



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

FAN KANATLARINDAKİ DENGESİZLİĞİN VE YUVARLANMALI YATAK ARIZASININ TİTREŞİME ETKİSİ

THE EFFECT OF FAN BLADE UNBALANCE AND
ROLLING ELEMENT BEARING FAULT ON VIBRATION

Yazarlar (Authors): Menderes Kam^{ID*}, Serkan Gülle^{ID}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kam M., Gülle S., “Fan Kanatlarındaki Dengesizliğin ve Yuvarlanmalı Yatak Arızasının Titreşime Etkisi” *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 7(1): 1-8, (2023).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1129705

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

FAN KANATLARINDAKİ DENGESİZLİĞİN VE YUVARLANMALI YATAK ARIZASININ TİTREŞİME ETKİSİ

Menderes Kam^a , Serkan Glle^b 

^aDzce niversitesi, Dr. Engin PAK Cumayeri MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, TÜRKİYE

^bDzce niversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: mendereskam@duzce.edu.tr

(Received: 13.06.2022; Revised: 09.08.2022; Accepted: 03.04.2023)

Z

Dönen makine sistemlerinde, arızanın erken belirlenebilmesi sadece makine elemanlarını korumak için değil, aynı zamanda büyük bir arızadan önce mevcut arızanın tespit edilebilmesi için de gereklidir. Bu çalışmada, fan kanatlarında oluşan dengesizliğin ve yuvarlanmalı yatak (rulman) arızasının titreşime etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda, bir yuvarlanmalı yatakta oluşan iç bilezik hatasının ve fan kanatlarında oluşan dengesizliğin rulmandan ve fan motorundan alınan ölçüm sonuçları ile belirlenebilmesi amacıyla kullanım yerinde çalışma gerçekleştirilmiştir. Titreşim lmleri ve analizi için VSE150 titreşim analizörü ile VSA001 kodlu ivmeölçer kullanılmıştır. Elde edilen bulgular analiz edilmiş ve sonuç olarak, titreşim analizinin titreşime sebep olan etkenlerin tespit edilmesinde etkin olarak kullanılabileceği grlmştir. Sonuçlar, titreşim analizi ile rulman arıza tespitinin başarılı bir Şekilde yapılabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Titreşim, Rulman Arızası, Arıza Tespiti, Dengesizlik, Fan Kanadı.

THE EFFECT OF FAN BLADE UNBALANCE AND ROLLING ELEMENT BEARING FAULT ON VIBRATION

ABSTRACT

In rotating machinery systems, early detection of the failure is not only necessary to ensure the health of the machinery elements but also to detect the current fault before catastrophic failure. In this study, the determination of the unbalance in the fan blades and the rolling element bearing fault by vibration analysis were investigated. In this context, in order to determine the inner ring defect in a rolling element bearing and the unbalance caused in the fan blades with the measurement results taken from the fan motor and rolling element bearing, an experimental study was conducted. In the study, VSE150 vibration analyzer and VSA001 code accelerometer were used for vibration measurements and their analysis. Obtained findings were analyzed. As a result, it has been seen that vibration analysis can be effectively used in detecting the factors that cause vibration. The results reveal that the fault detection in the bearing can be successfully performed by vibration analysis.

Keywords: Vibration, Bearing Fault, Fault Detection, Unbalance, Fan Blade.

1. GİRİŐ

Titreşim, bir cismin denge konumunda yaptığı yer değişimi hareketi olarak tanımlanır. Hareketli bileşenlere sahip dönen makine sistemlerinde ve makinelere bağlı bileşenlerde oluşan dinamik kuvvetlerin etkisi neticesinde titreşimler meydana gelir. Mekanik olarak iyi

dengelenmiş bir makede oluşan titreşim çok azdır. Diğer yandan yük altında çalışması sonucu makine parçaları aşınır, bazı parçalarda küçükte olsa Şekil değişimleri ve dinamik özelliklerinde değişiklikler meydana gelir. Bu değişimlere bağlı olarak parçalar arasında boşluklar oluşur, eksen kaçıklıkları ve

dengelesizlik gibi problemler ortaya çıkabilir. Bütün bu oluşan problemler makine sistemlerinin titreşimlerinde bir artış meydana getirir [1-3].

