

## ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ MİLLERİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ DENEYSEL ANALİZİ

Menderes KAM<sup>1</sup> Hamit SARUHAN<sup>2</sup> Fuat KARA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Cumayeri Meslek Yüksekokulu, Makine Böl., 81620, Düzce, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fak., Makine Mühendisliği Böl., 81620, Düzce, TÜRKİYE

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fak., İmalat Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce, TÜRKİYE  
mendereskam@duzce.edu.tr

**Özet** - Endüstride turbo makineleri, jeneratörler, kompresörler, pompalar, buhar ve gaz türbinleri gibi çeşitli makine sistemlerinde istenen yüksek hız ve ağır yük şartları altında güvenli ve kararlı çalışma gereksinimi günden güne artmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan millerin işletmedeki çalışma frekanslarının kendi frekansına denk gelmesi veya çok yakın olması çalışan sistemde tınlama (rezonans) durumunu ortaya çıkarır. Böylece milin mekanik enerjisi giderek artar ve bu artan enerjiyi dengeleyecek tedbirler alınmamışsa sonucunda milin kırılması gerçekleşebilir. Bu sebeplerden dolayı makine sistemlerinin dinamik davranışları büyük önem taşımaktadır. Makinelerin dinamik davranışlarının belirlenmesinde en önemli ve detaylı bilgileri veren titreşim karakteristikleridir. Titreşim karakteristikleri, makinenin işletme şartlarındaki performansını ve mekanik problemlerinin ortaya çıkarılmasında en önemli faktörleri teşkil ederler. Sistemdeki titreşimlerin nispeten azaltılması makine parçalarında uygun malzeme kullanılması ile mümkündür. Malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Bu çalışmada, makine-imalat ve otomotiv sanayisinde yaygın kullanım alanına sahip AISI 4140 ısıtma çeliğinin dinamik davranışları üzerinde ısıtma işleminin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, ısıtma işlemi görmemiş ve ısıtma işlemi görmüş millerin dinamik davranışları deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler**- Mil, Isıtma işlemi, Titreşim analizi, Tınlama.

## EXPERIMENTAL ANALYSIS OF HEAT TREATED SHAFTS DYNAMIC BEHAVIOR

**Abstract** - Rotating machinery systems - turbo machines, generators, compressors, pumps, steam and gas turbines - used nowadays work under many hard conditions such as heavy load and high speed. The demanding requirements placed on rotating machinery system have introduced a need for increasing reliability more than ever before. Most of breakdowns in rotating machinery system are due to failure of the materials. Therefore, using and analyzing of heat treated AISI 4140 steel would be the main purpose of this study. In this study, the dynamic behavior of heat untreated and heat treated shafts supported by rolling element bearing was experimentally studied, analyzed and compared.

**Key Words** - Shaft, Heat treatment, Vibration analysis, Resonance.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İslah çelikleri; kimyasal bileşimindeki karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren, alaşımsız ve alaşımlı makine imalat çelikleridir. İslah işlemi, çelik malzemeler üzerine sertleştirme ve arkasından menevişleme (temperleme) yapılarak yüksek tokluk özelliği kazandırma işlemi olarak tanımlanır. Literatürde genellikle geleneksel ısıl işlem olarak adlandırılır [1, 2]. İslah çelikleri ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerinden dolayı endüstride çeşitli makine ve motor parçaları, krank mili, aks mili, yivli mil, civata, somun, saplama, dişli çark, piston kolları gibi sünekliği yüksek parçaların imalatında olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahiptirler [3, 4]. Bu sebeple, ıslah çelikleri inşaat ve alaşımsız çeliklerden sonra, en yüksek oranda üretilen ve kullanılan çelik türüdür. AISI 4140 (42CrMo4) ıslah çeliği, düşük alaşımlı Cr-Mo'li ıslah çeliklerinin en yaygın kullanım alanına sahip olan türüdür. Kullanım alanları arasında, yukarıda belirtilenlerin yanı sıra soğuk çekme mil ve çubuklarında, makine çeliklerinde, yaylarda, türbin motorlarında, turbo jeneratörlerin fren halka ve kollarında, demir yol tekerlekleri ve milleri gibi birçok alan bulunmaktadır [1-5].

Endüstride dönerek çalışan mekanik sistemler aşırı yük ve yüksek hız gibi birçok ağır koşul altında çalışmaktadır. Bu sistemlerden beklenen en önemli özellik bu çalışma koşullarına rağmen sorunsuz olarak çalışmalarıdır. Bu durum sistemde kullanılan makine elemanlarının malzemelerinin uygun seçilmiş olmasıyla mümkündür. Bu nedenle bilimsel çalışmalar, mevcut malzemelerin sınırlarını sürekli genişletme doğrultusunda ilerlemektedir. Bir makine elemanından beklenen en önemli özellik, öngörülen ömrü boyunca sorunsuz olarak çalışmasıdır. Bu da, gereç olarak yapımında kullanılan malzemenin uygun seçilmiş olmasıyla doğrudan ilişkilidir [6].

