

Titreşim Bölgesi Analizi ile Bir Dişli Kutusunda Yüzeysel Oyukçuk Hata Seviyelerinin Tespiti*

Berkan Hızarcı*¹

Rafet Can Ümütlü²

Zeki Kırıl³

Hasan Öztürk⁴

ÖZ

Dişli kutularının durum izlemesi, maliyet ve duruş sürelerinin azaltılması açısından endüstride önem verilen bir konudur. Bu çalışma, bir helisel dişli kutusunun durum izlemesi ve diş yüzeyinde oluşturulmuş oyukçuk hatalarının dişli kutusunun titreşimine etkisinin tespiti üzerine odaklanmaktadır. Literatürde dişli kutularında arıza tespitiyle ilgili bulunan çalışmalara ek olarak, helisel dişli kutusundan iki yönde aynı anda alınan anlık ivme değerleri kullanılarak dişli kutusunun çalışma anındaki titreşim bölgesi çıkarılır. Bu titreşim bölgesi ikilik sistemde görüntü olarak kaydedilir ve görüntü işleme algoritmaları kullanılarak titreşim bölgesinin alanı hesaplanır. Titreşim bölgesinin alanı, dişli kutusunun durumu hakkında bilgi verir. Yapılan deneyler sonucunda, titreşim bölgesi analizinin dişli kutularının durum izlemesi için başarılı bir yöntem olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Helis dişli, oyukçuk hatası, kestirimci bakım, titreşim bölgesi analizi

Detection of Surface Pitting Fault Levels in a Gearbox by Vibration Region Analysis

ABSTRACT

The monitoring of gearbox is a matter of concern to the industry in terms of cost and downtime reduction. This work focuses on the condition monitoring of a helical gearbox and the determination of the effect of pitting faults formed on tooth surface on vibration of helical gearbox. In addition to studies related to determination of faults in gearboxes in the literature, the vibration zone of the gearbox is extracted by using instantaneous acceleration values taken from the helical gearbox on the two directions. This vibration zone is recorded as an image in a binary system and the area of the vibration zone is calculated by using image processing algorithms. The area of the vibration zone gives information about the condition of the gearbox. As a result of the experiments carried out, it has been seen that the vibration zone analysis is a successful method for condition monitoring of a gearbox.

Keywords: Helical gear, pitting fault, predictive maintenance, vibration zone analysis

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 19.10.2017

Kabul/Accepted : 17.04.2018

* 28-30 Eylül 2017 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Denizli'de düzenlenen 8. Bakım Teknolojileri Kongresi'nde sunulan bu bildiri, dergimiz için yazarlarınca makale olarak yeniden düzenlenmiştir.

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği - berkan.hizarci@deu.edu.tr

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği - rafet.umutlu@deu.edu.tr

³ Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir - zeki.kiral@deu.edu.tr

⁴ Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir - hasan.ozturk@deu.edu.tr

1. GİRİŞ

Mekanik güç iletim sistemleri içinde dişli kutuları, endüstriyel uygulamalarda makina ve sistemlerin önemli bir parçasıdır. Dişli kutuları, bir milden diğerine güç aktarımı sırasında moment ve dönüş hızının istenilen oranda artırılması veya azaltılmasında ve dönüş yönünün değiştirilmesinde kullanılırlar. Dişli kutularında bir arıza yok ise bu özellikler yüksek bir verimlilikle yerine getirilir. Dişli kutularında arıza meydana geldiğinde ise, güç iletim sistemlerinin önemli parçalarından biri olduğundan bağlı olduğu tüm endüstriyel sistemin çalışmasının durması ve daha büyük arızaların oluşması kaçınılmaz olur. Üretim esnasında oluşan bu beklenmedik arızalar üretim kayıplarına ve üretim planlarının uygulanmasının aksamasına neden olur. Günümüzde üretimin kesintiye uğraması, bir dakika olsa bile çok büyük maliyetlere sebep olmaktadır [1]. Dişli kutusu arızalarında, özellikle yüksek torkun gerekli olduğu endüstriyel uygulamalarda sıklıkla yüzey oyukçuk arızalarının oluştuğu gözlemlenmiştir [2]. Dişli kutusundaki her dişin yüzeyine düşen gerilme, şok veya çevrimsel yük değişimi, aşırı yükleme, dişli eksen kaçıklığı gibi sebepler nedeniyle artabilir ve sonuç olarak dişli çark üzerindeki bazı dişler, dişli kutusu kapasitesinden daha yüksek ve değişken bir yüke maruz kalabilir. Belirli sayıda çalışma döngüsünden sonra, dişli çark yüzey temas gerilimi dişli malzemesinin yorulma limitini aşarsa bir yüzey hatası oluşur. Bu gibi dayanıklılık seviyesinden daha yüksek veya değişken bir yükün, diş yüzeyi üzerine geldiği durumlarda, yüzeyde zamanla bir çukur oluşma hatasının ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu oyukçuk hataları endüstride kullanılan dişli kutularında sıklıkla görülmektedir. Şekil 1(a)'da örnek olarak eksen kaçıklığı nedeniyle diş yüzeyine gelen kuvvet değişimi, Şekil 1(b)'de ise eksen kaçıklığı nedeniyle oyukçuk hatalarına örnek verilmiştir.