Endüstride kullanılan makine sistemlerinin büyük bir çoğunluğu dönme hareketine bağlı olarak iş yapmaktadır. Bu makine sistemlerinde oluşabilecek arızaların başlangıç aşamasında tespit edilmesi ve tespit edilen arızaların giderilmesi üretimin verimliliği bakımından büyük önem taşır. Bu mekanik arızaların tespiti için kullanılabilir yöntemler arasında titreşim analizi ilk sıralarda yer alır ve dönen elemanların kestirimci bakım uygulaması endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [1, 4]. Döner makine sistemlerine etki eden iç ve dış kuvvetler nedeni ile çalışma esnasında titreşimin oluşmaması mümkün değildir. Önemli olan bu titreşimlerin belirlenen limitlerde tutulmasıyla makinenin çalışma ömrünün ve verimliliğinin artırılmasıdır [1, 2]. Ayrıca, bu sistemlerde en sık karşılaşılan problemler; dengelesizlik, mekanik gevşeklik, eksen kaçıklığı ve yuvarlanmalı yatak arızalarıdır. Bu problemlerin neden olduğu titreşimler hareketli parçalar aracılığı ile mekanik gövdeye veya yataklara aktarılır. Bu noktalardan bir titreşim algılayıcısı ile yapılan ölçümler sayesinde makinenin içyapısında meydana gelen sorunlar rahatlıkla belirlenebilir. Ölçülen titreşim değerleri Fast Fourier Transform (FFT) metodu ile zaman ekseninden frekans eksenine dönüştürülür. Farklı mekanik sebeplerden kaynaklanan arızalar, farklı frekanslarda titreşim sinyalleri ürettiği için frekans analizi ile makine sistemlerinde oluşan arızalar belirlenebilir. Titreşim analiziyle kestirimci bakım, makine sistemlerinde üretimi durdurmadan kullanılan bakım yöntemi olarak bilinmektedir. Bu yöntemde makine sistemlerinde periyodik olarak gerçekleştirilen ölçümlerle elde edilen veriler titreşim analizi ile incelenir, tespit edilen arızanın nedeni ve seviyesi makinelere zarar vermeden belirlenebilir [1-5].

Literatürde, döner bir makinenin eksen kaçıklığı veya dengelesizliği sonucu oluşan titreşimler deneysel olarak analiz edilmiş ve titreşim değerlerinin tahammül edilebilir sınırlar içinde olduğu sonucu elde edilmiştir [1]. Yapılan bir çalışmada endüstriyel tesislerin bakımında titreşim analiziyle kestirimci bakım yöntemi incelenmiştir [5]. Diğer bir çalışmada,

rulmanlarla desteklenmiş döner makinelerde titreşim analizi ile kestirimci bakım yöntemi ele alınmıştır [6]. Literatür çalışmalarında; döner makinelerde en sık karşılaşılan gevşeklik, dengelesizlik, eksen kaçıklığı, yuvarlanmalı yatak arızaları ve farklı işlem uygulanmış millerin dinamik davranışları analiz edilmiştir [7-10]. Ayrıca literatür çalışmalarında, makine sistemlerinin titreşim davranışları, yuvarlanmalı yataklar, motor devir ve yükünün titreşime etkisi gibi birçok çalışma yapılmış ve ayrıntılı olarak incelenmiştir [12-14].

Kestirimci bakıma en uygun yaklaşım olarak sürekli izlemeyi benimsemiş bir çimento fabrikasında gerçekleştirilen çalışmada; bir mekanizmayı etkileyebilecek arızaları tespit etmek, bozulmaları öngörmek ve bu arızaların muhtemel nedenlerini belirlemek için hız ve ivme seviyelerinin analizi ve spektral analizi kullanılmıştır. Bu bağlamda, gerçek ölçümler, makinede arızaya neden olan zayıf noktaların tespit edilmesine yol açan titreşim ile analiz edilmiş, bu nedenle çevrimiçi kontrol sistemi aracılığıyla bozulmanın izlenmesi ile bakımın optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Titreşim analizi, titreşim seviyesinin sabit düzeltme eşiği sınırına ulaştıktan sonra arızalı bileşenleri tespit etme olanağı sağlamıştır [16]. Uysal, çalışmada; makinelerde titreşim analizi ile kestirimci bakım yöntemi gerçekleştirmiş ve periyodik olarak titreşim verileri almış, bu verileri frekans analizi ile değerlendirerek arızaları tespit etmeye çalışmıştır. Rulman arızaları, mekanik gevşeklik ve fan kanat geçiş frekansı tespit etmiştir [17]. McFadden ve Smith çalışmalarında, sabit yük altındaki bir yuvarlanmalı yatak iç bileziğinde oluşan hasarların nedeni olduğu titreşimi belirlemek amacıyla bir matematiksel model oluşturmuş ve hesaplanan sonuçlar ile deneysel sonuçların birbiri ile örtüştüğünü gözlemlemişlerdir [18, 19]. Döner makinelerdeki dengelesizlik arızası için bir rotor düzeneğinde yapılan deneysel çalışmada; beş farklı devirde rotoru çalıştırıp titreşim hız ölçümleri yapılmış, spektrum ve faz analizi gerçekleştirilmiştir. Farklı kuvvetlerde ve hızlarda elde edilen veriler kıyaslanmıştır [20]. Diğer bir çalışmada, rulmanların dış bilezik, iç bilezik ve yuvarlanma elemanları üzerindeki hasarları titreşim analizi ile belirlemişlerdir. Arızaların yeri FFT spektrumu ile gösterilmiş ve her iki yataktaki motor ve fanda yatay yönde gösterilmiştir. Titreşim hızını azaltmak için ağırlık eklenerek yerinde