Miller, dönerek çalışan sistemlerin bulunduğu her türlü endüstri alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, milin işletme hızının milin kritik hızlarından birine denk gelmesi veya çok yakın olması sistemde tınlaşım (rezonans) durumunu ortaya çıkarır. Bununla birlikte aşırı yüklerin oluşmasından dolayı makine sistemlerinde istenmeyen titreşimler ortaya çıkar. Bu durumda milin mekanik enerjisi giderek artar ve bu artan enerjiyi sönmüleyecek unsurlar yoksa milin yer değiştirmesi söz konusu olur, dolayısıyla sistemde hasar oluşabilir [7-10]. Bu nedenle yüksek hızda çalışan milin bulunduğu sistemlerin dinamik performanslarının takibi için, sistemin dinamik davranışını karakterize eden çeşitli parametrelerden faydalanmak gerekmektedir. Bu sorunun ve sistemin çalışma şartlarının belirlenmesinde titreşim karakteristikleri önemli ve detaylı bilgiler verebilir. Titreşim karakteristikleri, sistemin işletme şartlarındaki performansını ve mekanik problemlerinin ortaya çıkarılmasında en önemli faktörlerin başında yer alır.

Endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmasından dolayı miller, birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur. Günümüzde de millerle ilgili bilimsel çalışmalar yapılmaya devam etmektedir. Mil-yatak sistemi alanında ilk ve önemli çalışması olan Rankine [11] den sonra birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların ortak amacı, mil sisteminin kritik hızları ve kararlılığı alanında olmuştur. Bu çalışmaları yapanlardan Greenhill [12] daha önce göz önüne alınmayan mil ataletini de çalışmalarına katmıştır. De Laval [13], mil sistemini kritik hız seviyesinde başarıyla çalıştırabilmiştir. Jefcott [14] mil sisteminde damper (sönümleyici) kullanarak milin kararlılığını incelemiştir. Newkirk [15] ve Kimball [16] çalışmalarında yataklardaki iç sürtünmeleri de hesaplamalara katmışlardır. Stodola [17], kaymalı yataklamayı modellemiştir. Mil sistemi kararlılığı için yapılan diğer çalışmaları Robertson [18] ve Smith [19] yapmışlardır. Dimentberg [20] dinamik rijitliği hesaplayan metodu tanıtmıştır. Lund ve Strenlicht [21] mil-yatak sistemi çalışmalarına rijitlik ve sönmüleme özellikleri katarak detaylı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmaların oluşturduğu alt yapıyı esas alıp ilave olarak çeşitli parametreler deneyerek çalışmalar yapan araştırmacılar şunlardır; Gunter [22] Orcutt ve Arvas [23], Eshleman ve Eubanks[24], Reddi [25], Nicholas [26], Kirk [27], Akkök ve Ettles [28], Özgüven ve Özkan [29], ve Rouch [30].

Millerin dinamik davranışlarının deneysel olarak incelenmesi için herkes tarafından kabul görmüş bir deney metodu yoktur. Her araştırmacı farklı amaçlar doğrultusunda araştırmalar yaptığından kendi deney düzeneklerini kurmuş ve dönen makine elemanlarının titreşim analizlerini gerçekleştirmiştir. Kılınç ve Saruhan [10], yaptıkları çalışmada kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarla desteklenmiş millerin kritik devir hızlarının ve buna bağlı olarak titreşim davranışlarını ve nedenlerini deneysel olarak araştırmışlardır.

Literatürde, AISI 4140 çeliği ve dinamik davranışlar ile ilgili çalışmalar incelendiğinde mil malzemelerine uygulanan ısıtma işleminin dinamik davranışlara etkisi ile ilgili çalışma yapılmadığı görülmektedir. Literatürdeki bu açığı kapatmak amacıyla, bu çalışmada AISI 4140 çeliği malzemenin yapılan ısıtma işlemi görmemiş (RM-Raw material) ve ısıtma işlemi görmüş (CHT-Conventional Heat Treatment) millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi yapılarak karşılaştırılmıştır.

## 2. DENEY DÜZENEGİ (EXPERIMENTAL SET-UP)

### 2.1. Deney Numunesi (Experiment Sample)

AISI 4140 çelik malzemenin 25,4 mm çapında ve 320 mm uzunluğunda iki farklı mil hazırlanmıştır. Isıtma işlemi görmemiş (RM) mil 28-30 HRc ve ısıtma işlemi görmüş (CHT) mil 50 HRc sertlik değerlerinde olmak üzere iki farklı mil kullanılarak deney seti oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi (%) (Chemical composition of AISI 4140 steel)

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al
(%)	0,39	0,27	0,74	0,008	0,01	1,06	0,2	0,03