Endüstride kullanılan makina parçalarının arızalanması, plansız durma, enerji kaybı, üretim kaybı, kalite düşmesi, makina elemanlarının zarar görmesi, maliyetlerin artması, duruş sürelerinin artması ve en önemlisi insan hayatının zarar görmesi gibi



Şekil 1. a) Eksen Kaçıklığı Nedeniyle Diş Yüzeyine Gelen Kuvvet Değişimi, b) Örnek Oyukçuk Hataları [2]



birçok soruna yol açmaktadır. Bu nedenle, makina bakımı sanayide büyük önem arz etmektedir. Geçmişten günümüze, sanayi işletmeleri kurulu düzenin çalışmasını aralıksız olarak sürdürmek ve masrafları en aza indirmek amacıyla çeşitli bakım yöntemleri geliştirmişlerdir. Bu geliştirilen bakım stratejileri plansız bakım ve planlı bakım olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Plansız bakım, diğer adıyla düzeltici bakım, en eski bakım yöntemi olup bozuldukça tamir et prensibini benimsemiştir. Bu bakım yöntemi, bakım maliyetlerini düşürmesine rağmen, onarım için makina parçalarının bozulmasını beklediğinden üretim kaybına sebep olmaktadır. Bu nedenle, günümüzde plansız bakım yerini planlı bakıma bırakmıştır. Planlı bakım ise, periyodik bakım ve kestirimci bakım olarak iki alt gruba ayrılır. Periyodik bakım yönteminde makina parçalarının bakımı ve onarımı belirli zaman aralıklarında ve makinanın duruş anlarında yapılır. Bu bakım yönteminde ise uzun donanım ömrü, güvenli çalışma, artan işletme verimi ve ürün kalitesi sağlarken, arızasız parça değişimi nedeniyle bakım masrafları yüksektir [3]. Gelişen sensör ve mikroişlemci teknolojisi ile makinaların çalışma durumlarının anlık takip edilebilmesi ve makina durumunun yorumlanması mümkün olduğundan periyodik bakım yerini kestirimci bakım yöntemine bırakmıştır. Bu bakım yöntemi, oluşabilecek arızaların erken teşhisini amaçlar ve bakımdan kaynaklanan üretim kayıplarını en aza indirerek işletmeden en yüksek verimi almak için kullanılır. Bu yöntem, ölçüm cihazları kullanılarak çalışan makina elemanlarından veri al, bu verileri anlık takip et, değerleri analiz et, makina elemanlarının durumunu belirle ve olası arızaları tespit et prensibini benimsemiştir. Etkili bir kestirimci bakımın maliyeti, üretimin durmasına sebep olan büyük arızaların maliyetinden daha küçüktür. Daha az bakım süresi, daha az enerji ve zaman harcama, sadece gerekli anlarda müdahale imkânı, daha uzun donanım ömrü, daha düşük bakım maliyeti, daha yüksek ürün kalitesi gibi diğer bakım yöntemlerine göre çok avantajlıdır. Kestirimci bakımın benimsendiği uygulamalarda ortalama arıza bakım ve yedek parça maliyetlerinde %27, periyodik bakım maliyetlerinde %74, toplam duruş sürelerinde %40

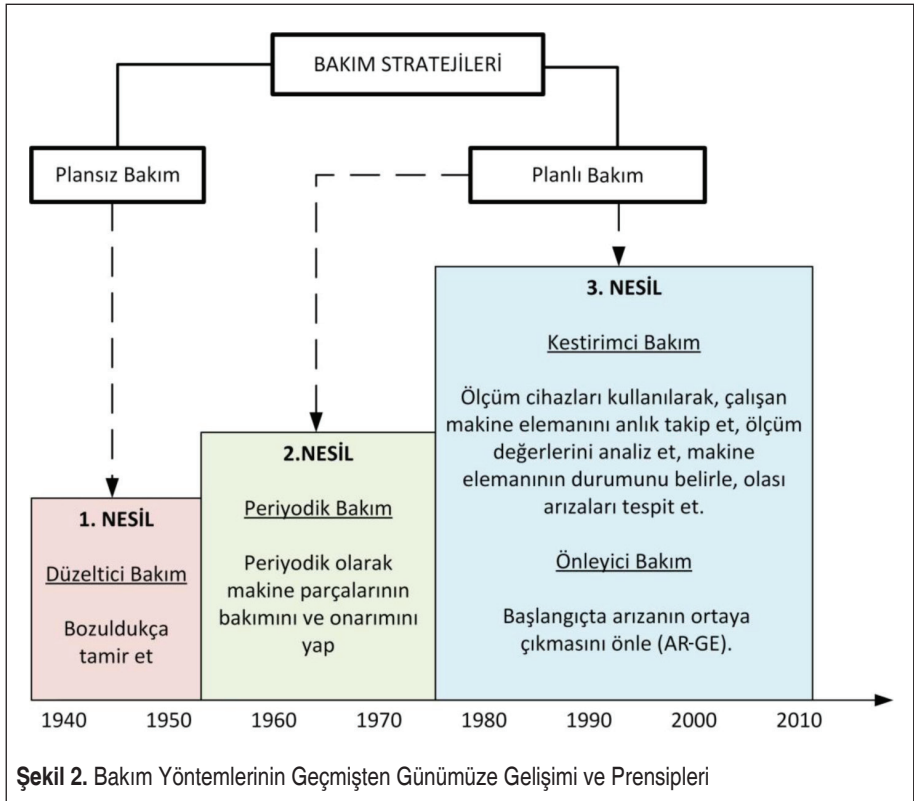
Tablo 1. Bakım Yöntemlerinin Avantajları (✓) ve Dezavantajları (➤)

