



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>



# Manyetik alana maruz toz metalurjisiyle (T/M) üretilmiş bronz yatakların sürtünme özelliklerinin incelenmesi

*Investigation of frictional properties of manufactured by powder metallurgy (P/M) the bronze bearings exposed to magnetic field*

Yazar(lar) (Author(s)): Zekeriya DABAN<sup>1</sup>, Ertuğrul DURAK<sup>2</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0001-6734-2118

ORCID<sup>2</sup>: 0000-0001-6957-3796

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Daban Z. ve Durak E., “Manyetik alana maruz toz metalurjisiyle (T/M) üretilmiş bronz yatakların sürtünme özelliklerinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 23(1): 137-149, (2020).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.526746

# Manyetik Alana Maruz Toz Metalurjisiyle (T/M) Üretilmiş Bronz Yatakların Sürtünme Özelliklerinin İncelenmesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Zekeriya DABAN<sup>1</sup>, Ertuğrul DURAK<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Torosgaz Doğalgaz Dağıtım A.Ş. Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye

(Geliş/Received : 13.02.2019 ; Kabul/Accepted : 15.03.2019)

## ÖZ

Bu çalışmada elektrik motorlarındaki rotor milini destekleyen yataklarda oluşan sürtünme durumuna manyetik alanın etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada kendinden yağlamalı Toz Metalurji (T/M) esaslı kaymalı yataklarla 15 N, 40 N, 65 N sabit yüklerde ve 100, 200, 400, 800, 1200 d/d hızlarda testler yapılmıştır. Manyetik alan şiddeti olarak 2.5, 5 ve 7.5 mT seçilmiştir. Deneysel sonuçlar üçer defa tekrarlanarak elde edilen sürtünme katsayısı sonuçlarının ortalamaları ( $\mu_{ort}$ ) hesaplanarak grafiklerde sunulmuştur. Manyetik alansız testlerde yük ve hızın artması ile genel olarak  $\mu_{ort}$  arttığı gözlemlenmiştir. Manyetik alan uygulanmış 2.5 mT testlerinde yük ve hızın artmasıyla  $\mu_{ort}$  değerlerinde artış göstermiştir. 5 mT uygulanmış testlerde,  $\mu_{ort}$  yük ve hız değişimine göre çok fazla değişim göstermemiştir. 7.5 mT uygulanmış testlerde,  $\mu_{ort}$  yük ve hız artışına göre bir azalma göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Manyetik alan, kaymalı yatak, toz metalurji, elektrik motoru, sürtünme katsayısı.

## Investigation of Frictional Properties of Manufactured by Powder Metallurgy (P/M) the Bronze Bearings Exposed to Magnetic Field

### ABSTRACT

In this study, it is aimed to give an experimental investigation of the effect of the magnetic field in the electric motors to the friction state in the rotor shaft supporting journal bearing. In the experimental study, it was performed with self-lubricated Powder Metallurgy (P/M) based journal bearings such as at 15 N, 40 N, 65 N constant loads and 100, 200, 400, 800, 1200 rpm speeds, respectively. Three different values of 2.5, 5, and 7.5 mT were selected as the magnitude of the magnetic field. The experiments were repeated three times and then the arithmetic mean values ( $\mu_{ave}$ ) presented in the graphics was calculated from friction coefficients test results. It has been observed  $\mu_{ave}$  increases in general with the increase of the load and rotation speed in the without magnetic field tests. In magnetic field applied 2.5 mT tests,  $\mu_{ave}$  values increased with increasing load and speed. For the 5 mT, it was seen that  $\mu_{ave}$  did not change much compared to the change of load and speed. In tests conducted with 7.5 mT,  $\mu_{ave}$  showed a decrease by increasing load and speed.

**Keywords:** Magnetic field, journal bearing, powder metallurgy, electric motor, friction coefficient.

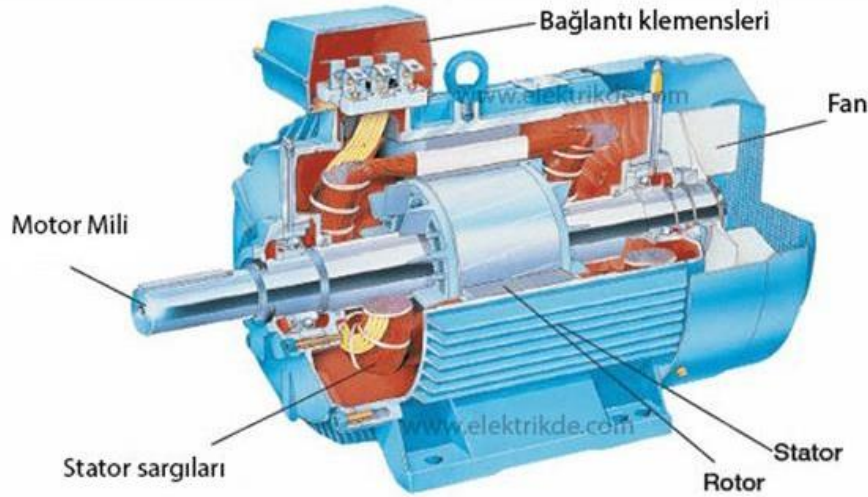
### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektromanyetik alanın iki bileşeni vardır; elektrik ve manyetik alandır. Manyetik alan; hareketli ve elektrik yüklü zerrecelerin güç etkisinde kaldığı boşluk olup, atomların içindeki elektronların çekirdek etrafında ve kendi ekseninde dönmeleri sonucu oluşmaktadır. Manyetik alan doğrudan gözle görülemeyen veya kolayca hissedilemeyen, fakat sonuçları görülebilen veya hissedilebilen bir olgudur. Tüm maddelerin zayıf ya da güçlü manyetik alanları vardır[1,2].

Bir sistemin manyetik alanı, iyi bir manyetik yalıtım yapılmazsa başka sistemlerin çalışmasını olumsuz etkileyebilmektedir. Örneğin, televizyon ya da bilgisayarın yanında cep telefonu faaliyete geçince hem parazit sesleri duyulur hem de ekran görüntülerinde bozulmalar olur.

Elektrik motorları doğru akım motorları, alternatif akım elektrik motorları, senkron elektrik motorlar veya asenkron elektrik motorlar gibi çeşitleri vardır. Elektrik motorlarında genellikle yuvarlanma elemanlı yataklar (rulmanlar) daha yaygın kullanılmaktadır. Bununla beraber küçük güçlerdeki elektrik motorlarında burç olarak adlandırılan silindirik radyal kaymalı yataklarda kullanılmaktadır(Şekil 1.)[3].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : ertugruldurak@sdu.edu.tr



Şekil 1. Örnek bir elektrik motoru yapısı (simple electric motor detail view)[4]

Toz metalürjisi (T/M), metal tozları üretimi ve bu tozlardan yarı bitmiş ya da bitmiş nesnelere yapma bilimi ve sanatı olarak tanımlanır. Toz metal parçalarının üretimi elementel veya alaşımlı tozların karıştırılması, bu tozların uygun kalıplarda sıkıştırılması ve toz partikülleri arasında metalürjik bir bağ oluşturulması amacıyla atmosfer kontrollü fırınlarda sinterlenmesi aşamalarını içermektedir. Elde edilen nihai ürün çeşitli alanlarda kullanılmak için yeterli yoğunluğa ve dayanıma sahip bir malzemedir[5]. Genel olarak T/M uygulamaları olarak;

- Yapısal otomotiv parçaları (biyel kolu, kendinden yağlamalı kaymalı yataklar (burçlar), motor ve transmisyon parçaları, vb.),
- Elektrik ve elektronik uygulamaları,
- Manyetik algılayıcılar,
- Tahrik elemanları,
- Isıl düzenleyici cihazlar,
- Biyomedikal parçalar,
- Sürtünme malzemeleri,
- Yüksek sıcaklık yapıları,
- Korozyona dirençli cihazlar (ortodontik destek parçaları),
- Kesme ve aşınma parçaları,
- Atalet ve yüksek yoğunluklu cihazlar şeklinde göstermek mümkündür[6].

Bu yataklar kendi kendini yağlayan yataklar olarak da isimlendirilmektedir. Özellikle 1950'lerden sonra bu yatakların kullanımı giderek artmıştır. En çok kullanılan T/M kaymalı yataklar demir ve bronz içeriklidir. Bu yataklar daha çok, hızın küçük olduğu ve aşırı bir yağlama gerektirmeyen yerlerde tercih edilmektedir. % 15 – 35 gözenekliliğe sahip bu yataklara kolaylıkla yağ emdirilebilmektedir. Bu yatakların en büyük avantajları, yatak için gerekli olan yağlama için bünyelerinde bulunan bu gözeneklerin yağ deposu görevini üstlen-

meleridir. Yatak içinde mil dönmeye başladığı zaman, sürtünmeden dolayı sıcaklık artar ve metale göre yağın genleşme katsayısı büyük olduğundan, ayrıca yatak ile mil arasındaki yağ filminin hidrodinamik basınç değişikliği nedeniyle depo görevi yapan gözeneklerdeki yağ, gözeneklerden mile doğru emilir ve yağlama görevini yapar. Dönme işlemi durduğunda yatak soğur ve kılcılık etkisi ile yağ tekrar gözeneklere emilir. Yağ kalitesi en iyi çalışma ömrü ve yüklem kapasitesi için önemlidir. Bu yüzden gözenekli yataklarda kullanılan yağın yaşlanmaya karşı dayanıklı olması gerekmektedir[7-10]. Ekonomik, çevre ve hatta teknik sebeplerden dolayı kendi kendini yağlayan malzemelere eğilim artmaktadır. Bu yolla yağ ve gres gibi yağlayıcıların kullanımı azalmakta ve bu sayede makine konstrüksiyonları sadeleşmektedir[9,11].

Elektrik motorlarında kullanılan T/M esaslı yataklardaki sürtünmeye manyetik alanın etkisi ile ilgili literatürde çalışmalar yok denecek kadar sınırlı sayıdadır. Çalışmaların manyetik alanın ve / veya elektrik akımının yatak hasarları üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Bu nedenle elektrik motorlarında kullanılan yataklara manyetik alan etkisi ile ilgili ulaşılabilen kısıtlı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Elektrik motorlarında motor milini hareket ettirebilmek için mıknatıslarla veya sargılara elektrik akımı verilerek dönme hareketi elde edilmektedir. N kutbundan S kutbuna doğru oluşan döner manyetik alandan faydalanarak dönme hareketi sağlanmaktadır. Ancak sağlanan bu dönme hareketine ters bir yönde manyetik alanın etki etmesi sonucunda, motora karşı bir moment meydana gelebilme olasılığı mümkündür. Bunun sonucunda da motor gücünde bir kayıp gözlemlenebilmektedir. Karşıt momentin motor içinde değil de dışında gözlemlenmesi durumunda ise yataklarda karşıt kuvvet ile titreşim ve buna bağlı olarak da zamanla aşınmalar meydana gelebilmektedir[12].