### 2.2. Isıtma İşlem Süreçleri (Heat Treatment Processes)

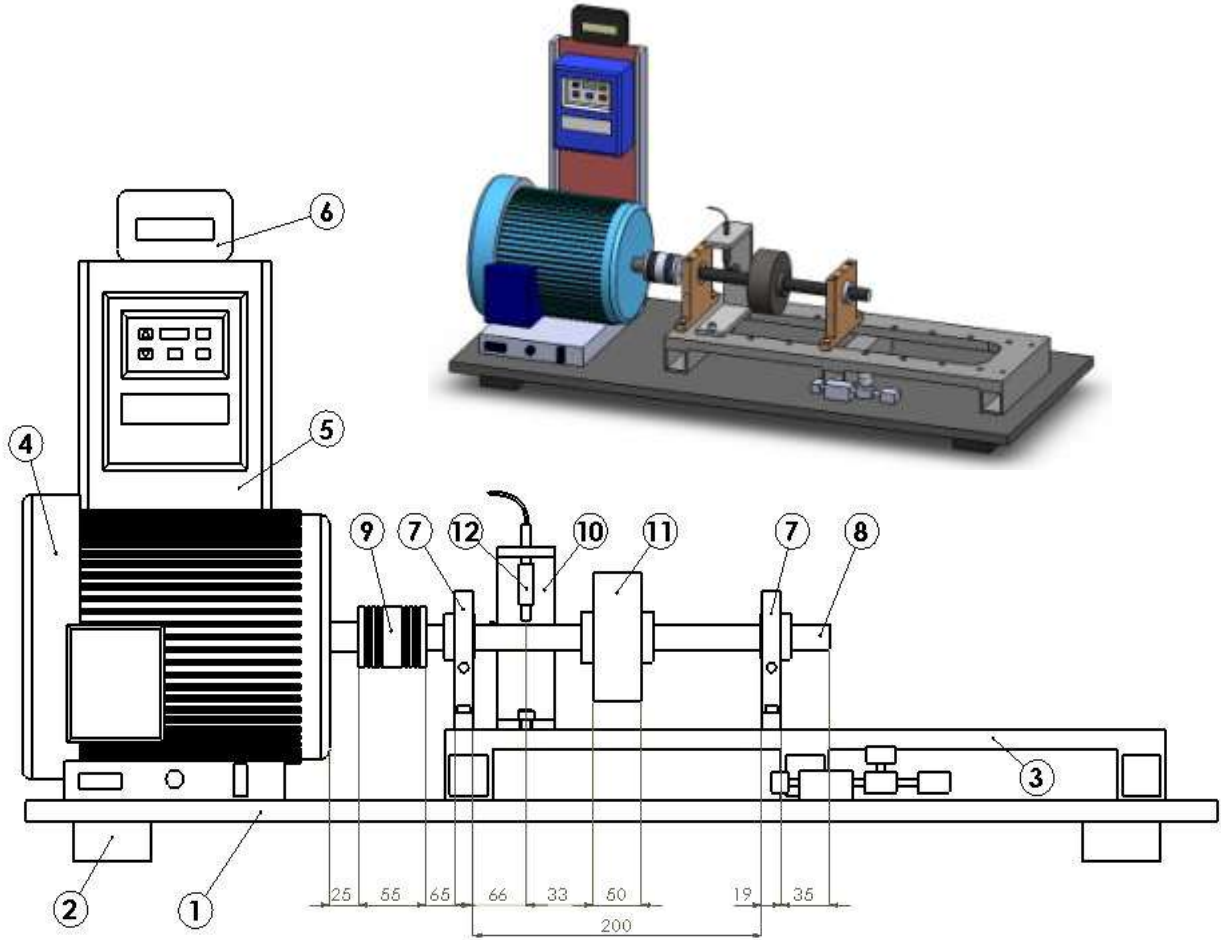
AISI 4140 çeliği malzemesinden yapılmış miller geleneksel ısıtma işlemi tabii tutularak istenilen sertlik değerine getirilmiştir. Bu amaçla numunelere ilk olarak, atmosfer kontrollü fırında 420 °C sıcaklığa 30 dakika ısıtılarak ön ısıtma, 850 °C sıcaklığa 30 dakika ısıtılarak östenitleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra 70 °C sıcaklıktaki yağda 20 °C sıcaklığa soğutulmuş yağda su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Karbon oranı yüksek çelikler çatlama riskine karşı yağda sertleştirilirler. Çünkü yağda su verme işlemindeki yağın soğutma hızı, suyun soğutma hızından yavaştır. Soğutma hızının en verimli olduğu yağ sıcaklığı 50 °C ile 80 °C arasındadır. Bu çalışmada sertleştirme işlemi yağın sıcaklığı 70 °C olarak alınmıştır. Yağda su verme işlemi ile sertleştirilen numuneler, 320 °C sıcaklıkta 2 saat temperleme (menevişleme) işlemi uygulanarak sertliği 50 HRc’ye düşürülmüştür.

### 2.3. Deney Seti (Test Rig)

Deneyler için kullanılan deney seti Şekil 1’de verilmiştir. Deney seti 320 mm uzunluğunda ve 25,4 mm çapında bir mil düzeneğine sahiptir. Mil, ½ Beygir Gücüne sahip bir motora, motor tarafından üretilen yüksek frekanslı titreşim etkisini en aza indirmek için bir esnek kaplin ile bağlanmıştır. Üç fazlı alternatif akım (AC) indüksiyon motoru değişik hızların elde edilmesi için bir değişken hız kontrol ünitesine bağlanmıştır. Motor 0–3600 rpm (revolution per minute – dakikadaki dönme sayısı) hız aralığında çalıştırılabilir özelliindedir. Dönen milin devir sayısını kontrol etmek için foto-optik tipi bir dijital takometre kullanılmıştır. Titreşim genliğini artırmak için 126,25 mm çapında ve 5036,5 gr ağırlığında bir disk yük olarak kullanılmıştır.

Veriler VibraQuest™ yazılım ve donanım sistemi kullanılarak toplanmıştır. Veri toplama sistemi titreşim sinyalleri için tasarlanmış bir yüksek bant genişliği amplifikatörüne sahiptir. RM ve CHT miller kullanılarak iki deney serisi yapılmıştır. İlk deney serisi için RM mil kullanılmış ve ikinci deney serisi için ise CHT mil kullanılmıştır.

Proxy probe sensörü tarafından toplanan titreşim dalgaları analog sinyal şeklinde olduğundan dijital değerlere dönüştürülmesi işlemi 24 bitlik bir A/D dönüştürücü ile yapılmıştır. Frekans spektrumunun görüntülenme çözünürlüğü yani kullanılan çizgi sayısı 3200 olarak alınmıştır.



