

Hidrodinamik Radyal Kaymalı Yataklarda Basınç Dağılımının İncelenmesi

Yakup ARTUN

Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü , Muş, Türkiye

y.artun@alparslan.edu.tr

Özet

Kaymalı yataklar dönen ve salınım hareketi yapan mil, aks gibi elemanları yataklamak üzere yaygın şekilde kullanılan makine elemanlarıdır. Günümüzde kaymalı yatakların tribolojik performanslarını arttırmaya yönelik çalışmalar halen devam etmektedir. Bu çalışmada hidrodinamik radyal kaymalı yataklardaki basınç dağılımı incelenmiştir. Bu amaçla çalışmada, öncelikle hidrodinamik yağlama teorisi çerçevesinde Reynolds denklemi radyal kısa kaymalı yataklar için analitik olarak çözülmüş ve hem yatak kesiti hem de yatak uzunluğu boyunca basınç dağılımını veren ifadeler elde edilmiştir. Ardından elde edilen bu ifadelerin çözümü için MATLAB R2019b programında bir algoritma oluşturulmuş ve belirlenen senaryolar için bu algoritma kullanılarak yatağın her noktasındaki basınç değerleri elde edilmiş ve grafikler halinde sunulmuştur. Elde edilen grafikler çalışmanın sonuç kısmında değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç Dağılımı, Yatak Yüğü, Kaymalı Yataklar

Investigation Of The Pressure Distribution In Hydrodynamic Radial Journal Bearings

Abstract

Journal bearings are machine elements that are widely used for bearing rotating and oscillating elements such as shafts and axles. Today, studies to increase the tribological performance of journal bearings are still ongoing. In this study, pressure distribution in hydrodynamic radial journal bearings was investigated. For this purpose, first of all, in the framework of hydrodynamic lubrication theory, Reynolds equation is solved analytically for radial short journal bearings and expressions giving pressure distribution over both the bearing cross-section and the bearing length are obtained. Then, an algorithm was created in the MATLAB R2019b program for the solution of these expressions and the pressure values at each point of the bed were obtained and presented in graphs using this algorithm for the specified scenarios. The graphics obtained were evaluated in the conclusion part of the study.