Bakım Yöntemleri		
Düzeltilici Bakım	Periyodik Bakım	Kestirimci Bakım
✓ Bakım-onarım maliyeti	✓ Uzun donanım ömrü	✓ Daha uzun donanım ömrü
✓ Bakım personeli sayısı	✓ Düşük üretim maliyeti	✓ Daha düşük üretim maliyeti
➤ Onarım esnasında üretim kaybı	✓ İşletme verimi ve kalitesi	✓ Daha yüksek ürün kalitesi
➤ Güvenlik riski	✓ Enerji giderleri	✓ Daha yüksek güvenlik
	✓ Güvenli çalışma	✓ Daha az bakım süresi
	➤ Arızasız parça değişimi	✓ Gerekli anlarda müdahale
	➤ Bakım personeli sayısı	✓ Az enerji ve zaman harcama



azalma görülmüştür [4]. Bakım yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları Tablo 1’de verilmiştir. Bunun yanında, bakım yöntemlerinin geçmişten günümüze gelişimi ve prensipleri Şekil 2’de verilmiştir [5].

Literatürde, farklı diş arızalarının teşhisi ve arıza seviye tespiti üzerine çok fazla çalışma yapılmış olup çok çeşitli teknikler kullanılmıştır. Bu tekniklerden en kolay uygulananı ve yorumlanması basit olanı zaman bölgesi analizidir [6]. Burada zaman uzayındaki titreşim verisinin istatistiksel özellikleri dışı arızalarının tespitinde kullanılır. Kullanılan belli başlı istatistiksel parametreler; ortalama, RMS (etkin değer), peak-to-peak (tepeden-tepeye değer) ve kurtosisdir [7]. Bu istatistiksel parametreler arasından, arıza tespitinde en çok bilinen ve kullanılan RMS parametresidir. Araştırmacılar, makina arızaların şiddeti arttıkça RMS değerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Titreşim hızının RMS büyüklüğü, Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO) tarafından makina türüne göre standartlaştırılmıştır. DIN ISO 10816, endüstriyel makinaların dönmeyen parçalarından alınan mekanik titreşimin değerlendirilmesini özetleyen bir prosedür ve genel kılavuzdur [8]. Bu standart, oluşturulmuş tablo yardımıyla belirli hız RMS



Şekil 2. Bakım Yöntemlerinin Geçmişten Günümüze Gelişimi ve Prensipleri

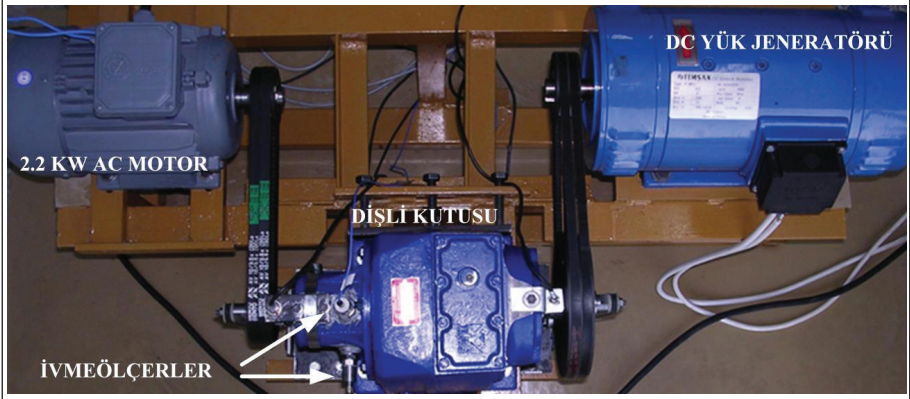


değerleriyle karşılaştırılarak makinanın genel durumu hakkında bilgi verir. Spektral analiz, makinadan alınan zamansal titreşim verisinin frekans uzayındaki değişimini inceleyen ve dişli kutularının arıza tespitinde sıklıkla kullanılan bir analiz yöntemidir. Bu teknikte, zaman alanındaki titreşim sinyali ayrık Fourier dönüşümü (AFD) algoritması kullanılarak frekans alanına dönüştürülür. Frekans spektrumu kullanılarak yapılan arıza tespitinin esası, o makinadan değişik zamanlarda alınan spektrumların, sistemin ilk işletmeye alınması sırasında referans olarak elde edilen spektrum ile karşılaştırılması ve varsa makina ile ilgili belirli frekansların genliklerindeki değişimlerin tespit edilmesi esasına dayanmaktadır [3]. Son zamanlarda, makina elemanlarında meydana gelen arızanın erken teşhisi için kepsrum analizi [9], zarf analizi [10], kısa zamanlı Fourier dönüşümü [11], Wavelet dönüşümü [12], Wigner-Ville dönüşümü [13], yapay sinir ağları ve destek vektör makinaları [14] ve matematiksel model ile analiz [15] gibi çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