Mil etrafındaki dengesiz manyetik alan, söz konusu milin mıknaştırılmasına neden olabilmektedir. Bu mil akıları, imalat sürecindeki toleranslardan dolayı maki-nelerin elektriksel ve manyetik devrelerindeki asimet-riler nedeniyle bu durum tüm elektrikli makinelerde bulunmaktadır. Elektrikli makinedeki milin etrafına bir bobin sarılırsa, bu akılar Faraday Yasası gereğince voltaj oluşturmaktadır. Manyetik akılar, milden yatağa, makine gövdesinden mili destekleyen diğer yatağa geç-mektedir. Dolayısıyla, bu akılar, mil dönerken yatak yüzeyini keserek, milin muylu uzunluğu boyunca bir potansiyel oluşturabilmektedir. Böylece bölgesel bir yatak akımı oluşmaktadır. Bu akım, bir uçtaki şaftın muylusundaki yatak yüzeyinde oluşturulan yağ filmi boyunca iletilir ve mile geri döner ve aynı muyludaki diğer uca tekrar geri geçiş yapar. Yatağın yuva ile yalı-tımı pratikte çok az uygulanmaktadır. Bu durum akı yolunun manyetik isteksizliğinin artmasına rağmen, yatak içindeki bölgesel akımı durdurmamaktadır[13].

Sohre ve Nippes 0,3 mT akım yoğunluğuna sahip bir milin, bölgesel yatak akımının zarar vermeden tatmin edici biçimde çalışacağını belirtmektedir. Bu nedenle yüksek hızlı turbo makinelerde bu düzeyde akı yoğunluğu önerilmektedir. Mil çevresel hızı makinenin kapasitesi büyüklüğüne bağlı olarak arttıkça bölgesel yatak akımına neden olan indüklenmiş voltajın artacağı belirtilmektedir[14]. Sohre ve Nippes tarafından önerilen akı yoğunluğunun kabul edilebilir seviyesine yakın bir seviye de Costello tarafından yapılan bir diğer çalış-mada 0,2 mT olarak belirtilmektedir[13].

Doğru akım motorlarında kendi kendine yağlanan metal yataklar ya da küresel yuvarlanma elemanlı yataklar kullanılmaktadır. Yataklarda meydana gelen aşınmalar ve sürtünmeler, akımın yön değiştirmesi olayı olarak bilinen komütasyonun bozulmasına ve arızalara yol açabilmektedir[15].

Kadıoğlu [16] yapmış olduğu yüksek lisans tez çalış-masında; sabit küresel yuvarlanma elemanlı yataklarda farklı yük ve hızlarda manyetik alansız ve üç farklı manyetik alan şiddetine maruz bırakarak testler yapmıştır. Manyetik alanın sürtünme katsayısına etkisinin olduğu, bu etkinin bazı deney şartlarında sürtünme katsayısını düşürücü, bazı deney şartlarında ise artırıcı yönde olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca söz konusu bu çalışmadaki küresel yuvarlanma elemanlı yataklı elektrik motorlarındaki manyetik alan ile ilgili çalışmalar özetlemek gerekirse; elektrik motorları ve jeneratörler yuvarlanma elemanlı yataklar üzerinden akım geçişinin elektrostatik, manyetik akı asimetrisi ve yüksek frekanslı elektrik akımları olduğu, imalat zorluklarından dolayı mükemmel simetriğe sahip bir elektromanyetik bir akım oluşturmanın imkânsız olduğu, asimetrik manyetik akı yatak boyunca bir elektrik akımı oluşturabileceği, izolasyonla bu olumsuz etki en düşük seviyeye indirilebileceği[17], Prashad[18] elektrik motorlarında kullanılan yuvarlanma elemanlı yatak yüzeylerindeki hasarın, manyetik akı yoğunluğu ölçümü, yatak ve mil arasındaki voltaj büyüklüğünün ölçümü ile belirlenebileceği, Djeddi vd. [19], elektrik

motorlarındaki hasarların erken teşhisi için elektriksel sinyal proses araçlarını kullanılabileceği, Singh vd. [20], elektrik motorlarındaki yuvarlanma elemanlı yatak hasarlarına manyetik alandaki endüktans değişiminden kaynaklanan düzensiz yüklerin sebep olduğu, Prashad[21] tarafından elektrik akımının etkisi altında iç bilezik, dış bilezik ve yuvarlanma elemanlarındaki yüzey aşınma izlerine, manyetik akı yoğunluğunun etkisinin iç bilezikte daha fazla olduğu, Uysal[22] tarafından tek sıra sabit küresel yuvarlanma elemanlı yatak-larda sürtünme kaybında yuvarlanma elemanı ile bile-zikler arasındaki çalışma boşluğunun çok fazla etki etti-ği de belirtilmektedir[16].

Tunay ve Durak tarafından yapılan çalışmada, sabit manyetik alana maruz kalan T/M bronz esaslı yatak numunelerinde manyetik alan etkisi ile sürtünme katsayılarında artış olduğu belirtilmektedir. Ayrıca aşınma miktarı her ne kadar genelde sürtünme katsayısının artmasıyla aşınma miktarının arttığı görülse de, manyetik alanın hem aşınma miktarı hem de deney süresince sıcaklık değişimi üzerine etkilerinin de ifade edilebilmesi için daha fazla sayıda deney yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır[9].

Radu, elektrik motorlarındaki oluşan kaçak manyetik alanların hem alternatif akım hem de doğru akım motorlarındaki yataklarda hasarlar oluşturabilecek büyüklükte bir elektrik akımı üretebileceğini belirtmektedir. Bu sorunları ortadan kaldırmak için ise elektrik motorunda topraklama fırçaları kullanılması gerektiği vurgulanmıştır[23].

Makine sistemlerinin dinamik davranışları büyük önem taşıdığı, makinelerin dinamik davranışlarının belirlenmesinde titreşim karakteristiklerinin çok önemli olduğu bilinmektedir[24]. Yeterli sıkma momenti ile sıkılmamış ve bunun neticesinde çalışma sırasında gevşemiş vida bağlantıları, uygun olmayan gövde, bağlantı yeri hataları, uygun olmayan montaj, hareketli yüzeyler arasında gereğinden fazla boşluk bırakılması gibi nedenler elektrik motorlarında mekanik gevşemelere neden olmakta, bunlarda titreşim ve aşınmanın artmasına yol açabilmektedir[25]. Sistemdeki titreşimlerin nispeten azaltılması makine parçalarında uygun malzeme kullanılması, uygun ısı işlem uygulanması, uygun yatak boşluğu, sönümlü yatak kullanmak ile mümkün olduğu yapılan mil yatak çalışmalarında belirtilmektedir[24, 26-28].

Aleutdinova vd., metal malzemelerin yağsız durumda kayma hareketi sırasındaki yüzeylerde temas bölgesinde 100 A/cm<sup>2</sup>den daha yüksek bir akım geçişi gerçek-leştiği belirtilmiştir. Bu parametrelerinin; malzemenin başlangıçtaki yapısına göre faz sayısı ve alaşım atomunun miktarının arttırılmasından dolayı sürtünme yüzeylerinin aşınmasına neden olduğu gösterilmiştir[29].

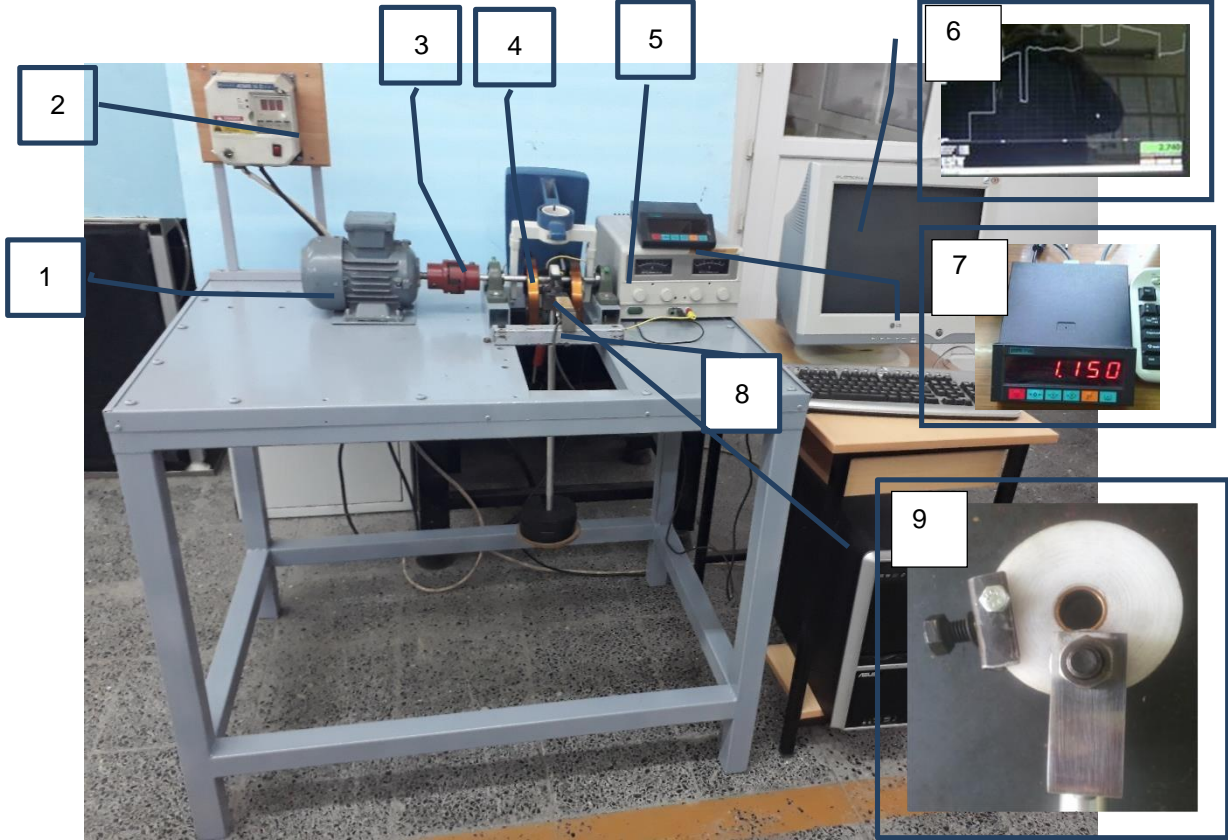
Bu çalışmada[12] elektrik motoru ile tahrik edilen mile montaj edilen kendinden yağlamalı T/M esaslı bronz radyal kaymalı yatağa oluşan sürtünme katsayısına manyetik alanın etkisi incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1 Deneysel Seti (Test Rig)

Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Triboloji Laboratuvarı'nda bulunan deneysel seti, manyetik alan uygulayabilmek için bu çalışma kapsamında tekrar modifiye edilmiştir (Şekil 2) [12]. Söz

konusu deneysel düzeneği için şiddeti ayarlanabilir manyetik alan üreteçlerinden yararlanılmıştır. Deneysel Düzeneği ile seçilecek test yataklarında oluşan sürtünme kuvveti, aşınma, yorulma ömrü, en uygun yağlama şartları veya yatak malzemelerinin tribolojik özellikleri ve performanslarının farklı yük, hız gibi farklı çalışma şartlarında deneysel düzeneğine (Şekil 2) ilave yapılarak testler yapılabilecek özelliklere sahiptir.