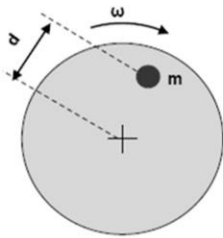
dinamik denge sağlanmıştır [21]. Milind çalışmasında, erken arıza tespiti ve acil bakım maliyetinde tasarruf sağlayabileceğinden dolayı FFT analizi kullanarak yuvarlanmalı yatak arızalarını tespit etmiştir [22]. Titreşim analizi ile makine ve ekipmanlarında oluşabilecek arızalar önceden tespit edilerek daha büyük arızaların oluşması önlenmektedir. Literatür çalışmalarının genelinde olduğu gibi üretim esnasında oluşabilecek arızaların önceden tespit edilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle büyük bir arıza oluşmadan önce tespit edebilmek amacıyla bu çalışmada, fan kanatlarında oluşan balans bozukluğu ve yuvarlanmalı yataklarda oluşan arızanın titreşime etkisi incelenmiştir.

2. DÖNEN MAKİNELERDE OLUŞAN ARIZALAR

Dengesizlik, mekanik gevşeklik, eksen kaçıklığı ve rulman aşınmaları dönme hareketi ile iş yapan makinelerde en çok karşılaşılan arızalar olarak bilinmektedir [1].

2.1. Dengesizlik

Balans ifadesi dönme hareketi ile iş yapan makinelerde dönen bileşenler ile oluşturulan bütün kuvvetlerin dengede olması durumu olarak ifade edilebilir. Bu denge halinin bozulmaya uğraması dengesizliğe sebep olur. Dengesizlik, makinelerde oluşan titreşimlere sebep olan mekanik problemlerin en başında gelir. Teorik olarak, mükemmel dengelenmiş bir makinede titreşim oluşması beklenmez. Ancak, çalışma esnasında tüm makineler azda olsa dengesizdirler. Bunun nedenleri olarak, elemanların geometrik olarak simetrik olmaması, elemanlarda kullanılan malzemelerin homojen olmaması, çalışma şartlarında oluşan değişimler ve montaj hatalarından kaynaklanabilir [1, 2, 9, 12, 13, 17]. Dengesizlik kütlelerinin şematik gösterimi Şekil 1’de gösterilmiştir. Denklem (1) ile açısal hız ve Denklem (2) ile dengesizlik kuvveti hesaplanabilir.



Şekil 1. Dengesizlik kütle şematik gösterimi [7, 8].

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60} \quad (1)$$

$$F_{\text{deng}} = m \cdot d \cdot \omega^2 \quad (2)$$

F_{deng} = Dengesizlik kuvveti (N)

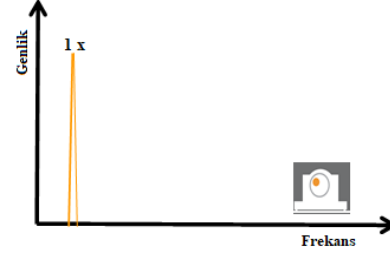
m = Dengesizlik kütlesi (kg)

d = Dengesizlik kütlesi ile dönme eksenini arasındaki uzaklık (m)

ω = Açısal hız (rad/s)

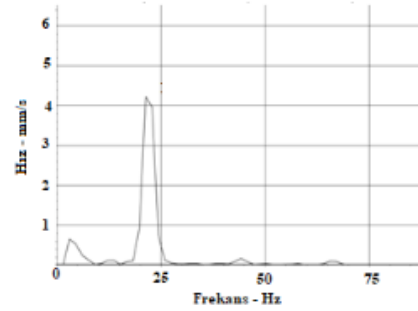
N = Devir sayısı (dev/dak)

Dengesizlik spektrum grafiği mil dönme frekansında (1x) bir tepe oluşturur (Şekil 2).



Şekil 2. Dengesizliğin frekans analizi grafiğinde gösterimi.

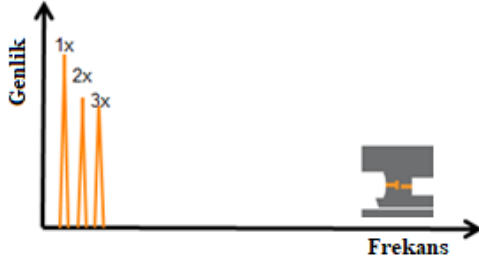
1282 devir/dakika (21,36 Hz) ile çalışmakta olan bir fan motoru üzerinden yapılan titreşim ölçümü sonucu elde edilen değerler incelendiğinde mil dönme frekansının 1. katında tepe oluşması (Şekil 3), dengesizliği göstermektedir.



Şekil 3. Fan motorunda oluşan dengesizliğin frekans analizinde yeri.