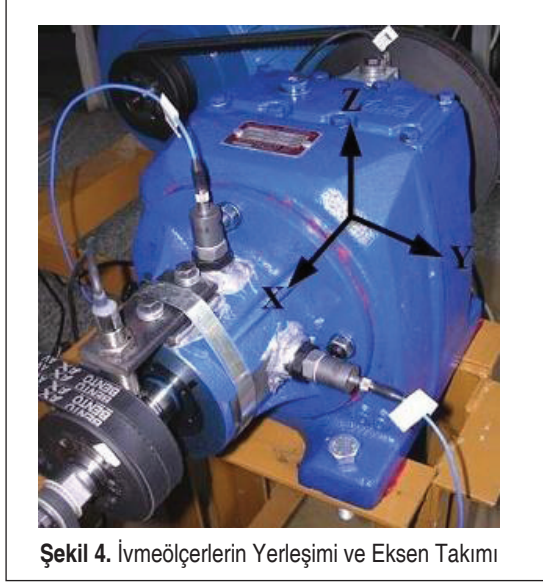
Bu çalışmada, literatürde yapılan çalışmalara ek olarak makina elemanlarının durumunun gözlemlenmesi ve arıza tespiti amacıyla yeni bir yöntem olan titreşim bölgesi analizi önerilmiştir. Bunun için, iki kademeli helis dişli kutusunda yapay yerel oyukçuk arızaları kademeli olarak oluşturulmuştur. İvmeölçerler yardımıyla iki yönde titreşim verisi alınmıştır. Bu iki yönlü anlık titreşim verileri kullanılarak, dişli kutusunun titreşim bölgesi çıkarılır. Bu titreşim bölgesi, bir anlamda dişli kutusunun ivmelenme değerleriyle oluşturulmuş zamandan bağımsız haritasıdır. Bu titreşim bölgesi ikilik sistemde görüntü olarak kaydedilir ve görüntü işleme algoritmaları kullanılarak titreşim bölgesinin alanı ve en uzak ivmelenme merkezi hesaplanır. Bu öznelik değerleri, daha önce değişik zamanlarda alınanlar ile karşılaştırılarak dişli kutusunun sağlığı hakkında bilgi verir.

2. DENEY DÜZENEGİ

Bölgesel oyukçuk hatalarının izlenmesi ve hataların tespiti için kurulan deney düzeneği Şekil 3'te gösterilmiştir. Yapılan testlerde iki kademeli endüstriyel helis dişli kutusu kullanılmıştır. İlk kademedeki tahrik pinyon dişlisi 29 diş ve karşı dişlisi ise 40 dişten oluşmaktadır. İkinci kademedeki 13 dişli çark, direkt olarak 40 dişliden tahrik edilmekte ve 33 dişli karşı dişlisini tahrik etmektedir. Sistemde güç olarak 2,2 kW gücünde AC akımla çalışan bir motor ve 2,2 kW gücünde DC akımla çalışan bir yük jeneratörü mevcuttur. Bu motor ve jeneratör, Şekil 3'te görüldüğü gibi, yanlış hizalanmaların istenmeyen etkilerinden kurtulmak için kayış kasnak mekanizmalarıyla bağlanmıştır ve motorlar ve dişli kutusu dengelenmiş bir şasi üzerine monte edilmiştir. Şekil 4'te, dişli kutusu üzerinde ivmeölçerlerin yerleşimi ve eksen takımı görülmektedir. İki adet ivmeölçer dişli kutusunun Y ve Z eksenindeki titreşim verisini ölçecek şekilde yerleştirilmiştir.