1-Elektrik motoru 2-Hız değıştirici 3-Kavrama 4-Bobinler 5-Besleme Ünitesi  
6-Örnek test sonucu 7-İndikatör 8-Yük Hücresi 9-Test yatağı 10-Yük

Şekil 2. Deneysel Seti ve detay görünümleri (test set and detail view)

Deneysel düzeneğinde elektrik motorunun mili kauçuk ara malzemeli elastik kavrama yardımıyla test yatağının bulunduğu mile bağlanmaktadır. Böylece elektrik motorunda oluşacak titreşimlerden test yatağının etkilenmesi en aza indirilmiştir. Sistemde tahrik elemanı olarak 1380 d/d, 220/380 V 1,5 - 0,87 A ve 50 Hz tek-nik özelliklere sahip alternatif akımlı elektrik motoru kullanılmıştır. Frekans değıştirici ile elektrik motorundan farklı devir sayıları elde etmek mümkün olmaktadır.

### 2.2. Test Yatağı ve Test Mili (Test specimen bearing and test shaft)

Deneysel setten piyasadan hazır olarak temin edilen T/M esaslı kendinden yağlamalı bronz test yatağının iç çapı 13 mm, dış çapı 20 mm ve genişliği 10,5 mm'dir. Yatak numunelerinin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri yaklaşık  $Ra = 0,80-0,95 \mu\text{m}$ 'dir. Test yataklarının yerleştirildiği gövde, manyetik alanın etkisini daha iyi fark edebilmek için metalik olmayan teflon malzemeden

üretilmiştir. Böylece yatak gövdesi ile sürtünme ölçüm ünitesi (yük hücresi) arasında herhangi bir metalik bağ söz konusu değildir.

Deneysel düzeneğindeki test yatağını taşıyan mil malzemesi SAE 1050 çelik olup çapı 12,5 mm'dir. Mil test yatağının sağında ve solunda olmak üzere iki adet küresel oynak destek yatağı ile desteklenmiştir. Mil yüzeyleri taşlanmış olup ortalama yüzey pürüzlülüğü  $Ra=0.25 - 0.30 \mu\text{m}$ , yüzey sertliği ise yaklaşık 55 HRC'dir.

### 2.3 Deneysel Çalışma Parametreleri (Experimental testing parameters)

Bu çalışmada modifiye edilen deneysel düzeneği ile kendinden yağlamalı T/M esaslı bronz radyal kaymalı yatakların sürtünme katsayısı, aşınma gibi tribolojik özelliklerinin deneysel incelenmesi mümkündür. Çalışma kapsamında testler  $F_1=15 \text{ N}$ ,  $F_2=40 \text{ N}$ ,  $F_3=65 \text{ N}$  sabit yüklerde; 100, 200, 400, 800, 1200 d/d mil dönme

hızlarında yapılmıştır. Yatak numuneleri hem manyetik alana maruz bırakılmadan hem de çalışmanın özgünlüğünü oluşturan 2.5, 5 ve 7.5 mT (miliTesla) şiddetindeki manyetik alana maruz bırakılarak testler yapılmıştır[12]. Ülkemizde yerli elektrik motor üreticileriyle yapılan görüşmelerde özellikle küçük güçteki elektrik motorları için mil kesitindeki tipik akı yoğunluğu olarak 0.1– 0.2 T, yatakların etrafında ise 5–10 mT olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle çalışmada laboratuvar şartları da dikkate alınarak 2.5, 5 ve 7.5 mT manyetik alan büyüklükleri seçilmiştir.

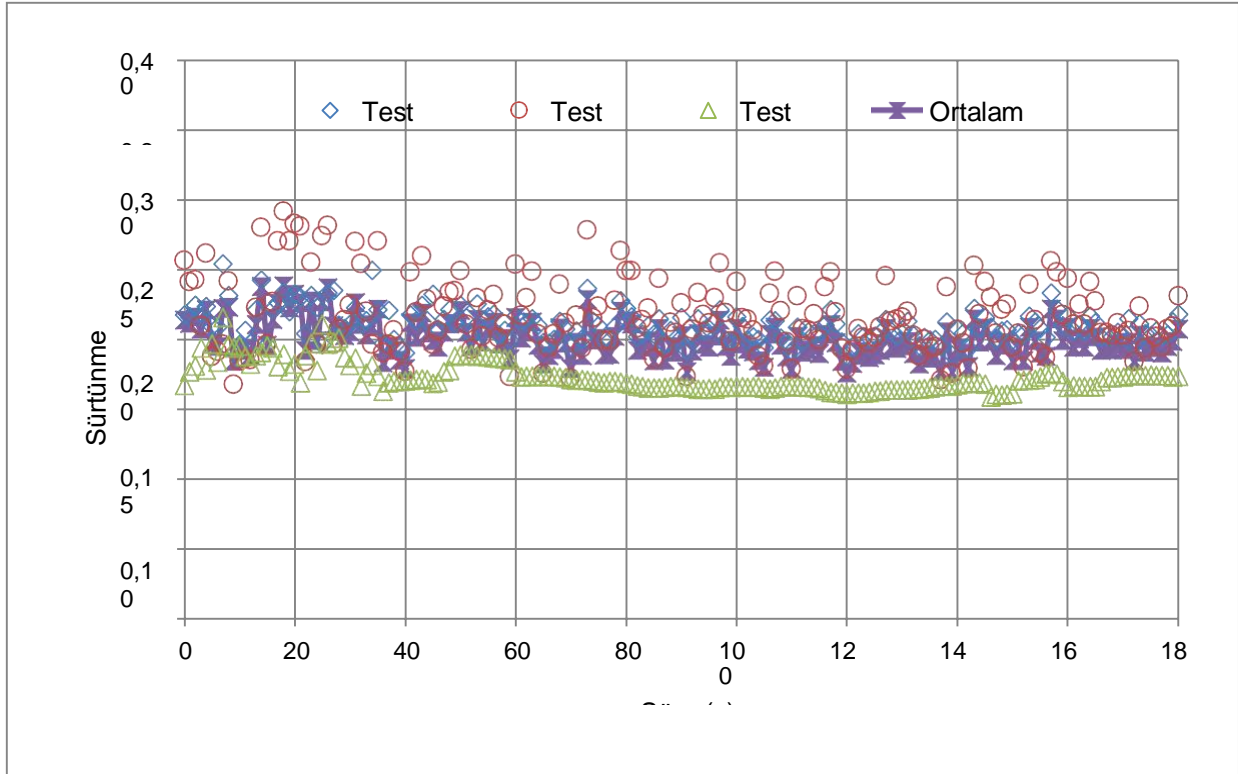
### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

Sürtünme katsayısı ölçümü için yapılan deneylerin süresi 180 saniye olarak seçilmiştir. Deneylerde hata payının en aza indirgenmesi için deneyler üç defa tekrarlanarak elde edilen sürtünme katsayıları sonuçların ortalaması alınmıştır. Örnek olarak Şekil 3'te manyetik alana maruz kalmayan 100 d/d hız ve 40 N yük uygulanan testlerde elde edilen sürtünme katsayıları sonuçları ve ortalama sürtünme katsayısı değişimi grafik halinde sunulmuştur. Ortalama sürtünme katsayıları değişiminin her bir deney şartı için ayrı ayrı tekrar aritmetik ortalaması alınmış ve tek bir ortalama sürtünme katsayısına ( $\mu_{ort}$ )

dönüştürülmüştür. Şekil 3'te gösterilen örnek testlerden elde edilen  $\mu_{ort}$  değeri 0.199 olarak hesaplanmıştır. Tüm deney sonuçları örnek test sonuçlarındaki aynı işlemler tekrarlanarak elde edilen  $\mu_{ort}$  ortalama sürtünme katsayıları grafik halinde Şekil 4-11'de verilmektedir.

Elektriksel olaylar çevredeki canlıları ve cansızları (örneğin; elektriksel cihazları) etkilemektedir. Elektriksel alanlar; elektrik alanı, manyetik alan ve elektromanyetik alan olarak gruplandırılmak mümkündür. Bu elektriksel alanlar; elektrik enerjisi üretildiğinde, enerji iletim hatlarından veya kablolardan veya havadan gönderildiğinde veya dağıtıldığında veya elektriksel aletlerde kullanıldığında oluşmaktadır. Elektrik enerjisinin kullanımı; modern yaşantımızın bir parçası olduğundan, bu alanlar çevremizde her yerde vardır. Bu elektriksel alanların frekans aralığı 0-300 GHz'dir[30].

