

## DAİRESEL HİDROSTATİK EKSENEL KAYMALI YATAKLARIN OPTİMİZASYONU

*Erol SOLMAZ\**

**Özet:** Bu araştırmada, dairesel hidrostatik yataklarda, yatak için gerekli olan toplam gücün ve yatakta meydana gelen sıcaklık artışının minimum değerlerde kalması için tek ve çok kriterli eniyileme çalışmaları yapılmıştır. Önerilen yaklaşımın etkinliği, tek ve çok kriterli çalışmalardan elde edilen sonuçların karşılaştırılması ile verilmiştir. Elde edilen sonuçlar temelinde, hidrostatik yatak tasarımlarında çoklu kriterin tercih edilmesi önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrostatik yatak, çoklu kriter optimizasyon uygulamaları, bilgisayar destekli optimizasyon.

### Optimization Studies in Circular Thrust Bearings

**Abstract:** In this research, single and multiple-criterion optimisation approaches were carried out to determine the circular hydrostatic journal bearing design parameters for the minimisation of total power requirement and for the minimisation of the temperature rise of the oil, so that the total performance of the system is optimal. The efficiency of proposed approach is verified by comparing the results of single criterion optimization with those of multicriteria optimisation. In this paper, computer-aided design optimization approach for hydrostatic bearings is proposed as an efficient method compared to single criteria optimisation.

**Key Words:** Hydrostatic bearings, multicriteria-optimization, computer-aided optimisation.

## 1. GİRİŞ

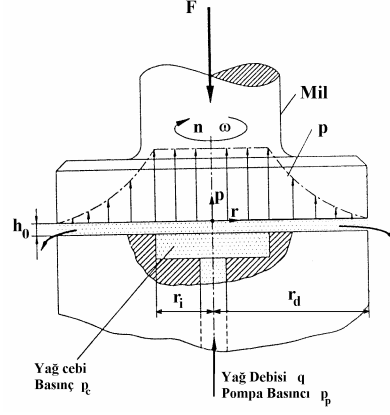
Dairesel hidrostatik aksel kaymalı yatak için gerekli olan toplam gücün minimum olabilmesi için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Boyutsuz olarak tanımlanan yatak katsayısı ve istenilen minimum sıcaklık farkını elde etmek amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmalarda, elde edilen yağ film kalınlık değerlerine göre toplam gücün ve sıcaklık farkının aldığı değerler, yeterli görülmemiştir. Literatürde rastlanmayan 3 kriterli optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

Yataklar iki eleman arasındaki bir veya birkaç yönde izafi harekete minimum bir sürtünme ile müsaade eden fakat kuvvet doğrultusundaki harekete engel olan elemanlardır. Hidrostatik sıvı sürtünmesinde, dış kuvvetin dengelenmesi ve yüzeylerin birbirinden ayrılması için gereken basınç, bir yüksek basınçlı pompa vasıtasıyla dışardan sağlanır ve basınç ile hidrostatik kaymalı yataklara yağ gönderilir. Hidrostatik kaymalı yataklarda, yatak yüzeyleri arasında metalik temas olmadan yani aşınmaya neden olmadan, mümkün olan en küçük sürtünme katsayısında çalışılır. Çok küçük çalışma hızlarında dahi kayma yüzeyleri arasında taşıyıcı yağ filminin hidrodinamik etkisi olmaksızın yatağın çalışması sağlanır.

### 1.1. Dairesel Hidrostatik Aksel Kaymalı Yataklar

Dairesel hidrostatik aksel yatakların çalışma prensibi Şekil 1'de gösterilmektedir. Pompadan gönderilen yağın basıncı ile merkezi dairesel silindirik yağ cebinin çalışması sonucunda bir plaka üzerinde geniş bir mil desteklenir. Böylece cepte, yani  $0 \leq r \leq r_1$  aralığında yağ basıncı  $p_c$  (efektif cep basıncı) hakim olur.

\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Görükle, Bursa.