**Şekil 1. Deney seti:** (1) Gövde; (2) Plastik Takoz; (3) Bilye Yatağı Desteği; (4) ½ HP Motor; (5) Hız Kontrol Ünitesi; (6) Takometre; (7) Bilye Yatak Yuvası; (8) Mil; (9) Esnek Kaplin; (10) Deplasman Ölçer Aparatı; (11) Disk; (12) Deplasman Ölçer

**(Set rig):** (1) Base; (2) Rubber isolators; (3) Extended rotor deck; (4) Motor; (5) Variable speed controller; (6) Tachometer; (7) Bearing housing; (8) Shaft; (9) Flexible coupling; (10) Rigid support for proxy probe; (11) Disk; (12) Proxy Probe

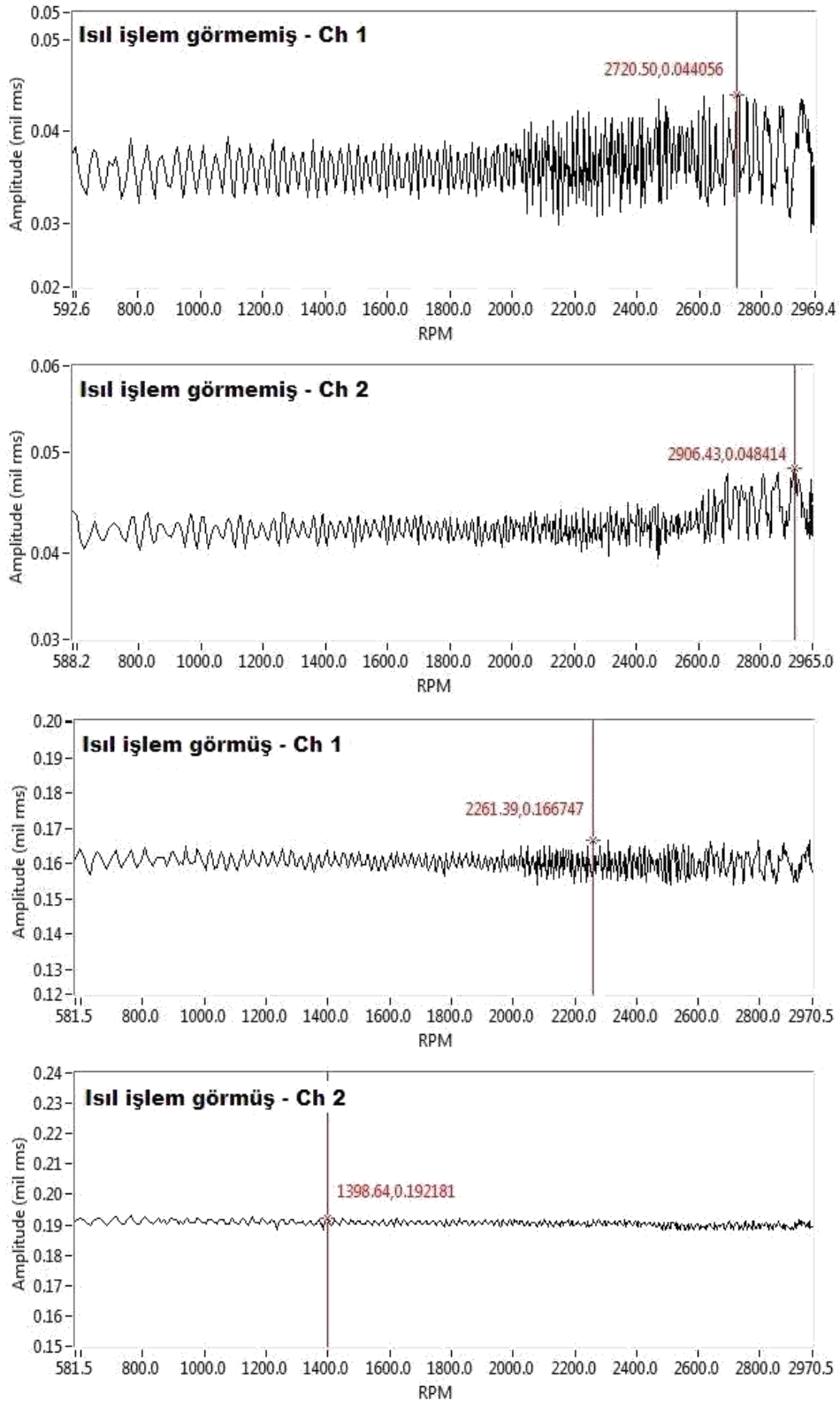
### 3. BULGULAR (FINDINGS)

Şekil 2’de milin kritik devrinin belirlenmesi için Bode eğrisi verilmiştir. Eğride görüldüğü gibi mil kritik devrine yaklaştığında genlik değeri artış göstermektedir. Şekilde RM milin yatay doğrultusu için maksimum titreşim genliği 2720,5 dev/dak iken, CHT mil için 2261,3 dev/dak olarak görülmüştür. Düşey doğrultu için RM mil için maksimum titreşim genliğinin görüldüğü devir 2906,4 dev/dak iken, CHT mil için 1398,6 dev/dak’dır. RM mil CHT mil ile kıyaslandığında kritik devir ile daha erken tanışmış olmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi devir arttıkça titreşim genliğinde artma ve azalma meydana gelmektedir. Bunun nedeni sönümlenme katılığının devirle doğru orantılı olarak artış göstermesidir.