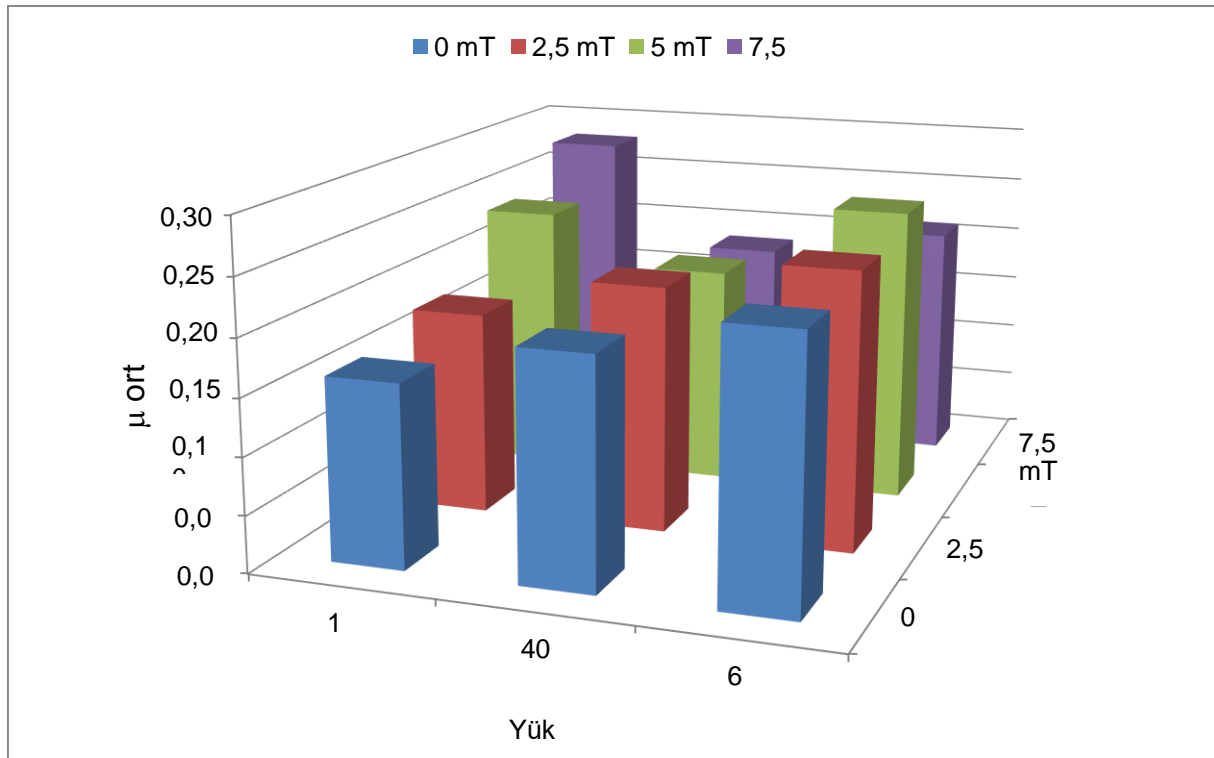
Şekil 4-11'deki sürtünme katsayıları ölçümlerindeki dalgalanmanın nedenleri olarak mekanik etkiler, yatak, mil aşınma partikülleri olabileceği gibi manyetik alandaki frekansındaki değişimi de gösterilebileceği düşünülmektedir. Manyetik alan şiddeti arttıkça deney süresince sürtünme katsayılarının değişiminde daha fazla dalgalanmalar olduğu grafiklerde görülmektedir (Şekil 4-8). Bu değişimlere yukarıda bahsedilen faktörlerin de sebep olabileceği düşünülmektedir.



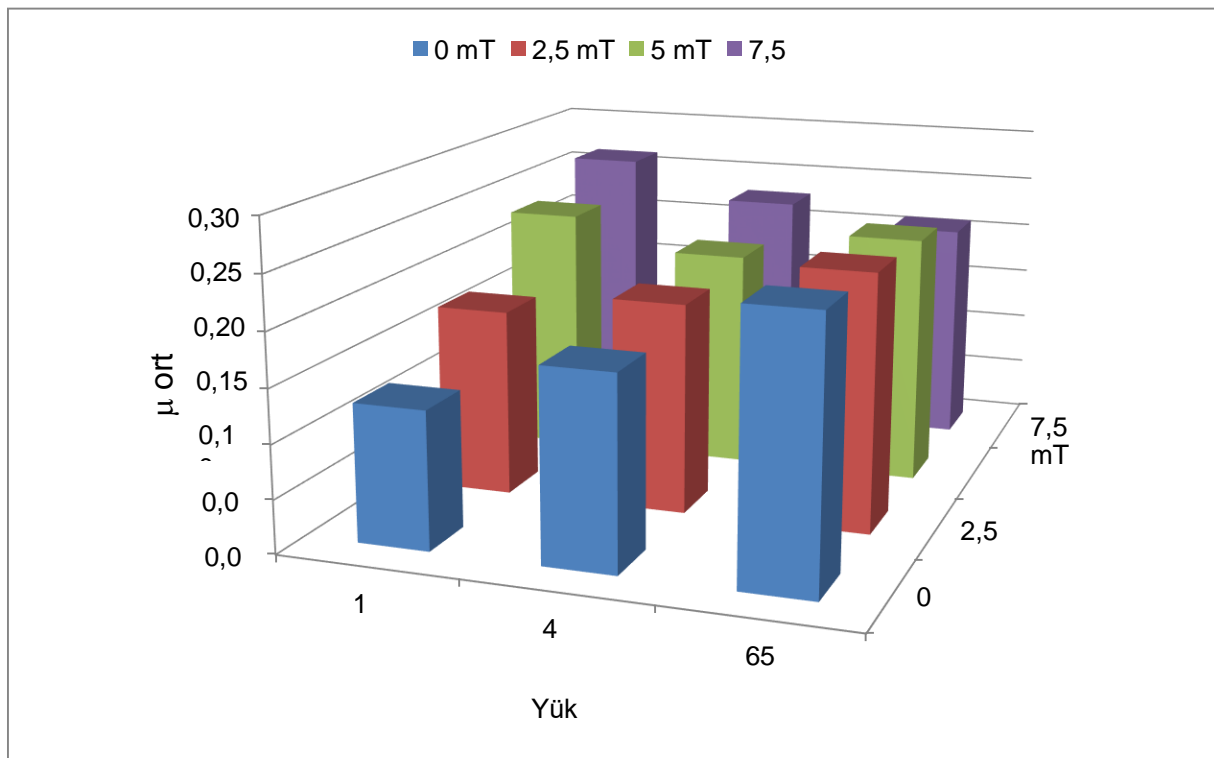
Şekil 3. Örnek testlerdeki sürtünme katsayısı değişimleri (variation of the friction coefficient sample test results and averaged friction coefficient)

$\mu_{ort}$ 'nın yükde değişimini görebilmek için 100 d/d için Şekil 4, 200 d/d için Şekil 5, 400 d/d için Şekil 6, 800 d/d

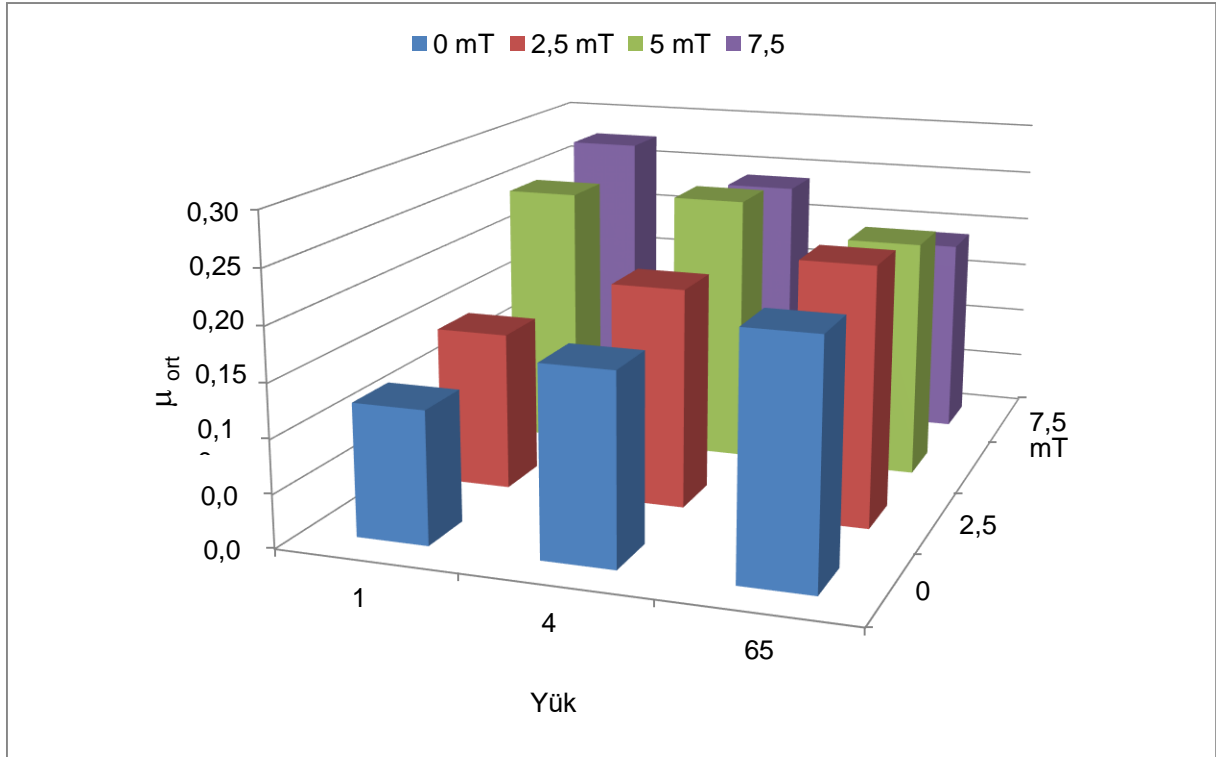
için Şekil 7 ve 1200 d/d hız için ise Şekil 8'de verilmiştir.