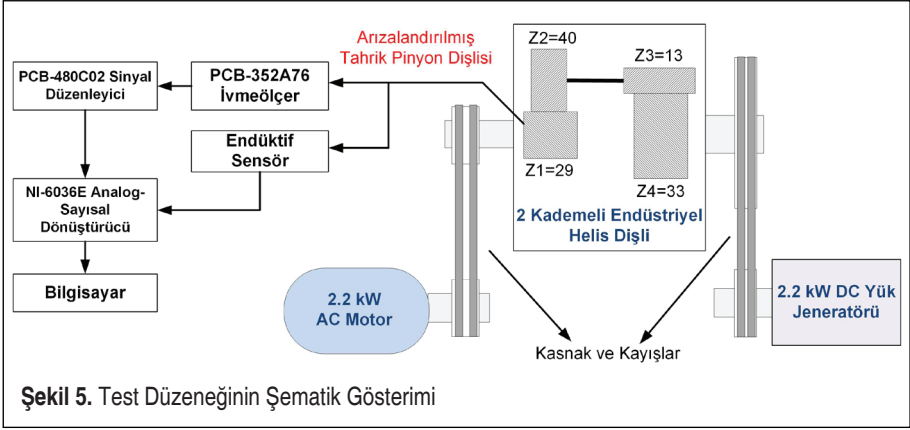


Şekil 3. Oyukçuk Hatalarının Tespiti için Kullanılan Dişli Test Düzenegi

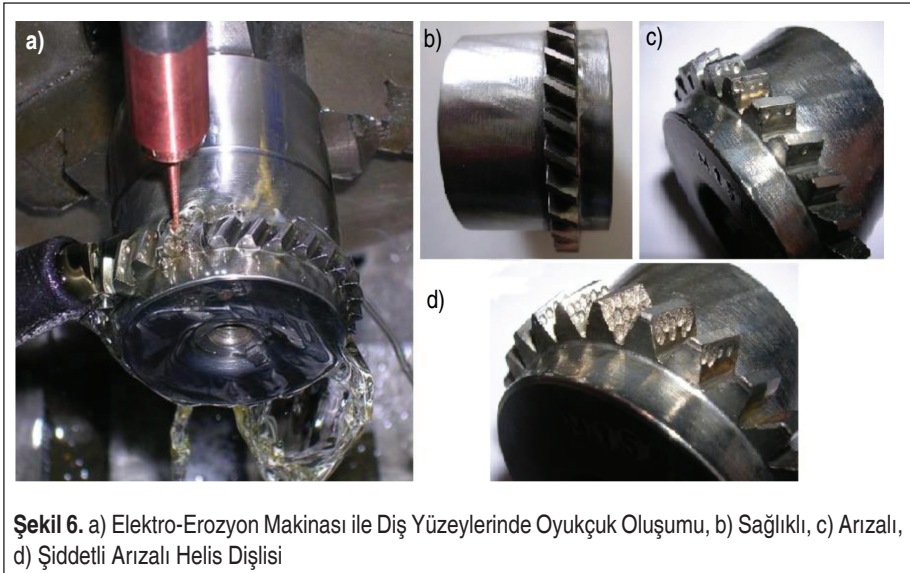


Şekil 4. İvmeölçerlerin Yerleşimi ve Eksen Takımı

Şekil 5'ten görülebileceği gibi, dişli kutusundaki titreşim verisinin ölçülmesi amacıyla, 2 adet PCB marka 352A76 serisi ivmeölçer kullanılmıştır. Bu ivmeölçer, 5-16000 Hz'lik bir bant genişliğine, $9.77 \text{ mV}/(\text{m/s}^2)$ hassasiyete sahiptir. İvmeölçerden alınan titreşim sinyallerinin AC-DC kuplajı için PCB marka 480C02 serisi sinyal düzenleyici kullanılmıştır. İvmeölçer sistemden gelen analog titreşim sinyalleri NI marka 6036E serisi analog sayısal dönüştürücü aracılığıyla dijital olarak bilgisayara aktarılmış ve saklanmıştır. Ayrıca, pinyon dişlisinin şaftının her dönüşü için bir kare sinyal üreten endüktif sensör yardımıyla, pinyon dişlisinin her tur periyodu ve böylelikle açısal hızı ölçülmüştür.



Yapay olarak oluşturulmuş tüm yüzeY oyukçukları, Şekil 6.a'da gösterildiği gibi bir elektro-erozyon makinası kullanılarak ilk kademedeki 29 dişli tahrik pinyon dişlisinin dişlerinin bir kısmına yapılmıştır ve bu yüzeY oyukçukları ilk aşamada arıza başlangıcı şeklinde oluşturulmuş, sonradan arıza şiddeti artacak şekilde dişliler üzerinde çoğaltılmıştır. Şekil 6.b'de sağlam dişli görülmektedir. İlk olarak, çapı ve derinliği sırasıyla yaklaşık 0,7 mm ve 0,1 mm olan oyukçuklar belirlenen dişli yüzeYlerinde oluşturulmuştur. Şekil 6.c'de gösterildiği gibi, arızalı diş sayısı beş olarak belirlenmiş ve komşu dişlerde de ilave oyukçuklar oluşturulmuştur (yani, merkez dişte beş oyukçuk, bitişikteki iki dişlide üç oyukçuk ve diğer iki dişte birer oyukçuk). Arızanın



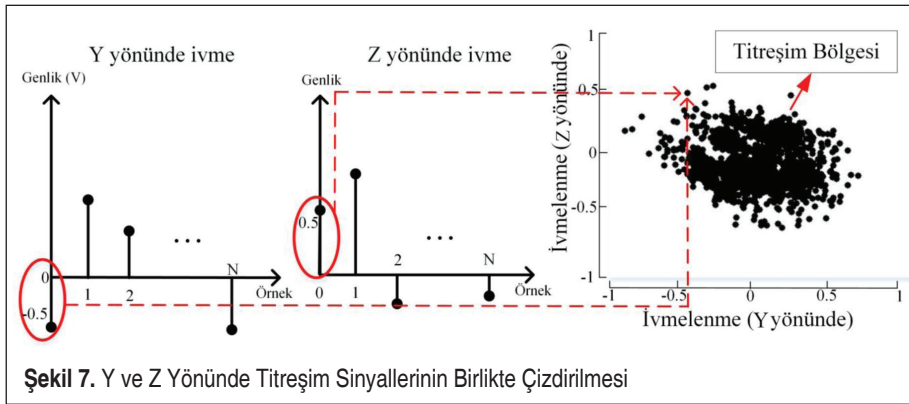


gelişmesinin son aşamasında, Şekil 6.d’de gösterildiği gibi aynı dişler üzerinde oyukçuk sayısı ikiye katlanmıştır. Diş yüzeylerinin çok sayıda oyukçuklarla kaplı olduğu görülebilir [2, 16].

3.TİTREŞİM BÖLGESİ ANALİZİ

Bu bölümde, makina elemanlarında arıza tespiti konusunda literatürde çokça yöntemlerden farklı olarak görüntü işleme temelli yeni bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntem, dişli kutusunun çalışma esnasında zaman uzayındaki ivme verilerini kullanarak titreşim bölgesini çıkarmayı amaçlar. Titreşim bölgesi, dişli kutusunun y ve z yönünde olmak üzere iki yönlü ivmelenme değerleri kullanılarak oluşturulmuş bir ivmelenme haritasıdır. Dişli kutusundan anlık ölçülen Y ve Z yönündeki ivme değerleri birbirlerine karşılık çizdirilirse, koordinat sisteminde bir noktayı işaret eder ve bu nokta dişli kutusunun anlık ivmelenme merkezidir. Dişli kutusunun belirli bir süre çalışmasıyla alınan iki yönlü ivmelenme verileri yardımıyla koordinat sistemine konulan noktalar bir bölge oluşturur ve bu bölge dişli kutusunun çalışırken oluşturduğu titreşim bölgesidir. Dişli kutularında bir hata meydana geldiğinde, ivmelenme değerleri artar ve normal çalışma durumunun dışına çıkarlar. Böyle bir durumda, dişli kutusu ivmelenmeleri referans titreşim bölgesinin dışına çıkacak ve böylece bölge değişecektir. Bu nedenle, oluşan titreşim bölgesinin incelenmesi dişli kutusunun durumu hakkında bilgi verecektir. Y ve Z yönündeki zaman uzayındaki titreşim sinyallerinin, birbirlerine karşılıklı gelen yerlerine nokta konularak titreşim bölgesine dönüştürülmesi Şekil 7’de gösterilmiştir. Ölçülen tüm titreşim verileri çizdirildiğinde dişli kutusunun çalışırken oluşturduğu titreşim bölgesi görülmektedir.