Keywords: Pressure Distribution, Bearing Load Capacity, Journal Bearings

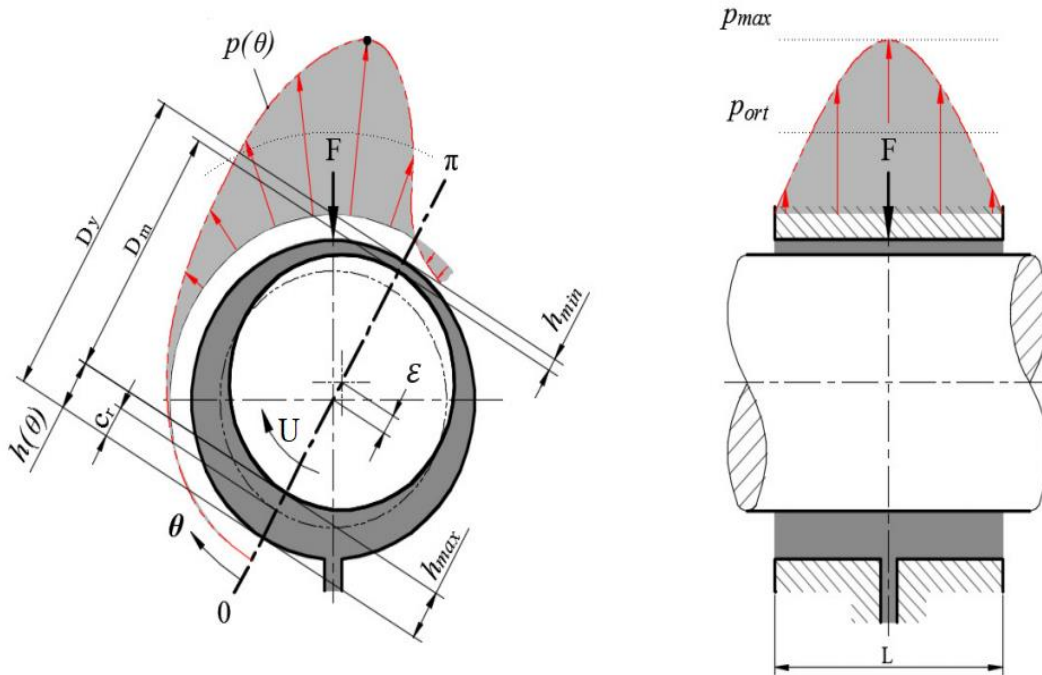
1. GİRİŞ

Yataklar, destekledikleri millerin kuvvet doğrultusundaki hareketini engelleyen ve dönme hareketine müsaade eden makine elemanlarıdır. Yataklar, etkiyen kuvvetin doğrultusuna bağlı olarak eksenel veya radyal yataklar olarak sınıflandırılır. Etkiyen kuvvetin doğrultusu; yatak eksenine dik ise bu tip yataklar radyal yataklar, yatak eksenine doğrultusunda ise eksenel yataklar olarak adlandırılır. Yatak sistemlerinde birbirine göre izafi hareket yapan yatak ile mil yüzeyleri arasındaki sürtünme direncinin küçük olması istenir. Bunun için, yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde veya yuvarlanma sürtünmesini ortaya çıkartan yuvarlanma elemanları kullanılır. Buna göre de yataklar, kaymalı yataklar ve rulmanlı yataklar olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Kaymalı yataklarda birbirine göre izafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağ filmi meydana gelir [1-2]. Bu yağ filminde yatak yükünü dengeleyen bir basıncın oluşması halinde yüzeyler arasındaki metal teması ortadan kalkar. Yağ filmi ve basıncı oluşumunun yüzeylerin izafi hızına ve yağ filminin geometrisine bağlı olduğu yataklara hidrodinamik kaymalı yataklar denir. Yağ filminin bir yüksek basınç pompası vasıtasıyla basınçlı yağın yatak ve mil yüzeyleri arasına gönderilmesi ile meydana geldiği yataklara hidrostatik kaymalı yataklar denir. [3]

Pratikte kullanılan kaymalı yatakların büyük bir kısmı, taşıyıcı yağ filminin kendi kendine oluştuğu hidrodinamik yataklardır. Bir yatağın kaldırma kuvveti veya yatak yükü bütün yatak yüzeyi üzerindeki basınç dağılımının bir fonksiyonudur. Basınç dağılımı diğer taraftan yatağın geometrik ölçülerine, mil ve yatak burcu

arasındaki izafi hıza, prensip olarak milin çevresel hızına ve kullanılan yağın viskozitesine bağlıdır. Kullanılan yağın iki yüzeyi birbirinden ayırabilmesi ve yükü kaldırması gerekir, bu nedenle akışa gösterilen direnç olarak tanımlanan viskozite yağ seçiminde önemli bir faktördür. Sistemin çalışma koşullarında viskozite hız ile ters orantılı, yük ile doğru orantılıdır. Sistemin taşıyacağı yük arttıkça viskozite yüksek olmalı, hız arttıkça viskozite düşük olmalıdır [4]. Yağ seçiminde yağ kalitesi de önemli bir faktördür.

Bu çalışmada hidrodinamik radyal bir kısa kaymalı yatak ele alınmıştır. Kısa kaymalı yatak terimi yatak uzunluğunun (L) yatak çapına (D) oranla çok küçük olduğu durumlarda kullanılır. Kısa kaymalı yatak uzunluğu yatak çapına kıyasla yatak uzunluğunun Kısa kaymalı yataklar, özellikle otomotiv motorları olmak üzere çeşitli makinelerde yaygın olarak kullanılmaktadır ve başarılı bir şekilde performans göstermektedir. Kısa bir yatağın birim uzunluk başına yük kapasitesi, uzun bir yatağinkinden daha düşük olmasına rağmen bazı önemli avantajlara sahiptir. Bunlar gelişmiş bir ısı transferi sergilemeleri, konumlama hatalarına karşı hassasiyet göstermemeleri ve daha iyi yağlanmaları sebebi ile aşınmanın az olması gibi avantajlardır [5]. Şekil 1 de ele alınan yatağın geometrisi ve koordinatları verilmiştir [6].