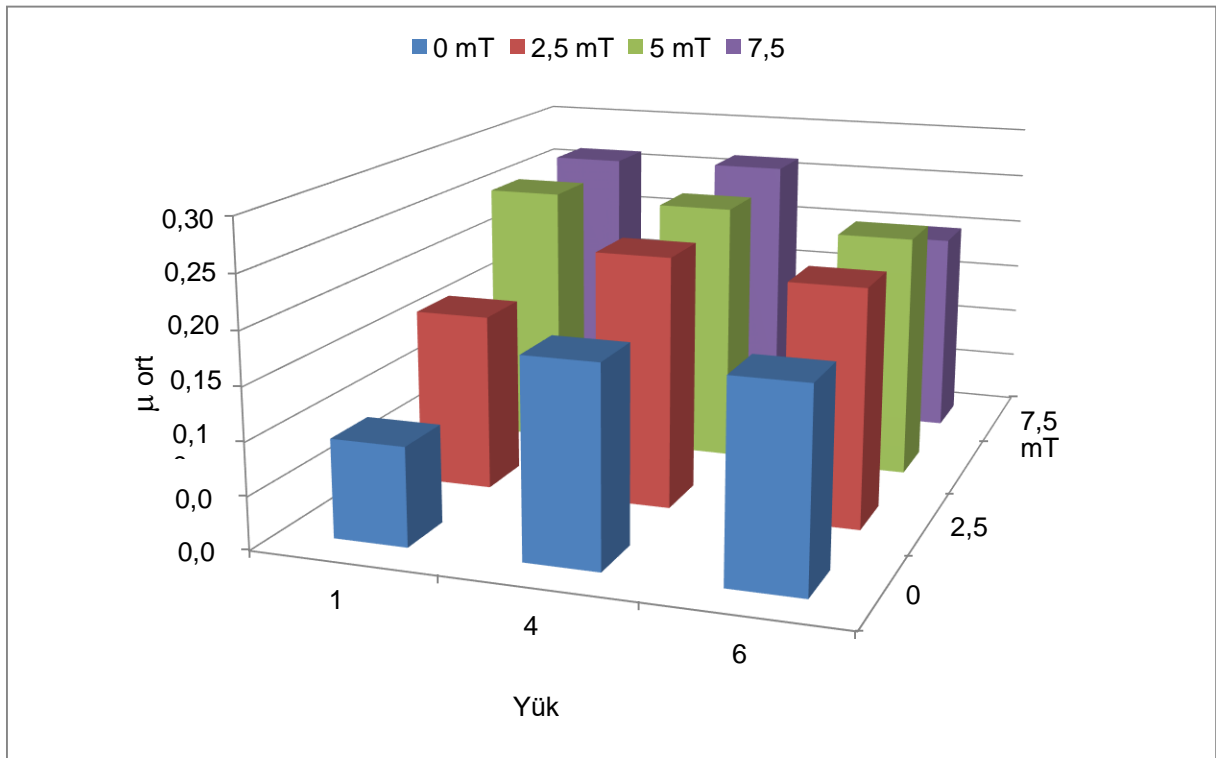
Şekil 4. 100 d/d hızdaki  $\mu_{ort}$  değerleri ( values of the  $\mu_{ave}$  at 100 rpm)



Şekil 5. 200 d/d hızdaki  $\mu_{ort}$  değerleri ( values of the  $\mu_{ave}$  at 200 rpm)

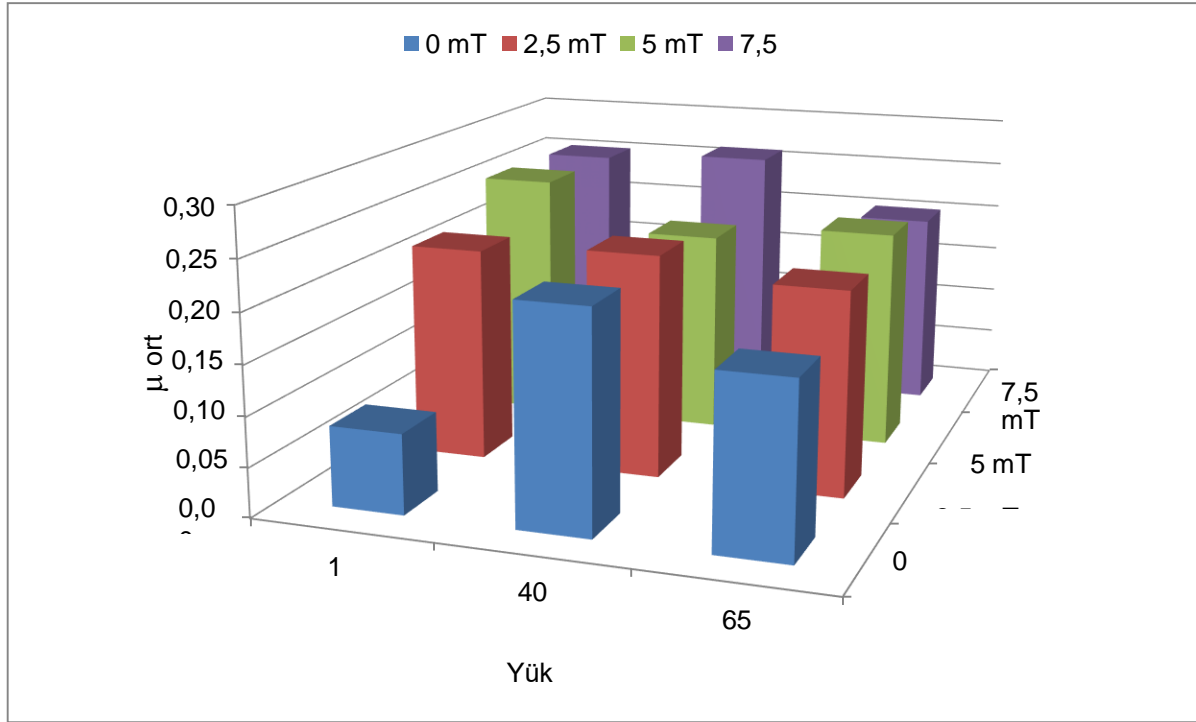


Şekil 6. 400 d/d hızdaki  $\mu_{ort}$  değerleri ( values of the  $\mu_{ave}$  at 400 rpm)



Şekil 7. 800 d/d hızdaki  $\mu_{ort}$  değerleri ( values of the  $\mu_{ave}$  at 800 rpm)





Şekil 8. 1200 d/d hızdaki  $\mu_{ort}$  değerleri ( values of the  $\mu_{ave}$  at 1200 rpm)

100 d/d hızda manyetik alan uygulanmayan ve 2.5 mT manyetik alan uygulanan testlerde yükün artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde bir artış olurken, 5 mT uygulanan testlerde önce bir düşüş, sonra tekrar bir artış görülmektedir. 7.5 mT deneylerinde yükün artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde önemli bir düşüş, sonra ise daha az miktarda bir artış sergilemiştir (Şekil 4).

200 d/d hızda manyetik alan uygulanmayan ve 2.5 mT manyetik alan uygulanan deneylerinde deney yükünün artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde bir artış olduğu rahatlıkla görülmektedir. 5 mT deneylerinde ise önce düşüş, sonra ise daha az bir miktarda artış sergilemiştir. 7.5 mT deneylerinde ise yükün artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde düşüş olduğu rahatlıkla görülmektedir (Şekil 5).

400 d/d hızda manyetik alan uygulanmayan ve 2.5 mT deneylerinde yük artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde bir artış olduğu rahatlıkla görülmektedir. 5 ve 7,5 mT 400 d/d hızda ise yükün artması  $\mu_{ort}$  değerinde bir düşüş olduğu rahatlıkla görülmektedir. 7.5 mT ise yükün artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde belirgin bir düşüş sergilemiştir (Şekil 6).

800 d/d hızda manyetik alan uygulanmayan ve 2.5 mT hızda deneylerde yük artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde önce bir artış, sonra çok fazla değişmediği görülmektedir. 5 mT ise yükün artması ile çok fazla değişim sergilememiştir. 7.5 mT ise yükün artması ile önce az bir artış, sonra belirgin bir düşüş sergilemiştir (Şekil 7).

1200 d/d hızda manyetik alan uygulanmayan deneylerde yük artması  $\mu_{ort}$  değerinde önce çok büyük bir artış, sonra bir düşüş (ancak ilk yüke göre yine yüksek bir değer) olduğu rahatlıkla görülmektedir. 2.5 mT yükün artması ile çok fazla değişim sergilememiştir. 5 mT ise yükün artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde önce belirgin bir düşüş, sonra

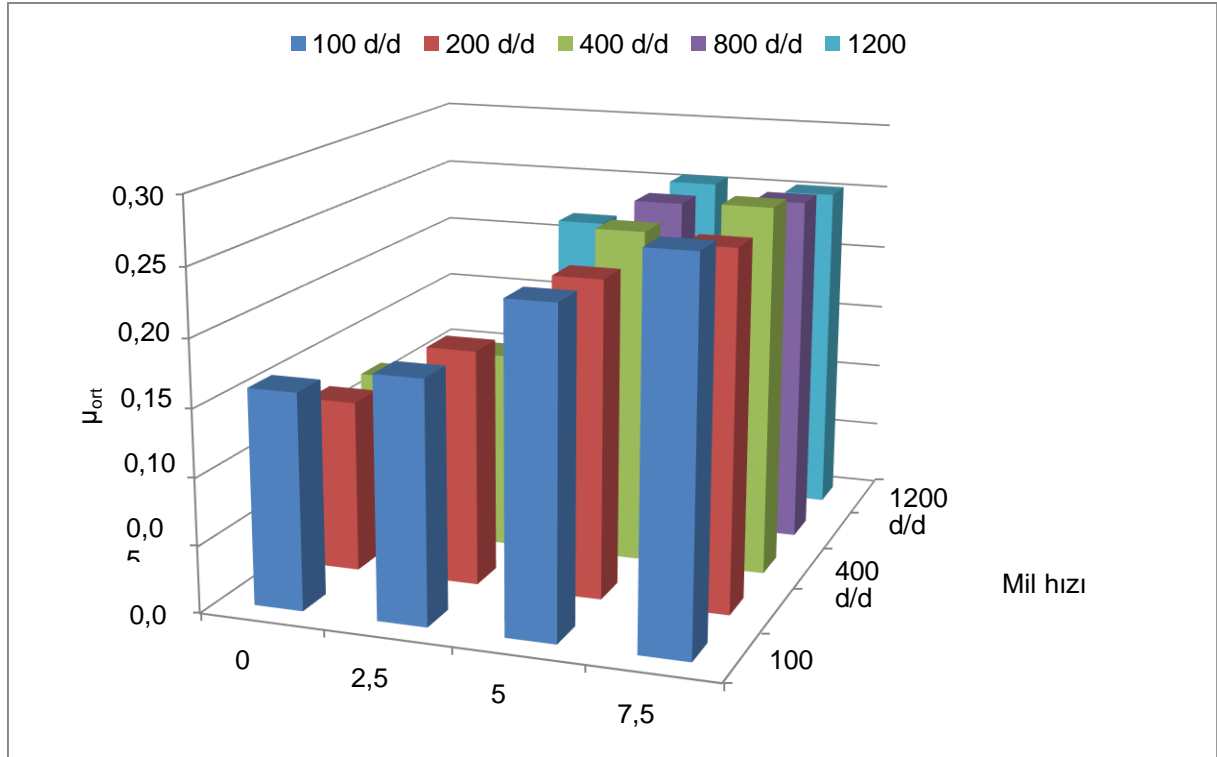
daha az bir artış sergilemiştir. 7.5 mT ise yükün artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde önce fazla bir değişim göstermezken, sonra belirgin bir düşüş sergilemiştir (Şekil 8).

En düşük yük olan 15 N'de özellikle manyetik alan uygulanmayan deneylerde hızın artması ile  $\mu_{ort}$  da düşüş gerçekleştiği görülürken manyetik alan uygulanan deneylerde ise  $\mu_{ort}$  değerinin tüm mil hızlarında belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir (Şekil 9). 15 N yükte en büyük  $\mu_{ort}$  değerleri 5 mT ve 7.5 mT testlerde elde edildiği rahatlıkla test sonucu grafiklerinde görülmektedir (Şekil 9).