Titreşim bölgesinden öznitelik çıkarmak amacıyla, titreşim sinyalleri siyah-beyaz (ikili) resme dönüştürülmüştür. Bunun için kullanılan ikili görüntünün $N_1 \times N_2$ boyut-

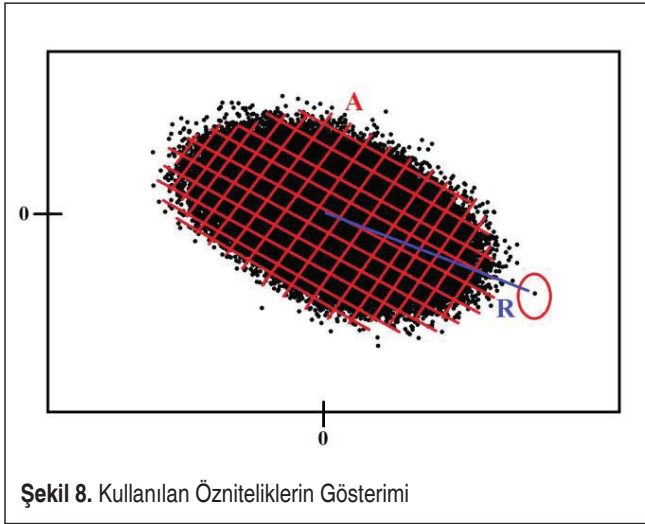




larında olduğunu varsayalım. Burada, dişli kutusunun çalışma sırasında ivmeölçerden okunan maksimum gerilim değeri ± 1 V olarak seçilmiştir. Y ve Z yönünde ivme değerlerine karşılık gelen resimdeki pikseli Formül 1 sayesinde bulunur.

$$\text{Piksel} = (\text{İvmelenme Değeri})_Y \times \frac{N_1}{2} + \frac{N_1}{2} + (\text{İvlenme Değeri})_Z \times \frac{N_2}{2} + \frac{N_2}{2} \quad (1)$$

Her ivme noktasına karşılık gelen pikselin değeri 0 (siyah) yapılmaktadır. Böylelikle, beyaz olan arkaplan üzerinde siyah bir nokta oluşturulur. Bu sayede, ivme sinyalleri resme dönüştürülmüş olur. Arkaplanı beyaz olan resimdeki bir siyah nokta, ilgili zamandaki Y ve Z yönündeki dişli kutusunun ivmelenme merkezini gösterir. Tüm ivmelenme değerleri işlendikten sonra, tüm siyah pikseller Şekil 7’de gösterildiği gibi beyaz arkaplana sahip resim üzerinde siyah bir alan oluşturur. Titreşim bölgesinin alanı (A) ve en uzak titreşim noktasının orjinden (0,0) uzaklığı (B) bu yöntemde öz-nitelikler olarak kullanılır ve bunlar Şekil 8’de gösterilmiştir. Birinci öz-nitelik olan kaplanan alan boyutu, ikili görüntü üzerindeki toplam siyah piksel sayısını sayarak hesaplanır. Üst üste gelen siyah pikseller ise sadece bir kere sayılır. İkinci öz-nitelikte ise, her ivme noktasının orjine (0,0) olan uzaklığı ölçülmüştür. Bu değerler ivmelenme noktalarının, dişli kutusunun ivmelenme durumundan ne kadar uzaklaştığının ölçüsüdür. Bu iki özellik referans dişli kutusunun değeriyle karşılaştırılır ve çalışma süresince belirli aralıklarla izlenir. Önerilen arıza tespit yönteminin işlem adımları Şekil 9’da gösterilmektedir.





4. DENEYSEL SONUÇLAR

Deney, dişli kutusunun sağlıklı, arızalı ve şiddetli arızalı durumlarını incelemek ve arıza tespitini gerçekleştirmek amacıyla Tablo 2’de verilen çalışma koşullarında yapılmıştır. Titreşim sinyalleri dişli kutusunun arızalı pinyon dişlisinin olduğu yerdeki rulman üzerinden Y ve Z yönünde alınmıştır. Sağlam, arıza 1 ve arıza 2 durumu için Y ve Z yöndeki titreşim verileri Şekil 10’da gösterilmiştir.