Şekil 1:  
Dairesel hidrostatik eksenel yatak (Steinhilper ve Röper 1990)

Dairesel hidrostatik kaymalı yataklarda, yatağın yük taşıma kabiliyeti

$$F = K_F A p_c \quad (1)$$

olarak verilmektedir (Akkurt,1990). Burada kuvvet katsayısı ( $K_F$ ), yatağın iç ve dış yarıçaplarına göre boyutsuz olarak

$$K_F = \frac{1}{2} \left[ \frac{1 - (r_i / r_d)^2}{\ln(r_d / r_i)} \right] \quad (2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Bu yataklarda yağ debisi

$$q = K_q \left( \frac{F}{A} \right) \frac{h_0^3}{\eta} \quad (3)$$

olarak verilmiştir. (Akkurt 1990). Debi katsayısı ( $K_q$ ), yarıçaplara göre boyutsuz olarak

$$K_q = \frac{\pi}{3} \left[ \frac{1}{1 - (r_i / r_d)^2} \right] \quad (4)$$

şeklinde verilmektedir. Yatakta gerekli olan toplam güç, sürtünmeye harcanan güç ( $P_s$ ) ve pompa için gerekli olan gücün ( $P_p$ ) toplamından oluşur. Sürtünmeye harcanan güç,

$$P_s = M_s \omega = K_s \eta \frac{\omega^2 r_d^2}{h_0} A \quad (5)$$

ifadesi ile verilir. (Akkurt 1990). Eşitlikte sürtünme gücü katsayısı ( $K_s$ ) yarıçaplara bağlı olarak

$$K_s = \frac{1}{2} \left[ 1 - \left( \frac{r_i}{r_d} \right)^4 \right] \quad (6)$$

şeklinde verilmektedir. Pompa için gerekli olan güç ise,

$$P_p = \frac{1}{\eta_p} K_p \left( \frac{F}{A} \right)^2 \frac{h_0^3}{\eta} \quad (7)$$

olarak verilir. (Akkurt 1990). Pompa gücü katsayısı ( $K_p$ ) boyutsuz olarak

$$K_p = \frac{2\pi}{3} \frac{\ln(r_d / r_i)}{\left[ 1 - \left( \frac{r_i}{r_d} \right)^2 \right]^2} \quad (8)$$

şeklinde verilmektedir. Hidrostatik eksenel kaymalı yataklarda gerekli olan toplam güç,

$$P_t = P_s + P_p$$

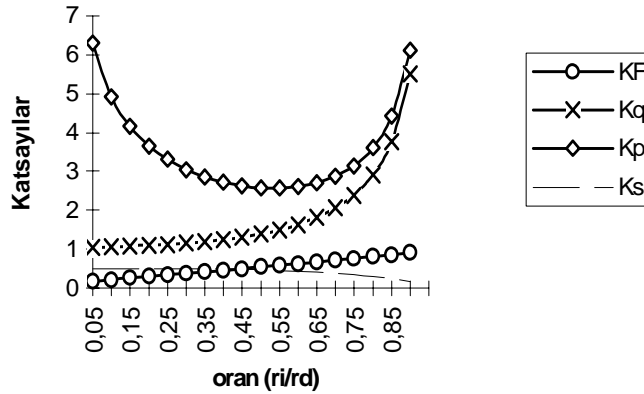
ile

$$P_t = K_s \eta \frac{\omega^2 r_d^2}{h_0} A + \frac{1}{\eta_p} K_p \left( \frac{F}{A} \right)^2 \frac{h_0^3}{\eta} \quad (9)$$

olarak verilmektedir (Akkurt 1990).