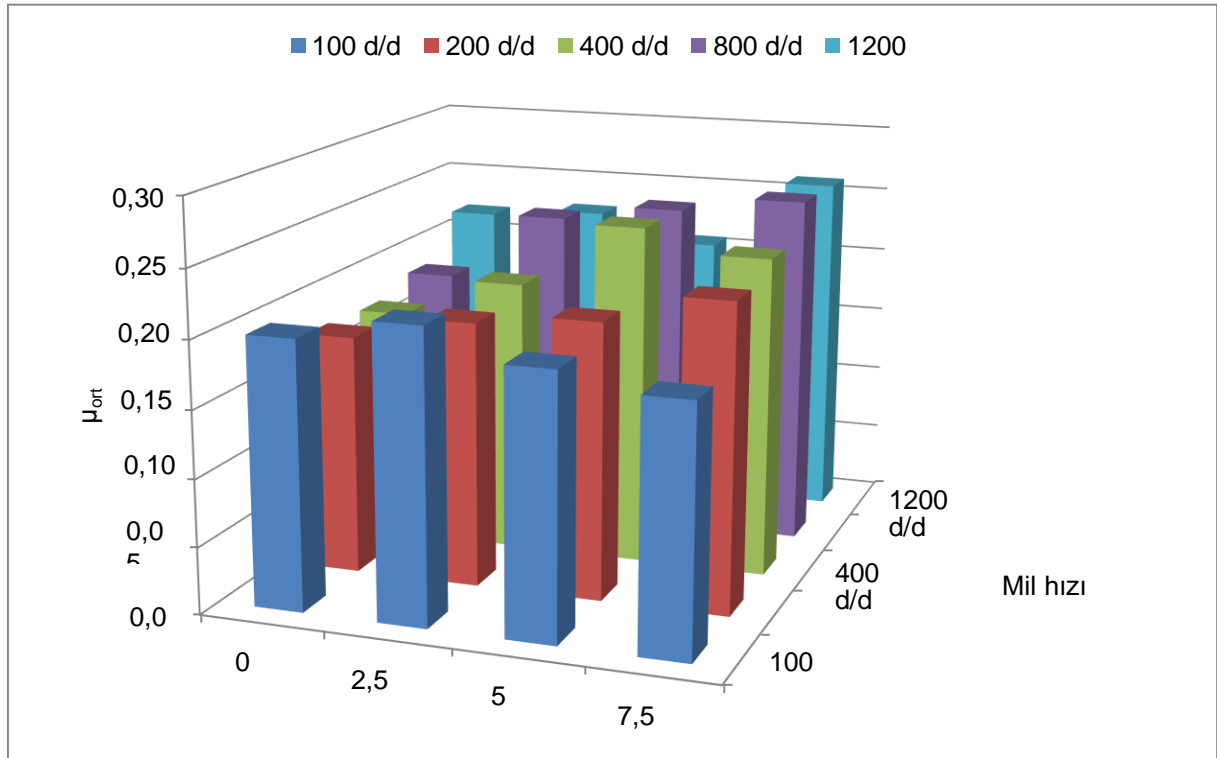
Ayrıca  $\mu_{ort}$  mil hızıyla değişimini daha iyi görebilmek için  $\mu_{ort}$   $F_1=15$  N için Şekil 9,  $F_2=40$  N için Şekil 10 ve  $F_3=65$  N için ise Şekil 11'de verilmiştir.

40 N yükte, manyetik alan uygulanmayan testlerde  $\mu_{ort}$  önce hafif bir düşüş göstermiştir. Daha sonra ise tekrar az bir artış sergilemiştir. 40 N yük için manyetik alan arttıkça  $\mu_{ort}$  değerinde farklı miktarlarda da olsa (bazı hızlarda düşüş de sergilemesine rağmen) genellikle arttığını söylemek mümkündür. 40 N yükte (Şekil 10) özellikle 200, 400 ve 800 d/d hızlardaki testlerde manyetik alan şiddeti artması ile  $\mu_{ort}$  değerlerinde artışlar gözlenmiştir.

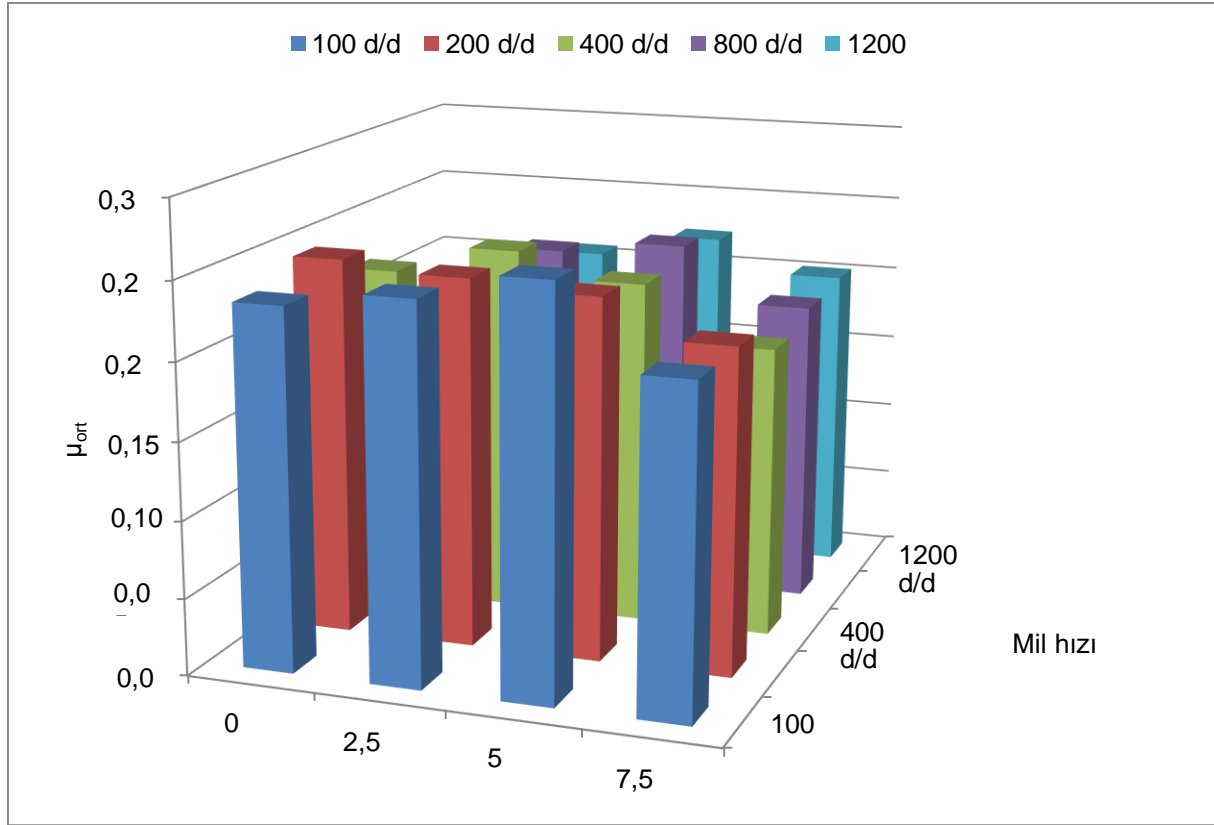
65 N yükte manyetik alan uygulanmayan ve manyetik alan uygulanan deneylerde hızın artması ile  $\mu_{ort}$  hafif de olsa bir düşüş gözlenmiştir. Düşük hızlarda 2.5 ve 5 mT (100 ve 200 d/d) manyetik alansız testlerdeki  $\mu_{ort}$  değerine yakın değerler elde edilirken, 7.5 mT testinde ise daha düşük değerler elde edilmiştir. 800 ve 1200 d/d hızlarda ise manyetik alan uygulanan deneylerin tümünde manyetik alan uygulanmayan deneylerdekine göre daha büyük  $\mu_{ort}$  değeri sergilemiştir (Şekil 11).



Şekil 9. 15 N yükteki  $\mu_{ort}$  değerleri ( values of the  $\mu_{ave}$  at 15 N load)



Şekil 10. 40 N yükteki  $\mu_{ort}$  değerleri ( values of the  $\mu_{ave}$  at 40 N load)



Şekil 11. 65 N yükteki  $\mu_{ort}$  değerleri ( values of the  $\mu_{ave}$  at 65 N load)

Çalışmada elde edilen  $\mu_{ort}$  değerleri genel olarak değerlendirildiğinde, test yataklarında sıvı yağ beslemeli olmadığından, T/M esaslı kendinden yağlamalı ve de-ney süresinin de çok kısa olduğu için sıvı filmlili yağlama bölgesine göre büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Bu da yataklarda oluşan yağlama rejimi olarak sınır yağlama ve/veya karışık yağlama olduğunun bir göstergesidir[31-34].

Kendinden yağlamalı sinter yatakların çalıştırılması için sınırlayıcı koşullar olarak PV faktörü tanımlanmaktadır. P, birim yatak yüzeyine uygulanan yük (MPa), V ise milin çevresel hızıdır(m/s). Bu tip yataklar için tavsiye edilen PV değeri 1.75 MPa m/s'dir[35]. Sunulan çalışmadaki PV değerleri ise Çizelge 1.'de verilmektedir. Çizelge 1.'deki değerler incelendiğinde kendinden yağlamalı sinter yataklar için tavsiye edilen değerlerden daha küçük olduğu rahatlıkla görülmektedir.

Çizelge 1. Testlerde Seçilen PV Değerleri (PV values selected in tests)

Test	PV	Test	PV	Test	PV
F <sub>1</sub> V <sub>1</sub>	0.007	F <sub>2</sub> V <sub>1</sub>	0.020	F <sub>3</sub> V <sub>1</sub>	0.032
F <sub>1</sub> V <sub>2</sub>	0.015	F <sub>2</sub> V <sub>2</sub>	0.040	F <sub>3</sub> V <sub>2</sub>	0.065
F <sub>1</sub> V <sub>3</sub>	0.030	F <sub>2</sub> V <sub>3</sub>	0.080	F <sub>3</sub> V <sub>3</sub>	0.130
F <sub>1</sub> V <sub>4</sub>	0.060	F <sub>2</sub> V <sub>4</sub>	0.159	F <sub>3</sub> V <sub>4</sub>	0.259
F <sub>1</sub> V <sub>5</sub>	0.090	F <sub>2</sub> V <sub>5</sub>	0.239	F <sub>3</sub> V <sub>5</sub>	0.389

Testlerde seçilen yatak büyüklüğü, yük ve hıza göre hesaplanan PV değerlerine göre deneylerde elde edilen  $\mu_{ort}$  değerlerinin değişimi Şekil 12-14'te verilmektedir.