2.2. Eksen Kaçıklığı

Bir kaplin bağlantısı aracılığı ile millerin aynı eksende olmaması durumunda eksen kaçıklığı oluşur. Genellikle dönen makinelerin mekanik olarak yanlış hizalanması sonucu oluşmaktadır [1, 6-8, 17]. Eksen kaçıklığı sonucu oluşan titreşimler spektrum grafiğinde (Şekil 4) mil dönme frekansının 1, 2 ve 3. katında görülür.



Şekil 4. Eksen kaçıklığının frekans analizi grafiğindeki yeri.

2.3. Mekanik Gevşeklik

Mekanik gevşeklik, hem dönen hem de dönmeyen makinelerde titreşimlere neden olabilir. Genellikle aşırı yatak boşlukları, gevşek montaj cıvataları, uyumsuz parçalar,

2.4. Rulman Arızaları

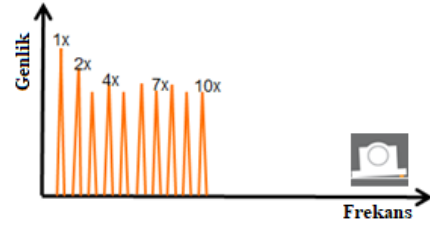
Rulman arızası kaynaklı problemler dönen makine elemanlarındaki arızaların sebep olduğu duruşların ve verimsizliğin temel nedenidir. Yapılan araştırmalar sonucunda; meydana gelen arızaların yaklaşık olarak % 50'lik kısmının rulman kaynaklı problemler sonucu oluştuğu bildirilmiştir [1, 2, 7].

Rulmanlar dönme hareketi ile iş yapan makinelerin yataklanması için kullanılan elemanların başında gelir. Sürekli hareket halinde olmaları ve yüke maruz kalmaları nedeni ile bozulma olasılıkları oldukça yüksektir. Problemsiz çalışmaları, makinenin verimliliği ve çalışma ömrü açısından büyük önem taşımaktadır. Rulmanlar, sürekli hareket halinde olduğu için oluşan sürtünmelerin doğal bir etkisi olarak aşındığında veya üzerinde bir çatlak ya da çizik oluştuğunda çeşitli frekanslarda titreşim üretir. Geometrik yapısına bağlı olarak rulmanın mekanik bileşenleri olan dış bilezik, iç bilezik ve yuvarlanma elemanı (bilya) üzerinde birbirinden bağımsız frekans bileşenleri oluşur. Bu bileşenler sayesinde rulmanda meydana gelen hata ve hatanın gelişimi ile ilgili kritik bilgiler elde edilir. Frekans spektrumu incelendiğinde titreşimin frekansı hatanın türünü ve genliği ise problemin büyüklüğünü gösterir. Arıza frekansları ile motorun devir sayısı arasında doğrusal olarak bir ilişki vardır. Motor devir sayısı değiştiğinde bilya hatalı kısımdan geçiş sıklıkları değişir ve bu nedenle hata frekansları da yer değiştirir [6-8, 23-32].

Rulman arızaları, Şekil 6'da görülen yuvarlanmalı yatak geometrisi ve mil dönme

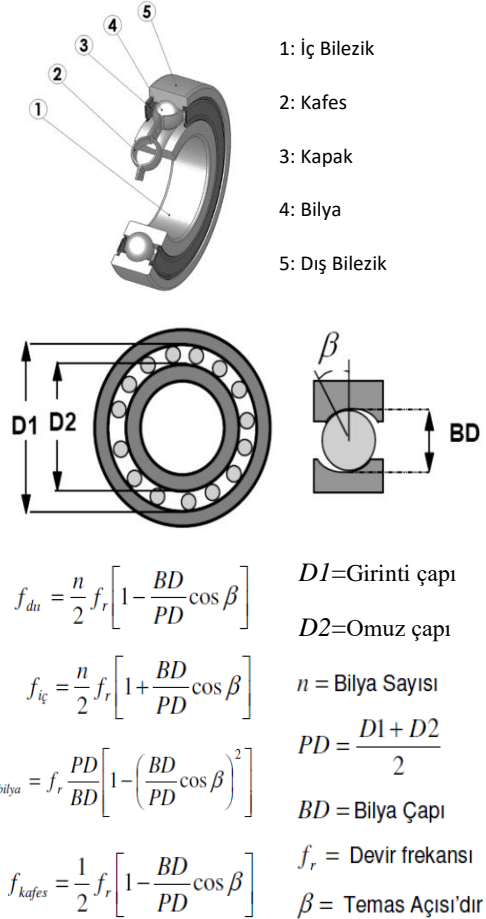
yapıdaki korozyon ve çatlaklardan kaynaklanır [1, 6-8].

Gevşeklik türüne bağlı olarak, titreşimler, makinenin dönüş hızının 10 katına kadar kendisini belli eder. (Şekil 5)



Şekil 5. Mekanik gevşekliğin frekans analizi grafiğindeki yeri.

hızına bağlı olarak formüller ile bulunan arıza frekansları ile belirlenir. Spektrum analizi ile rulman bileşenlerinden hangisinde bir arıza meydana gelmiş ise bu bileşenin arıza frekanslarında, bunun katlarında ve bazı durumlarda dönen mil devir sayısı ile oluşturduğu yan bant frekanslarında problemler görülür [6-8, 12, 17, 23, 29].