Şekil 1. Kısa hidrodinamik kaymalı yatak

Bu çalışmada hidrodinamik radyal kaymalı yataklardaki basınç dağılımı incelenmiştir. Bu amaçla ikinci bölümde hidrodinamik yağlama teorisi çerçevesinde Reynolds denklemi radyal kısa kaymalı yataklar için analitik olarak çözülmüş ve basınç dağılımını veren ifadeler elde edilmiştir [7]. Üçüncü bölümde ise elde edilen ifadeler MATLAB programında oluşturulan algoritma yardımıyla belirlenen senaryolar için çözülmüş ve yatağın her noktasındaki basınç değerleri grafikler halinde verilmiştir. Dördüncü bölümde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1 Hidrodinamik Radyal Kısa Kaymalı Yatakta Basınç Dağılımı

Bu bölümde hidrodinamik yağlama teorileri kapsamında çalışan bir radyal kaymalı yatak için basınç dağılımı analitik olarak ifade edilmiştir. Ele alınan yatak uzunluğu çapına oranla oldukça küçük olan dolayısıyla kısa yatak olarak adlandırılan yapıdadır [8].

Hidrodinamik çalışma durumları için Reynolds denkleminin genel ifadesi aşağıdaki gibidir [9].

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6(U_1 - U_2) \frac{\partial h}{\partial x} + 12(V_2 - V_1) \quad (1)$$

x yönündeki basınç gradyanı ihmal edildiğinde;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) \approx 0 \quad (2)$$

Reynolds denklemi (3) eşitliğinde olduğu gibi basitleştirilmiş hale indirgenebilir.

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6(U_1 - U_2) \frac{\partial h}{\partial x} + 12(V_2 - V_1) \quad (3)$$

Bir kaymalı yatakta, yatağın yüzey hızı, yatak içi yüzeyi boyunca x yönüne paralel değildir ve normal bir V_2 bileşenine sahiptir. Kaymalı yatağın yüzeyinin yüzey hızı bileşenleri;

$$U_2 \approx U ; V_2 \approx U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (4)$$

Sabit yüzey üzerinde, yüzey hızı bileşenleri sıfırdır;

$$U_1 = 0 ; V_1 = 0 \quad (5)$$

Denklem (4) ve denklem (5) yerine yazıldıktan sonra denklem (6) ve (7) ifadelerine ulaşılır;

$$6(U_1 - U_2) \frac{\partial h}{\partial x} + 12(V_2 - V_1) = 6(0 - U) \frac{\partial h}{\partial x} + 12U \frac{\partial h}{\partial x} = 6U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (7)$$

Film kalınlığı h sadece x fonksiyonudur ve z yönünde entegrasyon amacıyla sabittir. Çift entegrasyon, basıncın sınır koşullarından elde edilebilen iki sabit ile aşağıdaki parabolik basınç dağılımı, z yönünde sonuçlanır:

$$p = -\frac{6\mu U}{h^3} \frac{dh}{dx} \frac{z^2}{2} + C_1 z + C_2 \quad (8)$$

Yatağın iki ucunda, basınç atmosferik basınca eşittir. Dolayısıyla sınır koşulları şu şekilde yazılabilir;

$$p = 0 ; z = \pm \frac{L}{2} \quad (9)$$

Sonuçta entegrasyon sabitleri için çözüme ve bir kaymalı yatağın içinde h yerine işlev değiştirme, $h(\theta) = C(1 + \varepsilon \cos\theta)$, kısa bir yatakta (y ve z 'nin bir fonksiyonu) basınç dağılımı için aşağıdaki ifade elde edilir;

$$p(\theta, z) = \frac{3\mu U}{RC^2} \left(\frac{L^2}{4} - z^2 \right) \frac{\varepsilon \sin\theta}{(1 + \varepsilon \cos\theta)^3} \quad (10)$$