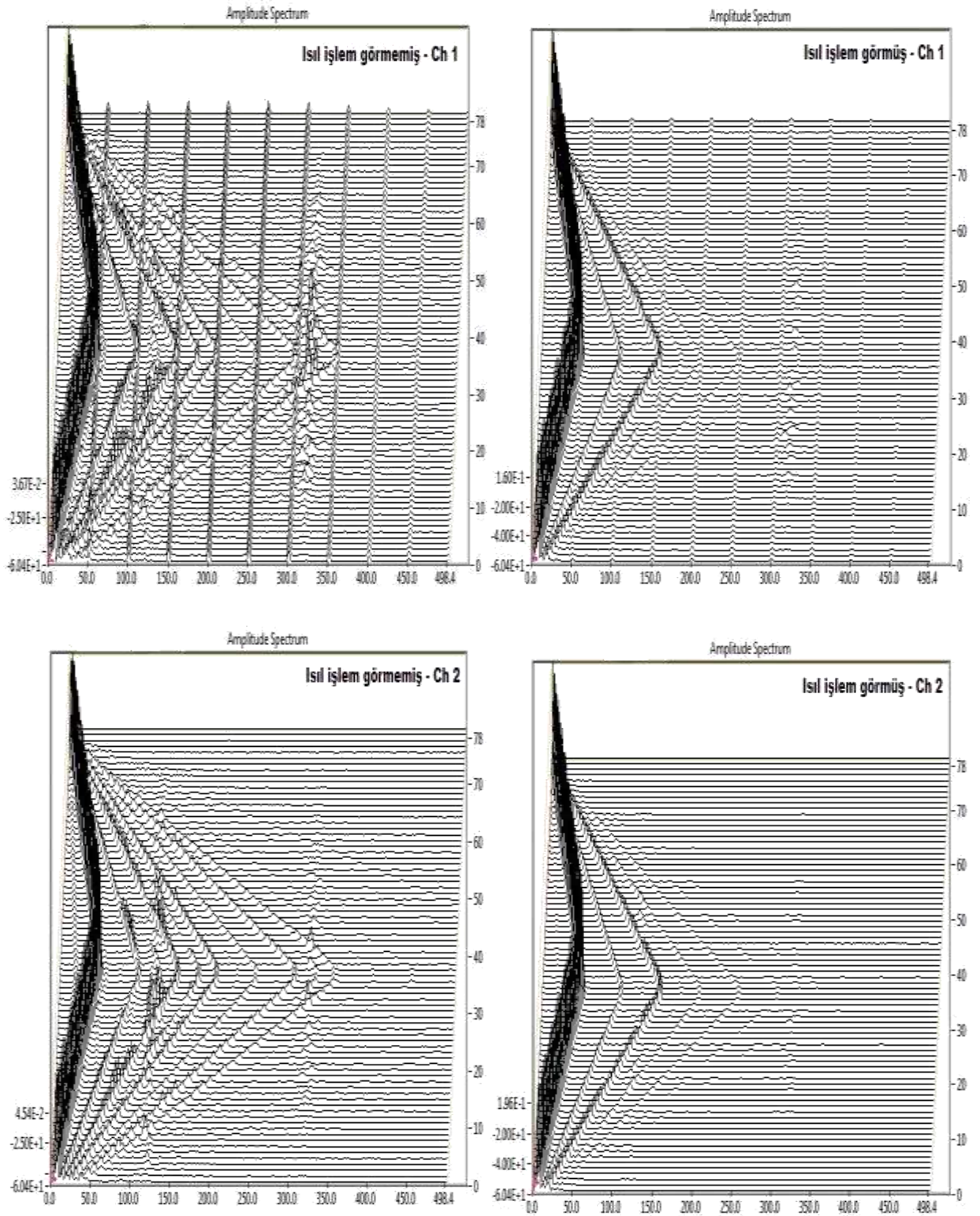
Şekil 3’te RM ve CHT millerin düşey (Ch1) ve yatay (Ch2) doğrultuda 0-500 Hz frekans aralığında 78 blok olarak motora bağlı milin 0 dev/dak’dan başlayarak 3000 dev/dak’ya ulaşması ve sonrasında 3000 dev/dak’dan 0 dev/dak’ya gelerek durması esnasında toplam 50 saniyede yakalanan titreşim spektrumu Waterfall (şelale) olarak verilmiştir. Şekilde ayrıca temel frekansın tamsayı katları harmonik olarak tekrarlayan titreşim sinyalleri görülmektedir. Birinci harmonik 1xrpm tepe noktaları değerleri çok belirgin olarak görülmektedir. Baskın olan bu frekans aynı zamanda yüksek titreşim frekansıdır.

Orbit (yörünge) titreşim spektrumu için veri toplama düşey ve yatay doğrultuda 5 KHz örnekleme frekansında kaydedilmiştir. Mil, 3000 dev/dak’ya 25 saniyede ulaşmıştır. Şekil 4 ve Şekil 5’de verilen 0-3000 dev/dak’ya kadar dönerken milin izlediği yörünge görülmektedir. Order analizi 1xdevir katındaki frekans ölçüm değerleri verilmiştir. Yörünge analizi ile X ve Y doğrultularında titreşim ölçümleri deplasman olarak elde edilmiştir. Proxy probe sensörleri deplasman ölçer aparatına bağlandığından ve aralarında bir bağıl hareket oluşmadığından yuvarlanmalı yatak içerisindeki milin eksen çizgisinin hareketi yörüngesel olarak elde edilmiştir. Yörünge üzerindeki nokta milin salınım dalgasının başlangıç noktası olarak kaydedilmiştir. Her iki şekilde de milin salınımının daha çok Y doğrultusunda maksimum genlikte olduğu görülmektedir.