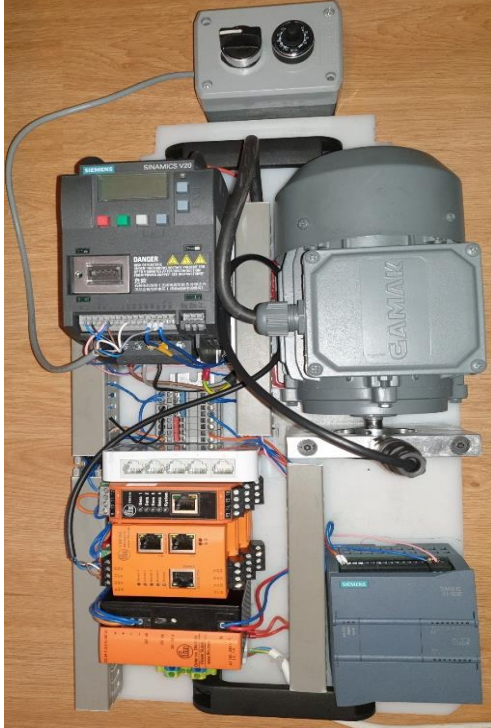


Şekil 6. Yuvarlanmalı yatak geometrisi ve arıza frekanslarının hesaplanması [2, 12, 23, 29].

3. MATERYAL VE METOT

Fan kanatlarında oluşan dengesizliğin titreşim analizi ile belirlenebilmesi amacıyla kullanım yerinde çalışma yapılmış ve fan motorundan ivmeölçer ile veriler alınmıştır.

İç bileziği arızalı olduğu bilinen SKF6205 kodlu rulmanın frekans analizi ile arıza tespitinin yapılabilmesi amacıyla Şekil 7’de görülen deney düzeneği oluşturulmuştur.

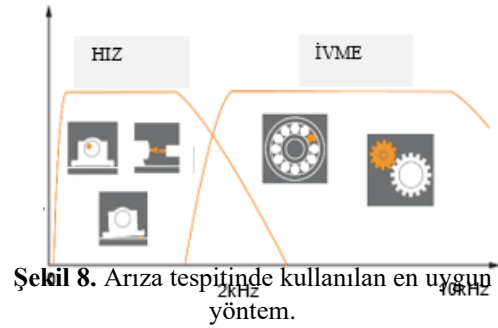


Şekil 7. Deney düzeneği ve şematik gösterimi: (1) Motor; (2) İvmeölçer; (3) Yuvarlanmalı yatak yuvası ve yuvarlanmalı yatak (Rulman); (4) Hız kontrol; (5) Bilgisayar ve titreşim yazılım programı.

Çalışmada rulman yatağına SKF6205 kodlu rulman takılmış, VES004 yazılımı ile ISO 10816’ya göre titreşim ölçümü ve spektrum analizi yapılmıştır. Vibrasyon ölçer, ISO 10816’e göre bir ölçüm yapılmasına izin veren bir mod ile donatılmıştır.

3.1. Titreşim Ölçümünde Hız ve İvme Çalışan mekanik bir sistemde oluşan titreşimleri tespit etmek için kontrol edilecek sistemin dönme frekansına bağlı olarak, hız veya ivme birimleri cinsinden ölçüm kullanılabilir. Arıza tespitinde en uygun yöntem (Hız-İvme) Şekil 8’de gösterilmiştir. Hangisinin en uygun olduğu, arızanın ortaya çıkma sıklığına bağlıdır. Belirli bir problemi tespit etmek için kullanılacak yöntem arızanın hangi frekansta oluştuğuna bağlıdır. Sanayide kullanılan sensörler genellikle hız cinsinden ölçüm yapan ve 10-1000 Hz aralığındaki titreşimlerin Root Mean Square (RMS) ortalamasını alan sensörlerdir.

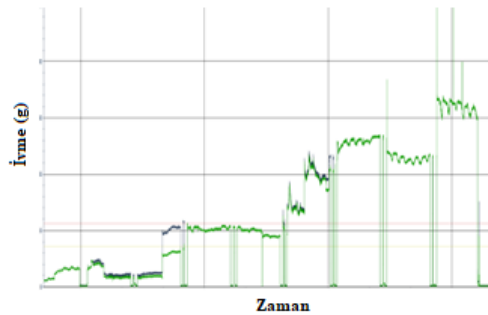
Dengesizlik, eksen kaçıklığı, gevşeklik vb. gibi arızaları tespit etmek için hız birimi cinsinden ölçüm kullanılabilir. İvme ile çok daha yüksek frekanslar izlenebilir. Yatak hasarının başlangıcında meydana gelen küçük şoklar ve darbeler, dişli kutusu arızaları vb. gibi arızaları tespit etmek için ivme ölçümleri kullanmak daha iyi sonuç verir [1, 6-8, 11, 12, 24-29].