F<sub>1</sub>=15 N yükte artan PV değeri ile manyetik alan uygulanmayan testlerde  $\mu_{ort}$  değerinde bir düşüş gözlemlenirken, 2.5 mT testlerinde bir artış, 5 mT ve 7.5 mT testlerinde çok fazla bir değişim olmamakla beraber hem düşüş hem de artışlar sergilemektedir(Şekil 12).

F<sub>2</sub>=40 N yükte artan PV değeri ile  $\mu_{ort}$  değerinde manyetik alan uygulanmayan testlerde ise önce bir düşüş, sonra bir artış göstermektedir. 2.5 mT testlerinde bir önce artış, sonra ise bir düşüş sergilemiştir. 5 mT testlerinde bir artış sonra tekrar bir düşüş sergileyerek ilk PV değerine yakın bir  $\mu_{ort}$  değeri sergilemiştir. 7.5 mT testlerinde  $\mu_{ort}$  değerinde önce bir artış sonra az da olsa bu artışı sürdüren bir değişim sergilemiştir(Şekil 13).

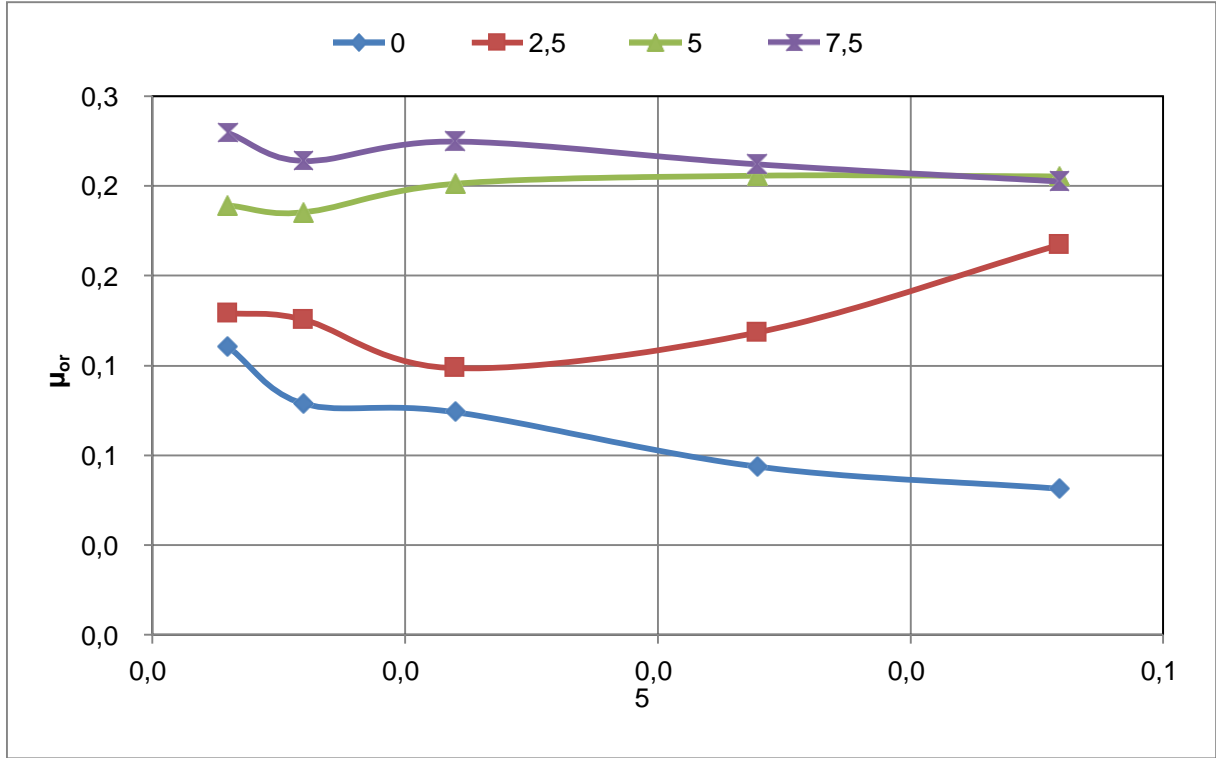
F<sub>3</sub>=65 N yükte artan PV değeri ile  $\mu_{ort}$  değerinde manyetik alan uygulanmayan, 2.5 mT ve 5 mT testlerinde az da olsa bir düşüş sergilerken, 7.5 mT testlerinde ise çok fazla bir değişim sergilememiştir(Şekil 14).

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER (CONCLUSIONS and SUGGESTIONS)

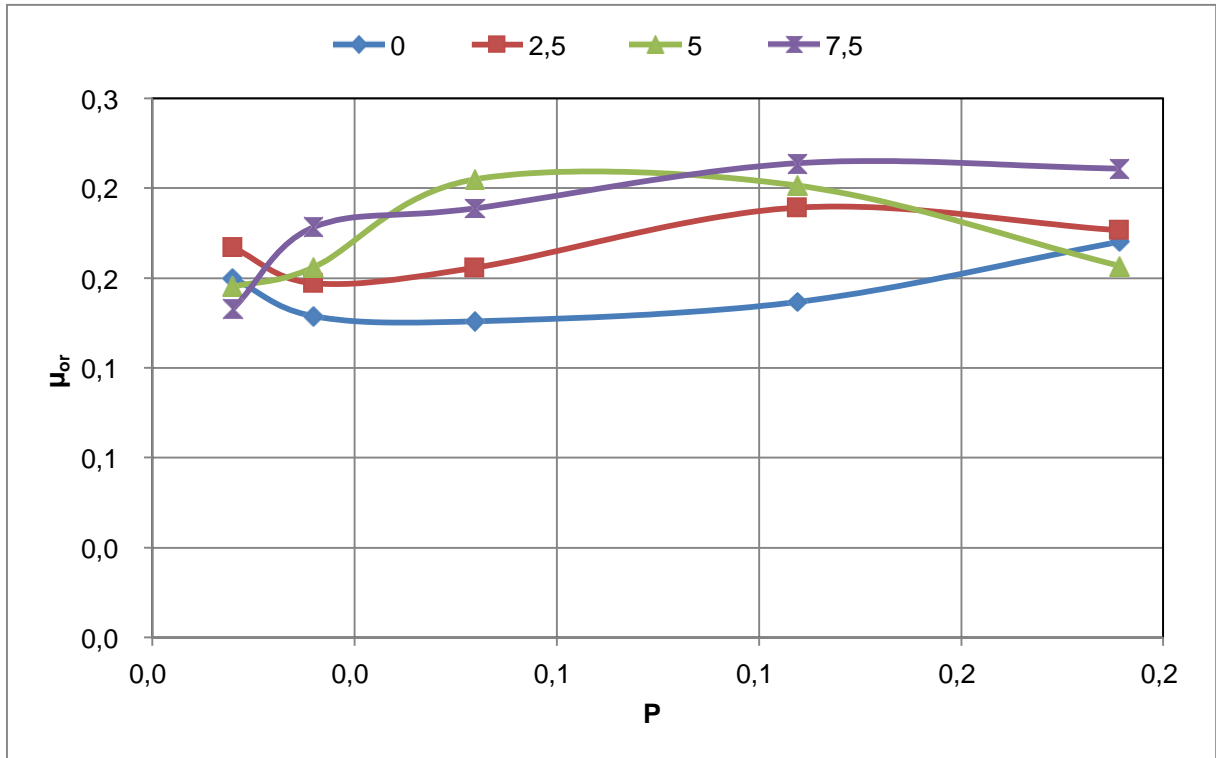
Çalışmada test yatağı olarak özellikle düşük güçteki elektrik motorlarında yaygın olarak kullanılan, çalışma sırasında ilave yağlama gerektirmeyen kendinden yağlamalı T/M esaslı bronz esaslı radyal kaymalı yataklar tercih edilmiştir. Test yükü olarak F<sub>1</sub>=15 N,

$F_2=40\text{ N}$  ve  $F_3=65\text{ N}$  sabit yükler seçilmiştir. Test mili hızı olarak ise 100, 200, 400, 800 ve 1200 d/d hızları

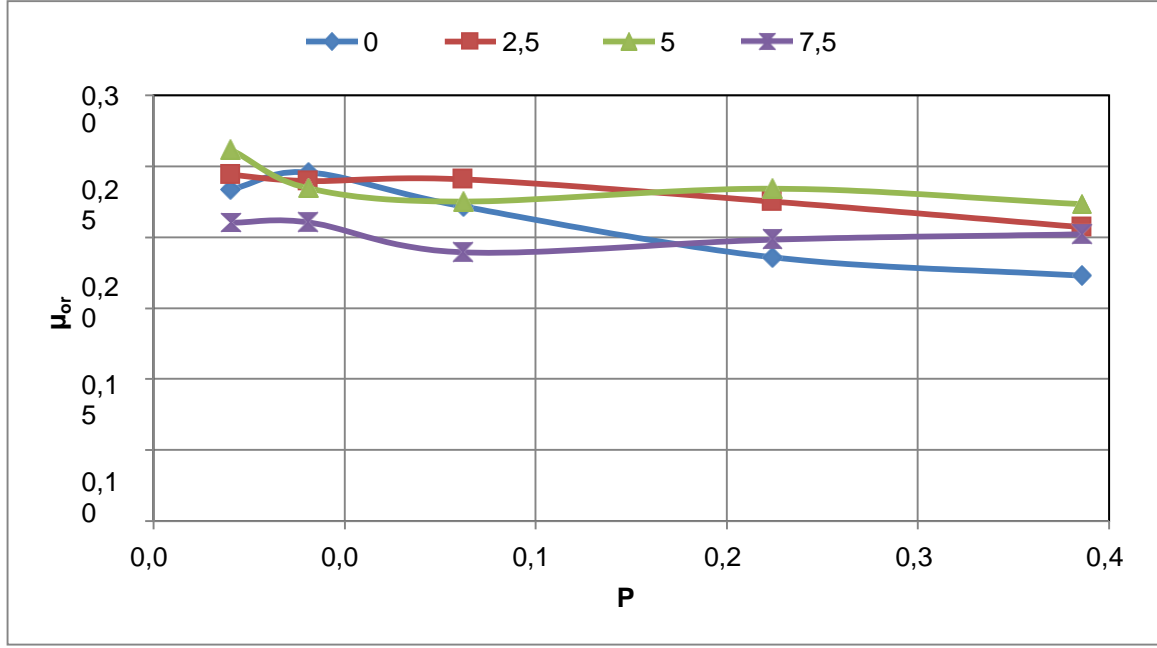
seçilmiştir. Testlerde uygulanacak olan manyetik alan şiddet değeri olarak ise 2.5 - 5 ve 7.5 mT seçilmiştir.