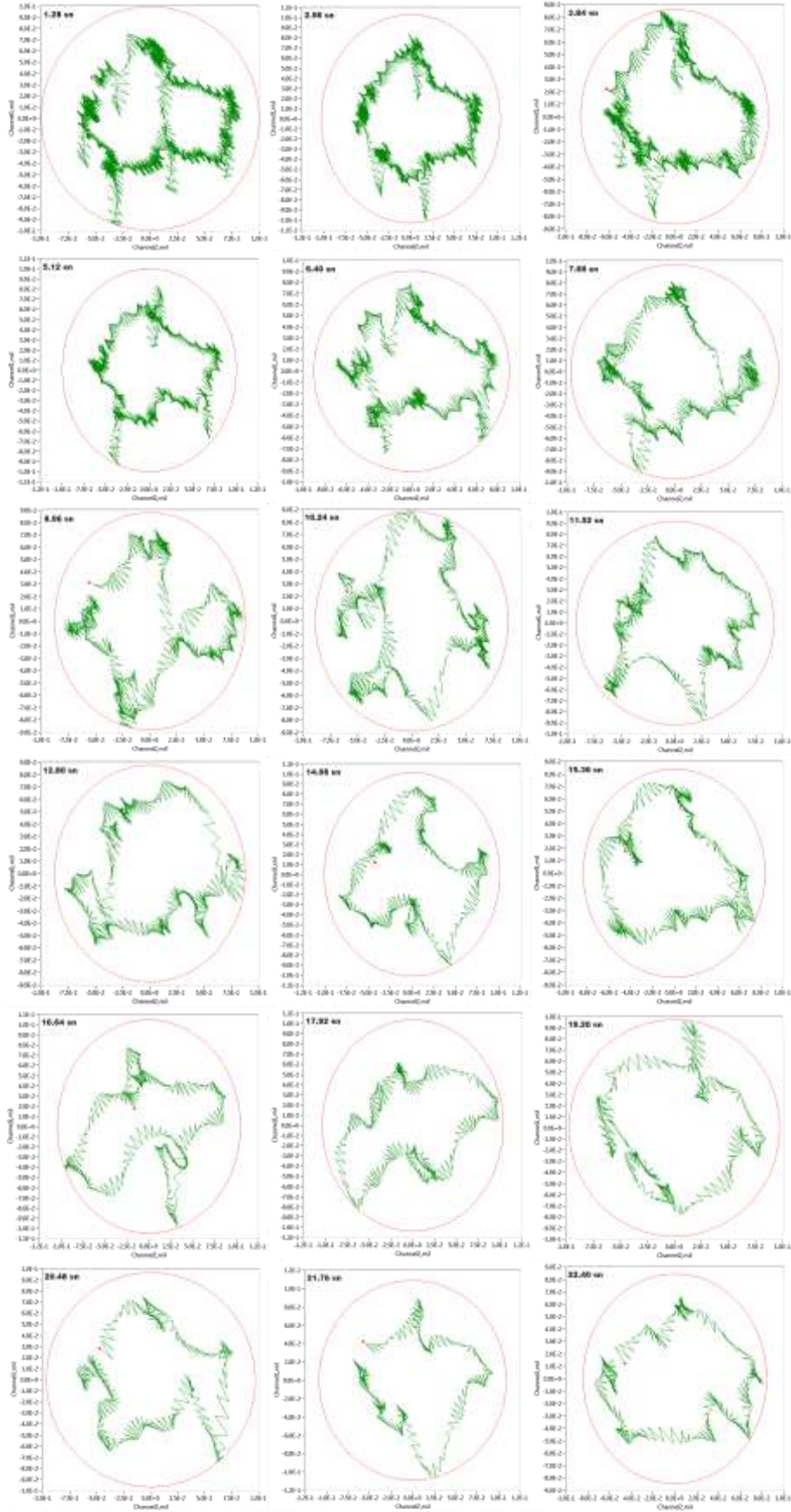
Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5’deki grafiklerden RM mil ile CHT milin yatay doğrultudaki bileşenlerin düşey doğrultudaki bileşenlere kıyasla genliğin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, mil üzerindeki yükten gelen kuvvetin düşey eksenini daha fazla etkilemesi ve titreşim genliğinde değişim oluşturmasıdır. Genel olarak RM mildeki titreşimlerin CHT mildeki titreşimlere göre belirgin şekilde daha değişken olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 2.** RM ve CHT mil için Bode eğrisi  
 (Bode plot for RM and CHT shafts)