Şekil 8. Arıza tespitinde kullanılan en uygun yöntem.

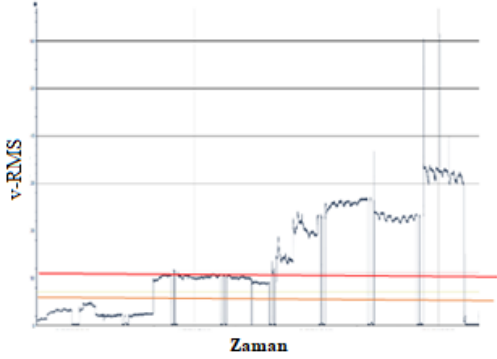
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 9’da görülen 1282 rpm (revolution per minute - devir/dak) hızla çalışan bir boyahane fan motorundan elde edilen ivme değerleri incelendiğinde; yaklaşık 4 aylık bir süreçte ivme değerlerinin değişimi görülmüş ve bu değişime sebep olan etkenin fan kanatlarındaki kirlenmeden dolayı oluşan balans bozukluğu olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 9. Fan motoru titreşim ölçümü.

Şekil 10'da hız cinsinden (v-RMS) titreşimin zamana bağlı değişimi grafik olarak verilmiş ve bu grafik incelendiğinde titreşimin zamana bağlı olarak artış eğiliminde olduğu görülmektedir.



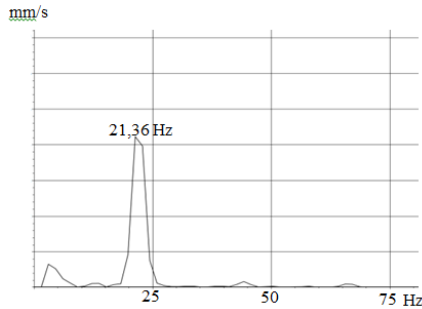
Şekil 10. Hız cinsinden (v-RMS) titreşimin zamana bağlı değişimi.

Şekil 11'de titreşimi ölçen algılayıcıdan verilerin alınması ve analiz sonucu gösterilmiştir. Frekans analizi (FFT) incelendiğinde (Şekil 11-b) titreşime neden olan ana etmenin dengesizlik olduğu görülmektedir. Literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında, dengesizlik probleminin FFT analizi ile belirlenmesine yönelik çalışmaların yapıldığı ve benzer sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir [1, 9, 12, 20, 24-29].

Verilerin alınması



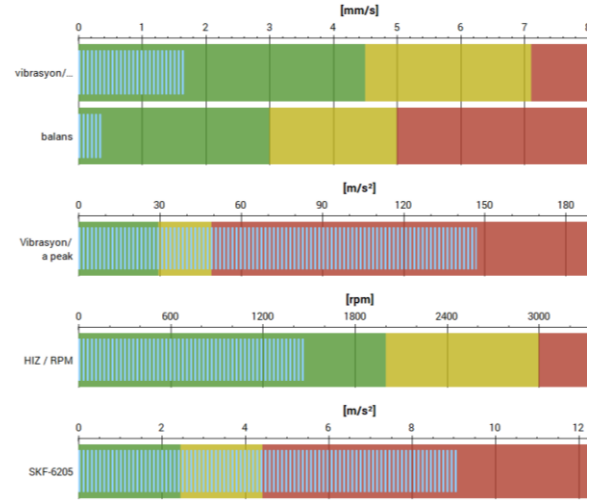
a)



Şekil 11. İvmeölçer ile verilerin alınması ve analiz sonucu; a) Verilerin alınması, b) FFT analiz sonucu.

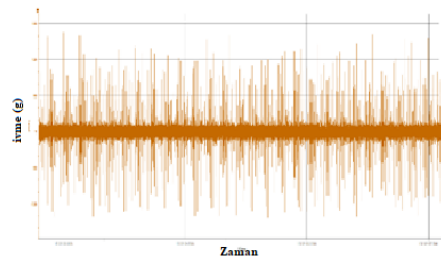
Şekil 11-b titreşimin balans probleminden kaynaklandığını açıkça göstermektedir. Burada 21,36 Hz ile dönen bir fan motoru üzerinden yapılan titreşim ölçümü sonucu mil dönme frekansının 1. katında tepe oluşması dengesizliği göstermektedir.

Titreşim analizinde kullanılan Hız (v-RMS) ve ivme (a-peak) ölçüm birimlerinin farklılığını daha iyi açıklayabilmek için Şekil 6-a'da oluşturulan deney düzeneğinde arızalı bir rulmandan gelen titreşimler incelenmiştir. Bunun için iç bileziği önceden hatalı olan SKF6205 kodlu rulman, rulman yatağına bağlanmış ve Şekil 12'deki ölçüm sonuçları elde edilmiştir.