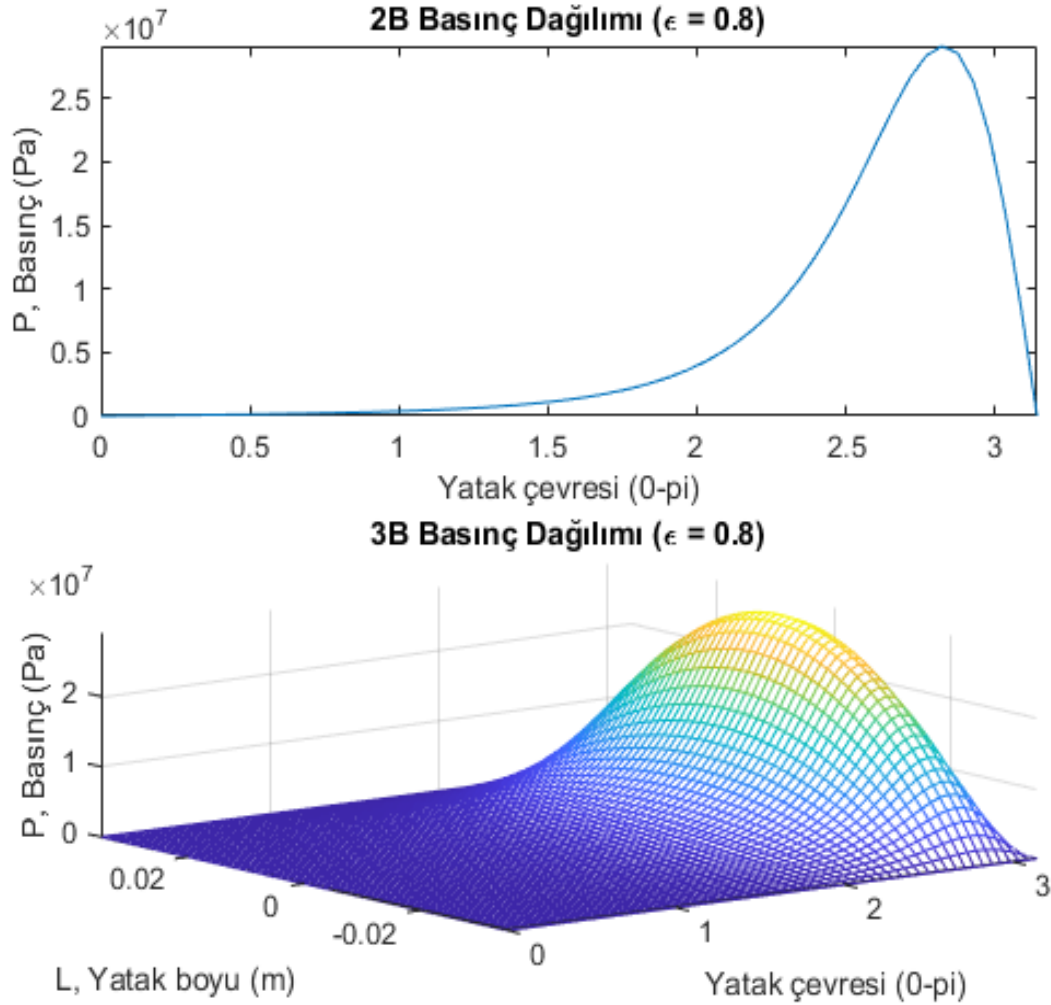
2.2 Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde ikinci bölümde elde edilen (10) denkleminin çözümü yapılmıştır. Bu amaçla denklemi çözmek için MATLAB programında bir algoritma hazırlanmış ve algoritma yardımıyla çeşitli senaryolar için basınç dağılımı grafikleri elde edilmiştir. Senaryolarda aksel kaçıklığın etkisini gözlemleyebilmek adına diğer parametreler sabit tutulmuş aksel kaçıklık için ise üç farklı değer girilmiştir. Benzetim çalışmalarında kullanılan parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Benzetim çalışmalarında kullanılan yatak parametreleri.