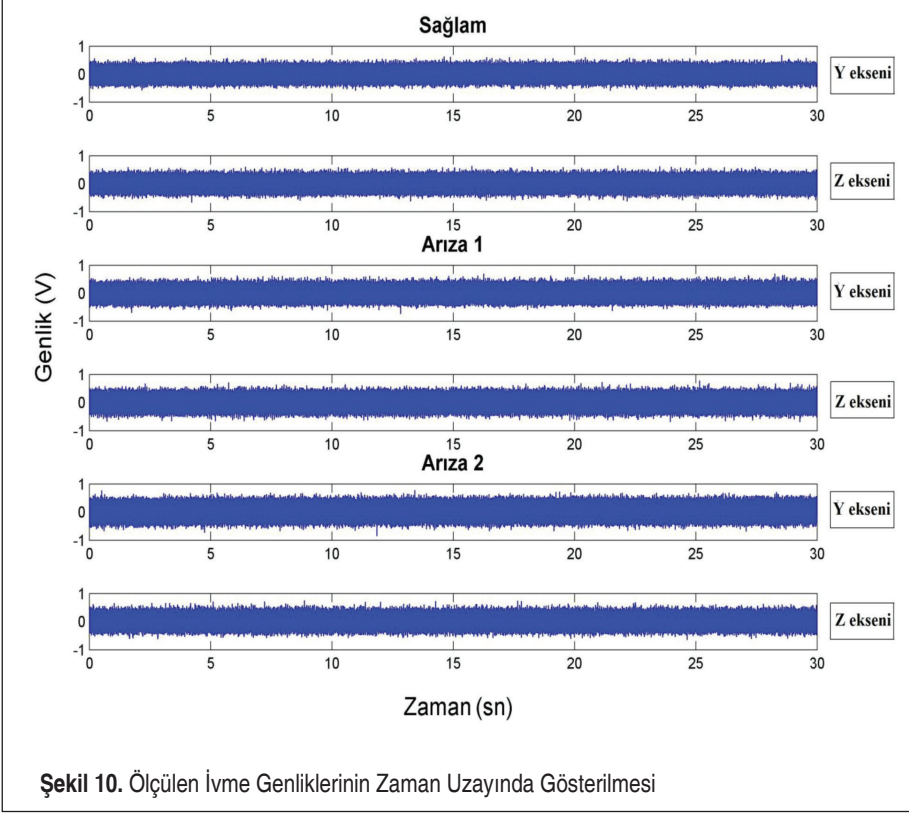
Dişli kutusunun sağlam, arıza 1 ve arıza 2 durumu için Y ve Z yönünde alınan titreşim sinyalleri kullanılarak oluşturulan titreşim bölgesi ve analizi Şekil 11’de gösterilmiştir.

Şekil 11’de kutu içerisine alınan ivme noktaları, merkezden en uzak ivme noktalarıdır. Bu noktaların merkezden uzaklıkları dişli kutusunun sağlıklı, arıza 1 ve arıza 2 durumu için Tablo 3’te verilmiştir. Bu değerlerden anlaşılacağı üzere, oyukcuk arızasının şiddeti arttıkça, maksimum ivmeler merkezden uzaklaşmakta, dişli kutusunun iki yönlü mutlak ivmelenmesi artmaktadır.

Dişli kutusunun her durumu için 450.000 örneğe sahip olan titreşim sinyallerinin her birini resimde ifade etmek amacıyla, 500x900’lük 450.000 piksele sahip siyah ve be-

Tablo 2. Deney Düzeneği Çalışma Koşulları

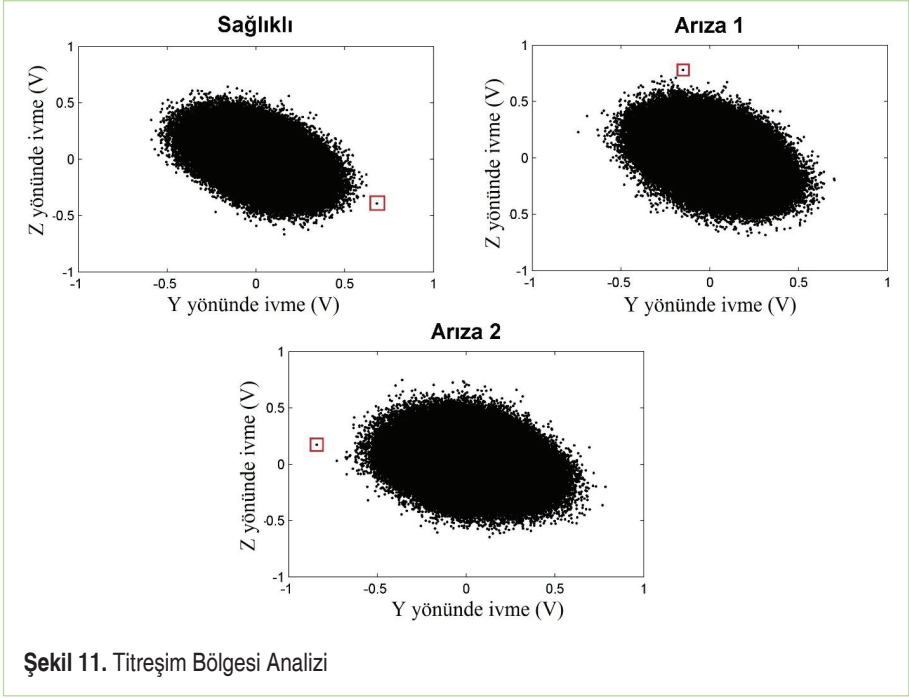
Tahrik Pinyon Dişli Hızı:	2.678 dev/dk – 44,63 Hz
Örnekleme Frekansı:	15 kHz
Örnekleme Süresi:	30 sn
Toplam Örnek Sayısı:	450.000 örnek
Toplam Dişli Dönme Sayısı (30 saniyede):	1.340 tur



yazdan oluşan ikili bir görüntüye dönüştürülür. Şekil 11’de de görüldüğü gibi, titreşim bölgesinin sağlıklı durumundan arıza 2 durumuna kadar beklenildiği gibi genişlediği görülmüştür. Her durum için hesaplanan alanlar, Tablo 3’te verilmiştir. Titreşim bölgelerinin alanları, gelişen oyukçuk hatası şiddeti ile birlikte artan eğilim göstermektedir. Böylelikle, oyukçuk arızasının şiddeti artıkça, oluşan titreşim bölgesinin genişlediği sayısal olarak da kanıtlanmıştır.

