Ölçümü Spektrumu (Arızalı Ölçüm)**



**Şekil 4.15. Pompa 3 Dış Yatak Rulman Titreşim Spektrumu (Pompa Değişiminden Sonra)**

altında tutulup, arızalar meydana gelmeden önce müdahalenin planlanıp uygulanmasını mümkün kıldığı bir kez daha bu çalışmayla görülmüştür.

Günümüzde artık ekipman arızalanmadan titreşim analizi ile en uygun an planlanıp müdahale edilebilmektedir. Bunun için titreşim analizini doğru yapıp makineyi okumak gerekir. Titreşim analizi ile ilgili gerekli eğitimleri almış, analizleri okuyabilen ve yorum yapabilen personel, işletmelerin kritik ekipmanların arızı duruş yaratmadan önce müdahale edilmesini sağlar ve gereksiz duruşların önüne geç-

rek gereksiz üretim ve bakım maliyetlerini önler.

**KAYNAKLAR**

- [1] Kalyoncu, M., “Titreşim analizi ile makina elemanları arızalarının belirlenmesi”, Mühendis ve Makina Dergisi, Ankara, Cilt no 47, Sayı 552, (2006).
- [2] <http://www.lindsayengineering.com/services/vibration-analysis-and-testing-services/>, (31.01.2011)
- [3] Arslan, S., “Titreşim analizi ile fanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak, (2010).
- [4] Denli, H.B., “Kestirimci bakım ve uygulamalarının iyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin, (2007).
- [5] Baykara, V.İ., “Titreşim analizi ile şanzımanlarda arıza teşhisi ve kestirimci bakım”, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri

Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Zonguldak, (2009).

- [6] Orhan, S., “Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analizi ile kestirimci bakımı”, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı, Kırıkkale, (2002).
- [7] Tatar V., “Su pompa istasyonunda kestirimci bakım ve yönetim organizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, (2010).
- [8] Orhan, S., Aktürk, N. ve Çelik, V., “Bir santrifüj pompa rulmanlarının çalışabilirliğinin titreşim

- analizi ile belirlenmesi”, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, Ankara, Cilt 16, Sayı 3, Sayfa 543-552., (2003).
- [9] Mobley, R.K., “An introduction to predictive maintenance”, Van Nostrand Reinhold, New York, Page 1-16., (1990).
- [10] Chu, C., Proth, J.M. ve Wolff, P., “Predictive maintenance: The one-unit replacement model”, Int.J.Production Economics, 54, Page 285-295, (1998).
- [11] Köse, R.K. , “Makine arızalarının belirlenmesinde titreşim analizi”, Mühendis ve Makine Dergisi, Ankara, Cilt: 45, Sayı:538, (2004).
- [12] Murphy, T.,”J. Understanding Ultrasonic Signal Analysis”, <http://www.sdtnorthamerica.reliabilityweb.com/tutorials.htm> (31.01.2011)
- [13] Engür, A.İ., “Kestirimci bakımda titreşim analizi”, Mühendis ve Makine Dergisi, Ankara, Cilt: 48, Sayı: 570, (2007).
- [14] DMT Makine Vibrasyon Sunumu, Bursa, (2009)
- [15] Orhan, S., “Dönen makinelerde oluşan arızalar ve titreşim ilişkisi”, Teknoloji Dergisi, Karabük, Yıl 6, Sayı 3-4, sayfa 41-46, (2003).
- [16] Çağlayan, İ.H., “Değişik tip pompalarda titreşim ölçüm ve analizi ile arıza tanımı”, <http://www.vibratek.com.tr>, (31.01.2011)
- [17] Geçit, C., “Seri ve paralel bağlı santrifüj pompaların farklı devir ve sıcaklıklardaki performanslarının incelemesi”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul, (2006).
- [18] Marti, O., “Santrifüj pompaların genel tasarımlarının incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konstrüksiyon Anabilim Dalı, İstanbul, (2006).
- [19] Karadayı H. M., “Titreşim Analizi ile Pompalarda Arıza Tespiti ve Kestirimci Bakım Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2011.