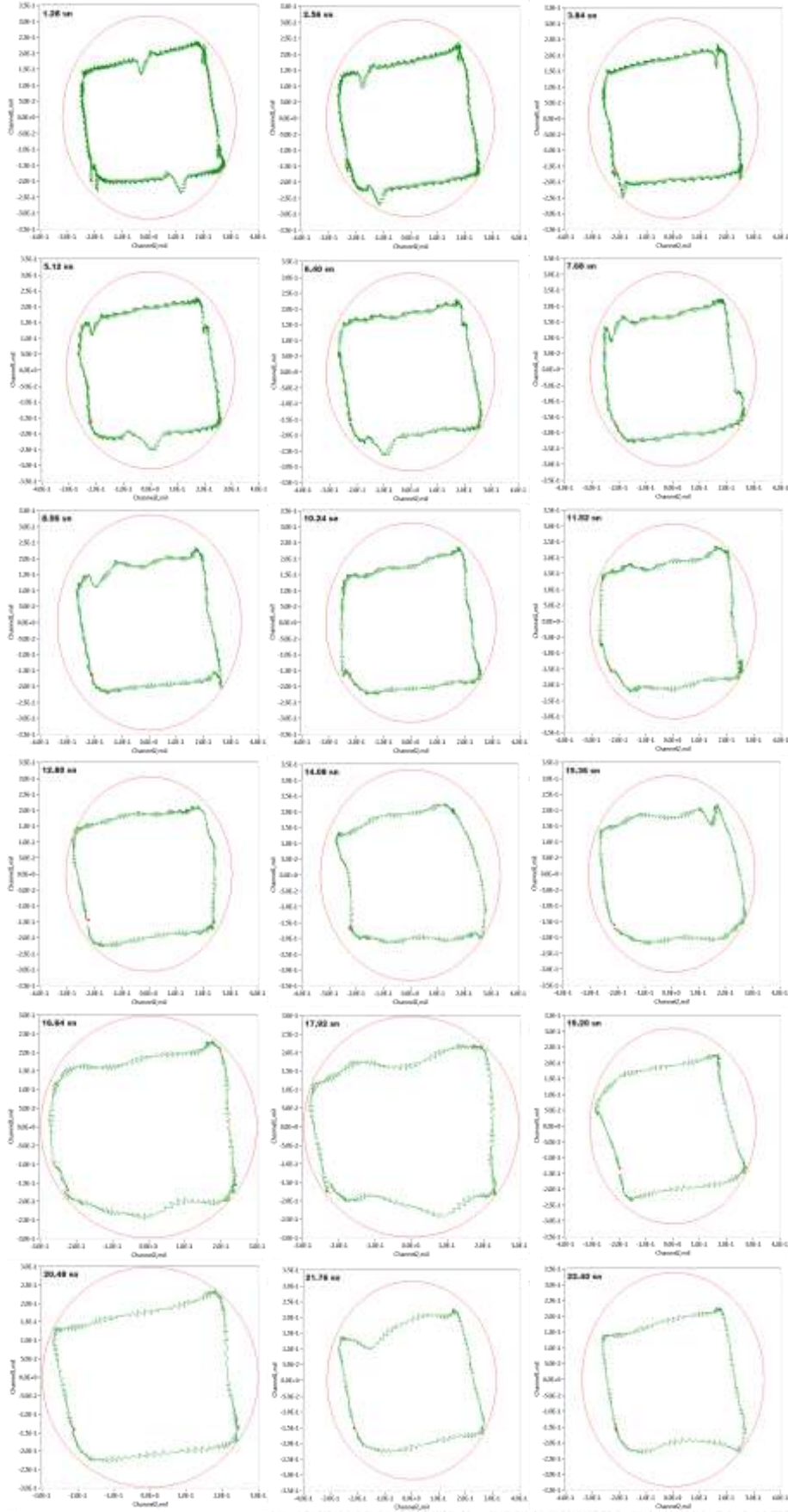


**Şekil 3.** RM ve CHT mil için Waterfall olarak titreşim spektrumu  
(Waterfall spectrum for RM and CHT shafts)



Şekil 4. RM mil için orbit titreşim spektrumu (Orbit plot for RM shaft)





Şekil 5. CHT mil için orbit titreşim spektrumu (Orbit plot for CHT shaft)

#### 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Makine endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahip AISI 4140 ıslah çeliğinden yapılmış millerin ısıtma işlem görmemiş ve ısıtma işlem görmüş durumlarda dinamik davranışlarının deneysel analizi yapılarak karşılaştırılmıştır. RM ve CHT mil için mil merkezinin eksenden sapmalarını gösteren yörünge titreşim spektrumu elde edilerek milin düşey ve yatay doğrultudaki ileri geri salınımları kıyaslanmıştır.

Millerin kritik devrinin belirlenmesi için Bode eğrisi elde edilmiştir. Sonuçlar, milin çalışma devri arttıkça titreşim genliğinde artma ve azalma meydana geldiğini göstermiştir. Bu durum, sönümleme katılığının devirle doğru orantılı olarak artışı ile ilişkilendirilmiştir. CHT milde rijitlik daha fazla olduğu için tınlaşma (rezonans) olayı daha az görülmüştür.

Milin yörünge titreşim spektrumu için veri toplama düşey ve yatay doğrultuda kaydedilmiştir. 0-3000 dev/dak'ya kadar dönerken milin izlediği yörünge verileri toplanmış ve yörünge analizi ile X ve Y doğrultularında titreşim ölçümleri deplasman olarak elde edilmiştir. Her iki mil durumu için de milin salınımı daha çok Y doğrultusunda maksimum genlikte olduğu görülmüştür.