Tablo 3. Sonuçlar

	Sağlam	Arıza 1	Arıza 2
R (volt)	0,7859	0,7942	0,8602
Alan (piksel)	55.757	64.836	70.547



Şekil 11. Titreşim Bölgesi Analizi

5. SONUÇ

Bu çalışmada, oyukçuk arızası tespiti için helis dişli kutusunda gerçeğe yakın yapay arızalar oluşturulmuş, ivmeölçer yardımıyla Y ve Z yönünde titreşim verileri alınmıştır. Literatürde dişli kutularında arıza tespiti için çokça kullanılan yöntemlere ek olarak titreşim bölgesi analizi önerilmiştir. Bu yöntemde, helis dişli kutusundan anlık ölçülen iki yönde ivme değerleri birbirlerine karşılık çizdiririlir ve oluşan titreşim bölgesinin alanı ölçülür. Ayrıca, ivme noktalarının sıfır ivme durumuna uzaklığı da hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre, dişli kutusunun her durumu için merkezden en uzak ivme noktaları arıza şiddeti arttıkça sıfır ivme durumundan uzaklaşmaktadır. Y ve Z yönünde alınan dişli kutusunun titreşim verilerinin değişiminin birlikte ölçülmesini sağlayan titreşim bölgesi analizinde ise, oyukçuk arızasının şiddeti arttıkça oluşan titreşim bölgesinin alanının büyüdüğü sayısal olarak gösterilmiştir. Böylelikle, oyukçuk arızası meydana geldiği ve geliştiği zaman, titreşim bölgesi analizi metodu ile tespit edilebileceği gösterilmiştir.

Önerilen bu yöntem, bir arıza tespit yöntemidir ve arıza teşhisi için yeterli bilgi içermemektedir. Tüm dişli kutusu türleri dâhil bütün hareketli makina elamanlarında du-



rum izleme ve oluşun herhangi bir arızanın tespitinde kullanılması için önerilmiştir. Makina elemanın normal çalışma durumunun dışına çıktığının gözlemlenmesinde kullanışlı bir yöntem olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. **Yaman, G., Karadayı, H. M.** 2014. "Titreşim Analizi ile Pompalarda Arıza Tesbiti ve Kestirimci Bakım İçin Örnek Bir Çalışma," Tesisat Mühendisliği, sayı 140, s. 36-51.
2. **Öztürk, H.** 2006. "Gearbox Health Monitoring And Fault Detection Using Vibration Analysis," Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
3. **Öztürk, H., Yeşilyurt, D., Sabuncu, M.** 2005. "Dişli Çark Oyukçuk Arızasının Titreşim Analizi İle Tespiti," Makine Tek, sayı 98, s. 72-79.
4. **Kalyoncu, M.** 2006. "Titreşim Analizi ile Makine Elemanları Arızalarının Belirlenmesi," Mühendis ve Makina, cilt 47, sayı 552.
5. **Kirazlılar, B.** 2007. "Endüstriyel Bakım Kestirimci ve Önleyici Bakımın Temelleri," ISBN:9755114637, Birsen Yayınevi.
6. **Öztürk, H., Yesilyurt, İ., Sabuncu, M.** 2007. "Dişli Kutularındaki Diş Çatlak Hatasının Titreşim Etüdüyle Erken Tespiti ve İzlenmesi," 13. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, 07-09 Haziran 2007, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
7. **Yesilyurt, I.** 1997. "Gear Fault Detection and Severity Assessment Using Vibration Analysis," PhD Thesis, Manchester, The University of Manchester.
8. ISO 10816-3, 2009. "Mechanical Vibration -- Evaluation Of Machine Vibration By Measurements On Non-Rotating Parts -- Part 3: Industrial Machines with Nominal Power Above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15 000 r/min when measured in situ," www.iso.org/standard/50528.html, 24 July 2017.
9. **Tang, H., Cha, J-Z., Wang, Y., Zhang, C.** 1991. "The Principle of Cepstrum and Its Application in Quantitative Fault Diagnostics of Gears", ASME Modal Analysis, Modeling, Diagnostics, and Control – Analytical and Experimental, vol. 38, p. 141-144.
10. **Nicks, J. E., Krishnappa, G.** 1995. "Gear Fault Detection Using Modulation Analysis Technique," In Processings of the Second International Conference on Gearbox Noise, Vibration and Diagnostics, Institute of Mechanical Engineers, p. 81-89 , UK.
11. **Jones, D.L., Parks, T.W.** 1992. "A Resolution Comparison of Several Time-Frequency Representations," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 40 (2), p. 413-420.
12. **Cohen L.** 1989. "Time-Frequency Distributions-a Review," Proc IEEE, vol. 77 (7), p. 941-981.
13. **Stander, C.J. Heyns, P.S.** 2002. "Using Vibration Monitoring for Local Fault Detection on Gears Operating Under Fluctating Load Conditions," Mechanical System and Signal Processing, vol. 16(6), p. 1005-1024.



14. **Samantha, B.** 2004. “Gear Fault Detection Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines with Genetic Algorithms,” *Mechanical Systems and Signal Processing* 18, p. 625–644.
15. **Kıral, Z. Karagülle, H.** 2006. “Vibration Analysis of Rolling Element Bearings with Various Defects Under The Action of an Unbalanced Force,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, Elsevier, vol. 20/8, p. 1967-1991.
16. **Hızarcı, B., Ümütlü, R.C., Öztürk, H., Kıral, Z.** 2017. “Yapay Sinir Ağları Kullanarak Helisel Dişli Kutusundaki Oyukçuk Hata Seviyelerinin Tespiti,” 18. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu, 05-07 Temmuz 2017, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.