Şekil 12. 15 N yükteki  $\mu_{ort}$ 'un PV ile değişimi (variation of values of the  $\mu_{ave}$  with PV at 15 N load)



Şekil 13. 40 N yükteki  $\mu_{ort}$ 'un PV ile değişimi (variation of values of the  $\mu_{ave}$  with PV at 40 N load)



Şekil 14. 65 N yükteki  $\mu_{ort}$ 'un PV ile değişimi (variation of values of the  $\mu_{ave}$  with PV at 65 N load)

Çalışmada elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri genel olarak değerlendirildiğinde, test yatakları sıvı yağ beslemeli olmadığı, T/M esaslı kendinden yağlamalı olduğu ve deney süresinin de çok kısa olduğu için sıvı filmlili yağlama bölgesine göre daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Bu da yataklarda oluşan yağlama rejimi olarak sınır yağlama olduğu söylenebilir.

Kendinden yağlamalı sinter yatakların çalıştırılması için sınırlayıcı koşullar olarak tanımlanan PV faktörü [35] olan 1.75 MPa m/s olup çalışmada seçilen PV değerleri, T/M esaslı kendinden yağlamalı sinter yataklar için tavsiye edilen daha değerlerden küçük değerlerdedir.

Manyetik alana maruz bırakılmayan deneylerde sürtünme katsayısı değişimi yükün artması ile ortalama sürtünme katsayısında genel anlamda bir artış olduğu görülmektedir.

En düşük yük olan 15 N'da özellikle manyetik alan uygulanmayan deneylerde hızın artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde düşüş, manyetik alan arttıkça  $\mu_{ort}$  değerinin tüm mil hızlarında belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Ayrıca en düşük yük olan 15 N'da en büyük  $\mu_{ort}$  değerleri, 5 mT ve 7.5 mT testlerde elde edilmiştir. 40 N yükte, manyetik alan uygulanmayan testlerde  $\mu_{ort}$  önce hafif bir düşüş, sonra tekrar az bir artış sergilemiştir. 40 N yük için manyetik alan arttıkça  $\mu_{ort}$  değerinde farklı miktarlarda da olsa (bazı hızlarda bir miktar düşüş de sergilemesine rağmen) genellikle arttığını söylemek mümkündür. 65 N için manyetik alan uygulanmayan manyetik alan uygulanan deneylerde hızın artması ile  $\mu_{ort}$  değerinde hafif de olsa bir düşüş gözlenmiştir. Düşük hızlarda, 2.5 ve 5 mT (100 ve 200 d/d) manyetik alansız testindeki  $\mu_{ort}$  değerine yakın değerler elde edilirken, 7.5 mT testinde ise daha düşük değerler sergilemiştir. 800 ve 1200 d/d hızlarda ise manyetik alan

uygulanan deneylerin tümünde manyetik alan uygulanmayan deneylerdekine göre daha büyük  $\mu_{ort}$  değeri sergilemiştir.

Sonuç olarak genellikle bu çalışmada seçilen deney şartlarında manyetik alanın, T/M esaslı kendinden yağlamalı bronz yatakta oluşan ortalama sürtünme katsayısını arttırdığı söylenebilir. Bu değişime manyetik alan şiddetinin değeri, yatak yükü ve mil hızının etkisinin olduğunu da söylemek mümkündür.

Manyetik alanın uygulandığı deneylerde elde edilen  $\mu_{ort}$  değerinde artışa, kendinden yağlamalı yataklara ilave sıvı yağ beslemesi yapılmadığından, yeterli bir yağ filminin oluşmadığı, çoğunlukla sınır yağ filminin oluştuğu, manyetik alan etkisi ile milin yatak yüzeyine daha fazla yaklaşacağı ve bölgesel temaslara manyetik alanın herhangi bir etkisi olup olmayacağı da araştırılmalıdır.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

3213-YL-12 No'lu Proje ile bu çalışmayı maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Karacaörenli, A., "50 Hz Şebeke frekanslı elektrik alanının sıçanlarda yavru gelişimi üzerine etkileri", Süleyman Demirel Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2007).
- [2] Bold, A., Toros, H. ve Şen O., "Manyetik alanın insan sağlığı üzerindeki etkisi", *III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, İstanbul, 62-68, (2003).
- [3] <http://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/3ElektrikBilgisi/unite-16.pdf>

- [https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/1ElektrikMakLab/unit\\_e5.pdf](https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/1ElektrikMakLab/unit_e5.pdf)
- [4] <http://www.elektrikde.com/Asenkron-motor-nedir-kullanim-alanlari-nelerdir.html>
- [5] Kuş, H., “Bronz esaslı seramik takviyeli fren balatalarının performansının geliştirilmesi”, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2014).
- [6] German, R.M., “Powder metallurgy & particulate materials processing, toz metalurjisi ve parçacıklı malzeme işlemleri”, Çeviri Editörleri Sarıtaş, S., Türker, M., Durlu, N., Türk Toz Metalurjisi Derneği Yayınları: 05, *Uyum Ajans*, 573, Ankara, (2007).
- [7] Özçelik, S., “Cu ve Fe Esaslı T/M yatak malzemelerinin aşınma özelliklerinin deneysel incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (2007).
- [8] ASM Metals Handbook, “Powder metal technologies and applications”, *ASM International*, 7, 1146, USA, (1998).
- [9] Tunay, R.F., Durak, E., “Manyetik alana maruz kalan t/m esaslı yatakların tribolojik özellikleri”, *VI. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, Konya, 341-350, (2011).
- [10] Atak, Y., “Kendinden yağlamalı grafit katkılı bronz yatakların aşınma davranışının incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2009).
- [11] Zsidai, L., Baets, P.De., Samyn, P., Kalacska, G., “The tribological behavior of engineering plastics during sliding friction investigated with small-scale specimens”, *Wear*, 253: 673–688, (2002).
- [12] Daban, Z., “Manyetik alana maruz t/m esaslı bronz kaymalı yatakların sürtünme özelliklerinin incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2018).
- [13] Raymond, O. K. J., “An investigation of shaft current in a large sleeve bearing induction machine”, *Doktora Tezi*, McMaster University, Canada, (1999).
- [14] Sohre, J. S., Nippes, P., “Electromagnetic shaft currents in turbomachinery -an update, Part II: Magnetics and Demagnetization”, 25th Symposium on Safety in Ammonia Plants and Related Facilities, *American Institute of Chemical Engineers*, Portland, Oregon, (1978).
- [15] <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/asekron-motorlar-1-bolum/12177>  
<http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/elektromanyetik-alan-gercegi/4455#ad-image-0/>
- [16] Kadioğlu, M., “Manyetik alan etkisindeki yuvarlanma elemanlı yatakların tribolojik özelliklerinin incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2016).
- [17] <http://www.skf.com/binary/68-134586/13459-EN-Rolling-bearings-and-seals-in-electric-motors-and-generators>.
- [18] Prashad, H., “Diagnosis of failure of rolling-element bearings of alternators - a study”, *Wear*, 198: 46-5(1996).
- [19] Djeddi, M., Granjon, P., Leprettre, B., “Bearing fault diagnosis in induction machine based on current analysis using high-resolution technique”, *IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives*, Cracow, Poland, 23-28, (2007).
- [20] Singh, S., Kumar, A., Kumar, N., “Motor current signature analysis for bearing fault detection in mechanical systems”, *Procedia Materials Science*, 6: 171–177, (2014).
- [21] Prashad, H., “Determination of magnetic flux density on the surfaces of rolling element bearings as an indication of the current that has passed through them - an investigation”, *Tribology International*, 32: 455–467, (1999).
- [22] Uysal, A., “Tek sıra sabit yuvarlanma elemanlı yataklarda sürtünme kaybının deneysel olarak incelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (2006).
- [23] [http://www.rkbbearings.com/admin/gest\\_docs\\_res/-attach1/1271884609.pdf](http://www.rkbbearings.com/admin/gest_docs_res/-attach1/1271884609.pdf).
- [24] Kam, M., Saruhan, H., Kara, F., “Isıl işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi”, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5 (1): 81–90, 2016.
- [25] Jung, J., Lee, S. B., Lim, C., Cho, C., Kim, K., “Electrical monitoring of mechanical looseness for induction motors with sleeve bearings”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 31: 1377-1386, (2016).
- [26] Kam, M., Saruhan, H., “Kriyojenik işlem uygulanmış millerin yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda deneysel titreşim analizi”, *Politeknik Dergisi*, 22(1): 129-134, (2019).
- [27] Saruhan, H., Kam, M., Kara, F., “Dynamic behavior analysis of rotor supported by damped rolling element bearing housing”, *Journal of Polytechnic*, 20(1): 159-164, (2017).
- [28] Saruhan, H., “Experimental spectral analysis of split sleeve bearing clearance effect on a rotating shaft system”, *Electronic Journal of Machine Technologies*, 13(4): 1-8, (2016).
- [29] Aleutdinova, M.I., Fadin, V., Kolubaev, A.V., Aleutdinova, V.A., “Contact characteristics of metallic materials in conditions of heavy loading by friction or by electric current”, *Friction and Wear Research*, 2: 22-28, (2014).
- [30] Raman, R. Chennabasavan, T.S., “Experimental investigations of porous bearings under vertical sinusoidally fluctuating loads”, *Tribology International*, 31(6): 325-330, (1998).
- [31] <http://www.olcum.org/images/docs/elektromanyetik/4.pdf>
- [32] Kaneko, S., “Porous oil bearings”, 1993, *Japanese Journal of Tribology*, 38(9): 1141-1150.
- [33] Cusano, C., Phelan R.M., “Experimental investigation of porous bronze bearings”, *Trans. ASME, Journal of Lubrication Technology*, 95: 173-180, (1973).
- [34] Durak, E., “Experimental investigation of porous bearings under different lubricant and lubricating conditions”, *KSME International Journal*, 17(9): 1276-1286, (2003).
- [35] Soydan Y., Ulukan L., “Temel triboloji sürtünme- aşınma yağlama bilimi ve teknolojisi”, *Tagem Kopisan Ltd.*, Sakarya, (2013).
- [36] Bhushan, B., “Modern tribology” Handbook I, Principles of Tribology, II, Materials, Coatings, and Industrial Applications Columbus, Ohio, ABD, *CRC Press LLC*, ISBN: 0-8493-8403. (2001).