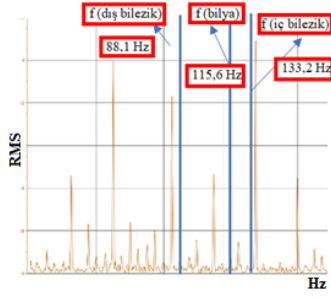


Şekil 12. Hız (v-RMS) ve ivme cinsinden ölçüm sonuçları.

Görüldüğü gibi motor 1476 rpm hız ile dönerken ölçülen titreşim değeri v-RMS cinsinden 1,6 mm/s değerinde ve ISO10816 ya göre arıza limitlerinin altındadır. Buna karşın ivme cinsinden alınan ölçümlerde ise a-peak değeri ve SKF6205 için arıza frekanslarında oluşan titreşim seviyesi belirlenen limitleri aşmış ve kırmızı alarm seviyesindedir. Bu farklılıkların sebeplerini daha iyi anlayabilmek için spektrum analizi yapılmış, Şekil 13 ve Şekil 14'de görülen grafikler elde edilmiştir.



Şekil 13. İvmeölçer ile zamana bağlı titreşim değerleri.



Şekil 14. SKF6205 için hesaplanmış arıza frekanslarındaki problemlerin analizi.

Şekil 14’te 1476 devirle dönmekte olan SKF6205 kodlu rulman için hesaplanmış arıza frekanslarında oluşan hataların büyüklükleri görülmektedir. Rulman geometrisine (Şekil 6) bağlı arıza frekansları hesabına göre SKF6205 kodlu rulman için hesaplanan frekanslar dış bilezik, bilya ve iç bilezik için sırası ile 88,1 Hz, 115,6 Hz ve 133,2 Hz’dir.

Şekil 14’te yaklaşık 134,8 Hz de bir problem görülmüş olup problemin rulman iç bileziğinden kaynaklandığı saptanmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, bir rulmanda oluşan arızanın titreşime etkisinin belirlenebilmesi amacıyla çalışma yapılmıştır. Çalışmada SKF6205 kodlu rulman kullanılmış ve iç bileziğinde oluşturulan hasarın frekans analizi yöntemi ile tespit edilebileceği görülmüştür. Gerçek bir çalışma ortamında ise fan motorundan alınan titreşim ölçüm sonuçları ile fan kanatlarında kirlenme etkisi ile meydana gelen dengesizliğin titreşime olan etkisi gözlemlenmiştir. Titreşim analizi ile izleme yapmanın ekipman sağlığı için olumlu sonuçlar verdiği saptanmıştır. Ayrıca, titreşim ölçümü için kullanılacak yöntem ve ölçüm birimlerinin titreşim analizindeki önemi gözlemlenmiştir. Yuvarlanmalı yatak arıza analizi uygulamasında hız cinsinden v-RMS alınan ölçümde vibrasyonun ISO10816’ya göre belirlenmiş sınırlar içerisinde olduğu halde ivme cinsinden ölçümlerde ise problemin açıkça fark edildiği görülmüştür.

Sonuç olarak, dönen makinelerde titreşim analizinin rulman arızasının belirlenmesinde ve titreşime sebep olan etmenlerin tespit edilmesinde etkin olarak kullanılacağı görülmüştür. Sonuçlar, titreşim analizi ile yataktaki arıza tespitinin başarılı bir şekilde yapılabileceğini ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu bilimsel çalışmaya destekleri için IFM Elektronik firmasına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Alçelik, N., Kam, M., “Dönen makinelerde aksel kaçıklık ve dengesizliğin titreşim analizi”. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 100. Yıl Özel, Sayfa 256-269, 2020.
2. Kam, M., “Kriyojenik işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi”, Doktora Tezi, [Experimental analysis of cryogenic treated shafts dynamic behaviors] [Thesis in Turkish], Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce, 2016.
3. Kam, M., Saruhan, H., İpekçi, A., “FDM yöntemi ile üretilen kovan yatakların titreşimi sönümlenme kabiliyetlerinin deneysel analizi”, Politeknik Dergisi, Cilt 25, Sayı 1, Sayfa 137-143, 2021.
4. Kam, M., Saruhan, H., İpekçi, A., “Experimental investigation of vibration damping capabilities of 3D printed metal/polymer composite sleeve bearings”. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 08927057221094984, 2022.
5. Belek, T., “Endüstriyel tesislerin bakımında modern yaklaşım: dinamik erken uyarıcı bakım yöntemleri”, Mühendis ve Makina, Cilt 29, Sayfa 29-36, 1988.
6. Orhan, S.. “Rulmanlarla yataklanmış dinamik sistemlerin titreşim analiziyle kestirimci bakımı”, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim Dalı, Kırıkkale, 2002.
7. Orhan, S., “Dönen makinelerde oluşan arızalar ve titreşim ilişkisi”. Teknoloji, Cilt 6, Sayı 3-4, Sayfa 41-48, 2003.
8. Orhan, S., Arslan, H., Aktürk, N., “Titreşim analiziyle rulman arızalarının belirlenmesi”. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 18, Sayı 2, Sayfa 39-48, 2003.
9. Uysal, V., Morgül, Ö., “Dönen makinelerdeki dengesizlik (balanssızlık) arızasının titreşim analizi ve faz açısı yardımıyla teşhisi”. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 19, Sayı 3, Sayfa 245-256, 2015.
10. Kam, M., Saruhan, H., “Kriyojenik işlem uygulanmış millerin yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda deneysel titreşim analizi”, Politeknik Dergisi, Cilt 22, Sayı 1, Sayfa 129-134, 2019.