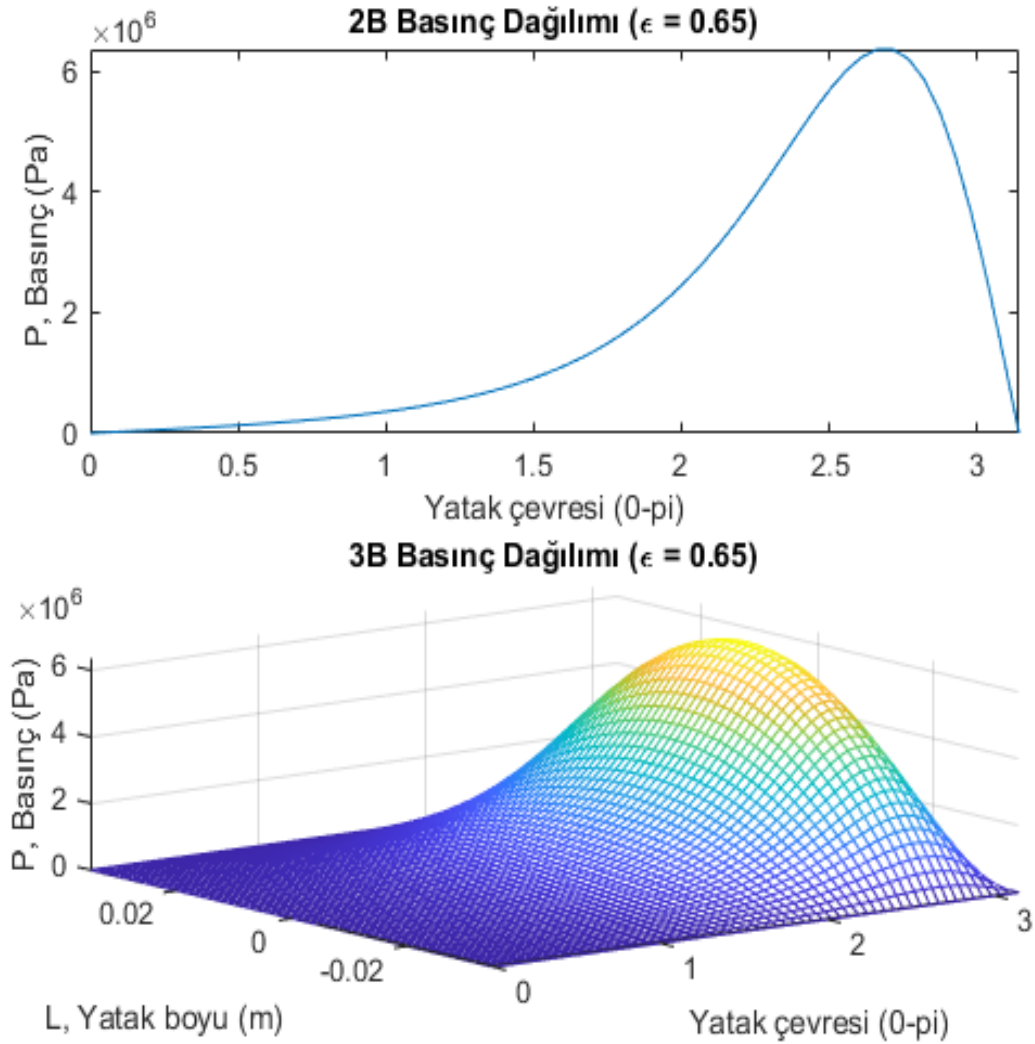
D_m	: Muylu çapı	=	50 mm
C_r	: Radyal Boşluk	=	5 mm
L	: Yatak Boyu	=	70 mm
U	: Muylu devri	=	2617 dev/dak
ϵ	: Eksantriklik oranı	=	0,50 – 0,65 – 0,80
μ	: Viskozite	=	1 Pa.s