Genel olarak, RM mil ile CHT milin yatay doğrultudaki bileşenlerinin düşey doğrultudaki bileşenlere kıyasla genliklerinde azalma olduğu görülmüştür. Bu sonuç, mil üzerindeki yükten gelen kuvvetin düşey eksenine daha fazla etkilemesine ve titreşim genliğinde değişim meydana getirmesine atfedilmiştir. Ayrıca, RM mildeki titreşimler CHT mildeki titreşimlere göre belirgin şekilde daha değişken olduğu gözlemlenmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Kesti, E., (2009). Ç-4140 çeliğinin, mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 14-23.
- [2]. Topbaş, M. A., (1998). *Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı*, Prestij Yayıncılık Bas. Hiz. İstanbul, 75-96, 593.
- [3]. Höke, G., Şahin, İ., Henifi, Ç., ve Fındık, T., (2014). Kriyojenik işlemin SAE 4140 çeliğin mekanik özellikleri üzerine etkisi, *Teknik-Online Dergi*, 13(2), 25-37.
- [4]. Pekköz, B., Sarıdemir, S., Uygur, İ., ve Aslan, Y., (2013). Sementasyon işleminin farklı çeliklerin mikroyapı ve sertlik değerlerine etkileri, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 10(1), 19-24.
- [5]. Uzkut, M., ve Özdemir, İ., (2001). Farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(3), 65-73.
- [6]. Ekinci, Ş., ve Akdemir, A., (2011). Nitrürleşmiş AISI 4140 çeliğine uygulanan yükün aşınma hızına etkisi, *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 10(1), 39.
- [7]. Arslan, H., (2003). Şaft-rulman sistemindeki bilyalı rulman hasarlarının titreşim analizi metodu ile tespiti, *Doktora Tezi*, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- [8]. Uygun, B., (2006). Rulmanlı yataklarda hata analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9]. Karaçay, T., (2006). Açısız temaslı rulmanlarla yataklanmış şaftların dinamiği ve rulman hatalarının deneysel analizi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [10]. Kılınç, S., ve Saruhan, H., (2013). Kaymalı ve Yuvarlanmalı Yataklarda Mil Kritik Hız Analizi, *6.Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, 209-218.

- [11]. Rankine, W.J.McQ., (1869). On the centrifugal force of rotating shafts, *Engineer*, London, 27, 249.
- [12]. Greenhill, G., (1883). On the strength of the shafts when exposed to botht or sionand thrust, *IMech E*, 36, 182-225.
- [13]. DeLaval, G., (1968). Diary sketches and notes from de laval memorial lectures, Gustaf De Laval, *The High Speed and the Gear, Stal-LavalTurbine AB*, Stockholm.
- [14]. Jeffcott, H.H., (1919). The lateral vibration of loaded shafts in the neighborhood of a whirling speed- the effect of want of balance, *Phil. Mag.*, 37, 304.
- [15]. Newkirk, B.L., (1924). Shaft whipping, *General Electric Rev.*, 27, 169-178.
- [16]. Kimball, A.L., (1925). Internal friction as a cause of shaft whirling, *Phil.Mag.*, 49, 724-727.
- [17]. Stodola, A., (1927). *Steamand Gas Turbines*, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 491, 929, 931, 1122.
- [18]. Robertson, D., (1933). Whirling of a journal in a sleevebearing, *Phil. Mag.*, 15, 113-130.
- [19]. Smith, D.M., (1933). The motion of a rotor carriedby a flexible shaft in flexible bearings, *Proc.Roy.Soc., Series A*, 142, 92-118.
- [20]. Dimentberg, F.M., (1961). *Flexural Vibrations of Rotating Shafts*, Butterworth Co., London.
- [21]. Lund, J.W., and Sternlicht, B., (1961). Rotor-bearing dynamics with emphasis on attenuation, *American Society of Mechanical Engineers*, 61-68.
- [22]. Gunter, E.J., and Allaire, P.E., (1976). Stabilization of Turbo Machinery with Queueze Film Dampers- Theory and Applications, *Vibration in Rotating Machinery, IMech E Conference Publications*, 291-300.
- [23]. Orcutt, F.K., and Arwas, E.B., (1967). The steady state and dynamic characteristics of a full cylindrical bearing in the laminar and turbulent flow regimes, *Trans. ASME, Journal of LubricationTechnology*, 89, 143-152.
- [24]. Eshleman, R.L.,and Eubanks, R.A., (1969). On the critical speeds of continuous rotor, *ASME Journal of Engineering for Industry*, 1180-1188.
- [25]. Reddi, M., (1969). Finite element solution of in compressible lubrication problems, *Journal of Lubrication Technology, Ser.F.*, 91(3), 529-533.
- [26]. Nicholas, J.C., (1977). A finite element dynamic analysis of pressure dam a tilting-pad bearings, *Ph.D. Thesis*, University of Virginia, Charlottesville, VA.
- [27]. Kirk, R.G., (1978). The influence of manufacturing tolerances on multi-lobe bearing performance in turbo machinery, *ASME Topics in Fluid Film Bearing and Rotor Bearing System Design and Optimization*, 108-129.
- [28]. Akkök, M., and Ettlles, C., (1980). The effect of grooving and bore shapes on the stability of journal bearings, *ASLE Transactions*, 23(4), 431-441.
- [29]. Özgüven, H.N., and Özkan, Z.L., (1984). Whirl speeds and unbalanceresponse of multibearing rotors using finite elements, *ASME Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design*, 106, 72-79.
- [30]. Rouch, K.E., (1983). Dynamics of pivoted pad journal bearings, including pad translation and rotation effects, *ASLE Trans.*, 26(1), 102-109.