11. Saruhan H., Kam M., “Experimental spectral analysis of split sleeve bearing clearance effect on a rotating shaft system”. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, Cilt 13, Sayı 4, Sayfa 1-8, 2016.
12. Karahan, F., “Titreşim analizi ile makinalarda arıza teşhisi”, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Manisa, 2005.
13. Açık, S., “Sürekli form baskı makinasının titreşim sinyali yardımıyla kestirimci bakımının yapılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, Ankara, 2008.
14. Gözüoğlu, S. G., Doğan, Z.. “Durum izleme ve istatistiksel süreç kontrolü kullanarak şebeke kalkışlı daimi mıknatıslı senkron motorda rulman arızası tespiti”. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, Cilt 7, Sayı 2, Sayfa 781-794, 2020.
15. Jagtap, H. P., Bewoor, A. K., Kumar, R., “Failure analysis of induced draft fan used in a thermal power plant using coordinated condition monitoring approach: A case study”. *Engineering Failure Analysis*, Vol. 111, 104442, 2020.
16. Taleb, M., & Chaib, R., “Vibration analysis of rotating machines for an optimal preventive maintenance. *Mining Science*”, Vol. 23, Pages 191-202, 2016.
17. Uysal, V., “Enerji santrallerinde titreşim analizi ile kestirimci bakım”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2019.
18. Mcfadden, P. D., Smith, J. D., “Model for the vibration produced by a single point defect in a rolling element bearing”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 96, Issue 1a, Pages 69-82, 1984.
19. Mcfadden, P. D., Smith, J. D., “The vibration produced by a multiple point defect in a rolling element bearing”, *Journal of Sound and Vibration*, 98(2), 263-273, 1985.
20. Kumar, K. B., Diwakar, G., Satynaryana, M. R. S., “Determination of unbalance in rotating machine using vibration signature analysis”, *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* Vol.2, Issue.5, pp-3415-3421, Sep-Oct. 2012.
21. Prasad, P. V. V., & Kumar, V. R., Detection of bearing fault using vibration analysis and controlling the vibrations. *International Journal of Engineering Sciences & Research*, Vol. 4, Issue 10, Pages 539-550, 2015.
22. Milind N., “Bearing fault analysis using frequency analysis and wavelet analysis”, *International Journal of Innovation, Management and Technology*, Vol. 4, No. 1, February 2013.
23. Saruhan, H., Saridemir, S., Çicek, A., Uygur, I., “Vibration analysis of rolling element bearings defects”. *Journal of applied research and technology*, Vol. 12, Issue 3, Pages 384-395, 2014.
24. Yiğit, A., “Rulmanlı yatak arızalarının titreşim analizi ile belirlenmesi”. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmir, 2008.
25. Geramitchioski, T., Trajcevski, I., “Case study: vibration analysis of a vertical pump of cooling system in fero-nickel industry”. In 8th International Symposium, Pages 1-6, June 2014.
26. Kumar, A., Kumar, R., “Role of signal processing, modeling and decision making in the diagnosis of rolling element bearing defect: a review”. *Journal of Nondestructive Evaluation*, Vol 38, Issue 1, Pages 1-29, 2019.
27. Ayan, Ö. A., “Döner makine elemanların titreşim analizi ile kestirimci bakımı”. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2019.
28. AlShorman, O., Irfan, M., Saad, N., Zhen, D., Haider, N., Glowacz, A., & AlShorman, A., “A review of artificial intelligence methods for condition monitoring and fault diagnosis of rolling element bearings for induction motor”. *Shock and vibration*, 2020.
29. Yıldırım, E., Karahan, M. F., “Titreşim analizi ile rulmanlarda kestirimci bakım”. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt, 11, Sayı 1, Sayfa 17-23, 2015.
30. Girit, O., Atakok, G., Ersoy, S., “Data analysis for predictive maintenance of Servo Motors”. *Shock and Vibration*, 2020.
31. Adin, H., Adin, M. Ş., Akgül, S. “Araçlarda kullanılan fren diskinin sonlu elemanlar yöntemiyle hasar analizi”. *International Symposium on Engineering, Natural and Social Sciences (ISENS-21)*, Sayfa 25-28 November 2021, Batman, Türkiye, 2021.
32. Adin, H., Adin, M. Ş., “Numerical Analysis of Damaged Helical Gear Wheel”. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, Vol. 11, Issue 1, Pages 43-56, 2021.