Şekil 2’de eksantriklik oranının 0,80 olması durumuna göre belirlenen diğer parametrelerle yatağın enine kesitindeki basınç dağılımı verilmiştir. Kaymalı yataklardaki deneysel verilerle uyumlu olarak enine kesitteki basınç dağılımının orta noktaya göre simetrik olmadığı eksenden kaçıklık gösterdiği görülmektedir. Şekilde ayrıca yatağın enine ve boyuna kesitindeki basınç dağılımından hareketle yatağın üç boyutlu basınç dağılımı verilmiştir.

Şekil 2. $\epsilon=0,80$ olması durumunda yatağın enine kesit ve üç boyutlu basınç dağılımı

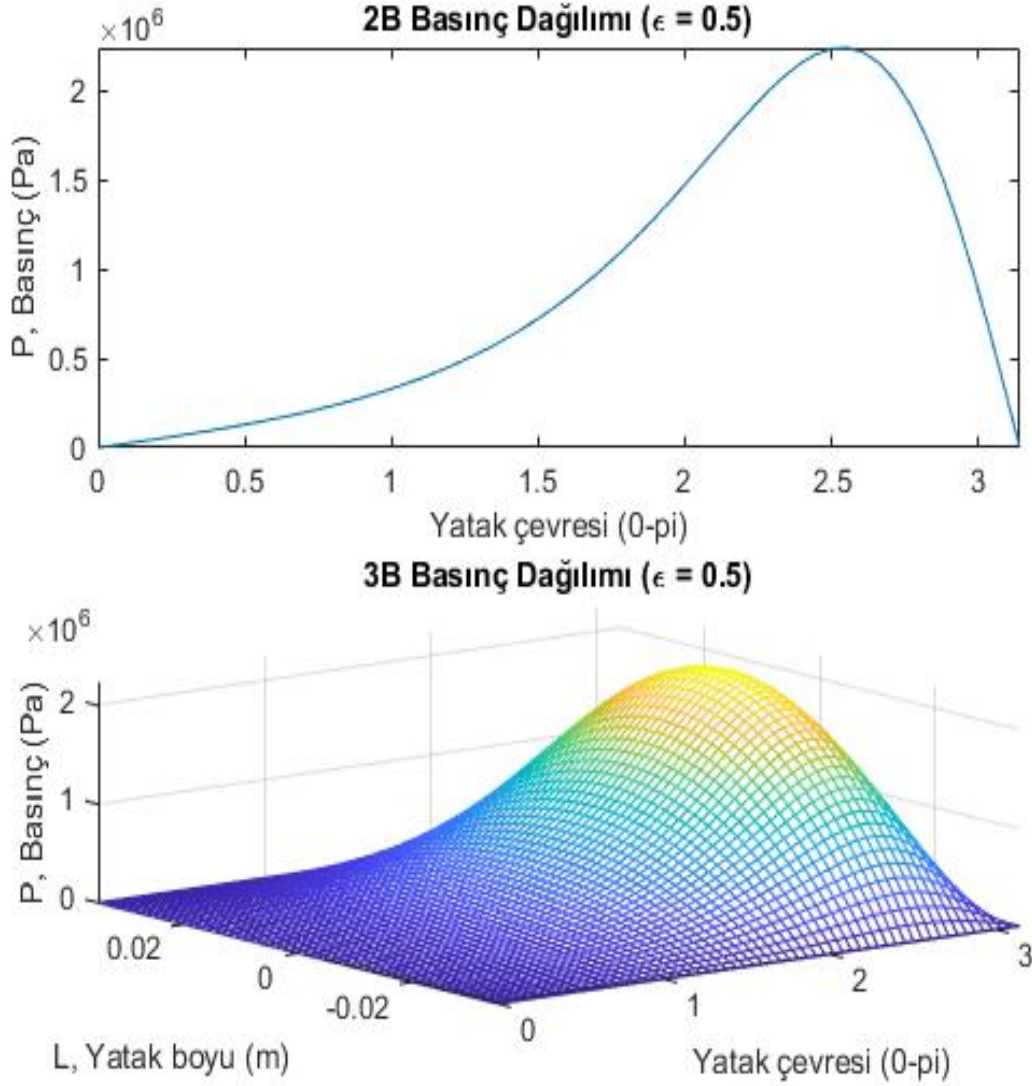
Şekil 3’de eksantriklik oranının 0,65 olması durumuna göre belirlenen diğer parametrelerle yatağın enine kesitindeki basınç dağılımı verilmiştir. Kaymalı yataklardaki deneysel verilerle uyumlu olarak enine kesitteki basınç dağılımının orta noktaya göre simetrik olmadığı eksenden kaçıklık gösterdiği görülmektedir. Şekilde

ayrıca yatağın enine ve boyuna kesitindeki basınç dağılımından hareketle yatağın üç boyutlu basınç dağılımı verilmiştir.



Şekil 3. $\epsilon = 0,65$ olması durumunda yatağın enine kesit ve üç boyutlu basınç dağılımı

Şekil 4'de eksantriklik oranının 0,50 olması durumuna göre belirlenen diğer parametrelerle yatağın enine kesitindeki basınç dağılımı verilmiştir. Kaymalı yataklardaki deneysel verilerle uyumlu olarak enine kesitteki basınç dağılımının orta noktaya göre simetrik olmadığı eksenden kaçıklık gösterdiği görülmektedir. Şekilde ayrıca yatağın enine ve boyuna kesitindeki basınç dağılımından hareketle yatağın üç boyutlu basınç dağılımı verilmiştir.



Şekil 4. $\epsilon = 0,50$ olması durumunda yatağın enine kesit ve üç boyutlu basınç dağılımı

3. SONUÇ

Bu çalışmada hidrodinamik radyal kaymalı yataklardaki basınç dağılımı analitik olarak incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle hidrodinamik yağlama teorisi çerçevesinde Reynolds denklemi radyal kısa kaymalı yataklar için analitik olarak çözülmüş yataktaki basınç dağılımını veren ifade elde edilmiştir. Bu ifade MATLAB programında bir algoritma oluşturularak belirli senaryolar için çözülmüş ve yatağın her noktasındaki basınç değerleri elde edilerek sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur. Analitik sonuçların literatürdeki kaymalı yataklarla ilgili deneysel çalışmalarla uyumlu olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, hidrodinamik radyal kısa kaymalı yataklardaki basınç dağılımının çalışmada verilen matematiksel ifadenin bilgisayar çözümleri ile doğru bir şekilde elde edilebileceği söylenebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Dikmen F. Makine Elemanları-2, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2018.
- [2] Karl H. V., Heinz D. Maschinen elemente Gestaltung und Berechnung, München, 1982.
- [3] Roloff F., Matek V.S, Mashinen elemente, 1983.
- [4] Ulukan L, Yağlama Tekniği, İTÜ Mak.Fak.Mak. Elemanları Kürsüsü, İstanbul, 1970.
- [5] Harnoy, A. Bearing Design in Machinery, Engineering Tribology and Lubrication, 147-155, 2005.
- [6] Koç E., Canbulut F.Eksenel Hidrostatik-Hidrokinamik Yatak Deney Düzeneği, 1990.
- [7] Gediktaş M. Makine Elemanları Problemleri, Fatih Yayınevi, İstanbul,1982.
- [8] Dirk., Leimann O. Erhöhung der Warmergranzleistung bei Getrieben mit Luftkühlung, Konstruktion, H.11, 31 434-438, 1979.
- [9] M.ten BOSCH., İleri H. Makine Elemanları Hesabı, İTÜ Kütüphanesi Sayı: 721-748, 1972.