## 1.2. Dairesel Hidrostatik Eksenel Yatakların İncelenmesi

Dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yataklarda geometriye bağlı olarak elde edilen kuvvet katsayısı ( $K_F$ ), debi katsayısı ( $K_q$ ), sürtünme gücü katsayısı ( $K_s$ ) ve pompa gücü katsayısı ( $K_p$ ) boyutsuz olan katsayılarıdır. Bu katsayılar, kuvvet, debi, sürtünme ve pompa gücü hesaplarında kullanılır. Yatağın yarıçap oranlarının değişimi boyutsuz geometrik katsayıları etkilemektedir. Boyutsuz geometrik katsayıların yatağın iç ve dış yarıçapına bağlı olarak değişimi Şekil 2’de verilmektedir. Şekil 2’den görüleceği gibi yarıçap oranlarının değişimi sayısal olarak pompa gücü katsayısında büyük değerlere ulaşmaktadır. Dairesel hidrostatik eksenel yataklarda bilinmesi gereken büyüklükler olarak, taşıyabileceği eksenel kuvvet ( $F$ ), yatağın iç ( $r_i$ ) veya dış ( $r_d$ ) yarıçapı, devir sayısı ( $n$ ), yağın viskozitesi ( $\eta$ ), kullanılan pompanın verimi ( $\eta_p$ ) ve yağın ortalama sıcaklığı ( $t$ ) verilir. Bu değerler sabit alınarak yatağın iç ve dış yarıçap oranlarının ( $r_i/r_d$ ) değişimine bağlı olarak debi, sürtünmeye harcanan güç, pompa için gerekli olan güç, yatak için gerekli olan toplam güç ve sıcaklık farkı değerlerinin değişimi incelenmiştir. Çap oranları değiştiğinde, pompa gücü katsayısı ve sürtünme gücü katsayısı değişimlerine paralel olarak pompa için gerekli olan güç ve sürtünmeye harcanan güç sarfiyatı değişmektedir. Yağda meydana gelen ısınma ve dolayısıyla yağda meydana gelen sıcaklık farkı, yağ filmi kalınlığı sabit kalsa bile yarıçap oranlarına bağlı olarak değişmektedir. Yarıçap oranı arttıkça debi miktarı artar ve buna paralel olarak ta sıcaklık farkı azalmaktadır.



Şekil 2:

Geometrik katsayıların yarıçap oranlarına göre değişimi

## 2. DAİRESEL EKSENEL HİDROSTATİK KAYMALI YATAKLARDA OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Hidrostatik eksenel kaymalı yatakta gerekli olan toplam gücün minimum olabilmesi için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Boyutsuz olarak tanımlanan yatak katsayısı ve istenilen minimum sıcaklık farkını elde etmek amacıyla çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda her 3 kriterlere göre elde edilen güç ve sıcaklık değerleri, kriterlerin birlikte alınarak yapılan optimizasyon çalışması sonucunda elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Eksenel hidrostatik kaymalı yataklarda minimum yağ film kalınlığı, Niemann (1973) tarafından

$$h_{\min} \geq 5 \cdot 10^{-5} d_o \quad (10)$$

olarak verilmiştir. Burada  $d_0$  - yatağın ortalama çapı (m) dir. Sıvı sürtünmesinin meydana gelmesi için yağ film kalınlığının, minimum yağ film kalınlığından büyük olması gerekmektedir.

## 2.1. Minimum Güç İçin Optimizasyon Çalışmaları

Yatak için gerekli olan toplam güç, sürtünmeye harcanan güç ( $P_s$ ) ile pompa için gerekli gücün ( $P_p$ ) toplamından elde edilmektedir. Toplam güç için 9 nolu ifade ile yatak için gerekli güç verilmiştir. Bu ifade önce geometrik katsayılar cinsinden değerlendirilmiştir. Toplam güce etki eden geometrik katsayılar, sürtünme gücü katsayısı ( $K_s$ ) ve pompa gücü katsayısı ( $K_p$ ) boyutsuz katsayılardır. Pompa gücü katsayısının toplam güce etkisi, sürtünme gücü katsayısının etkisine göre daha fazladır. Toplam gücü minimum yapmak için, öncelikle pompa gücü katsayısını minimum yapan yarıçap oranı hesaplanmıştır. Boyutsuz geometrik katsayıların yarıçap oranlarına bağlı olarak değişimini incelemek amacıyla yazılan programın çalıştırılması sonucunda;  $r_i / r_d = 0.5335$  olduğunda, pompa gücü katsayısı  $K_p = 2.5713$  olarak minimum değerini aldığı tespit edilmiştir.

Toplam güç için verilen 9 nolu bağıntı incelendiğinde, yağ film kalınlığı arttıkça, sürtünmeye bağlı güç sarfiyatı azaldığı, pompa için gerekli güç ihtiyacının arttığı görülmektedir. Belirli bir yağ film kalınlığı değeri için toplam güç sarfiyatının minimum olması gerekmektedir. Elde edilen bu değer toplam güç sarfiyatı bakımından optimum bir değerdir. Optimum değeri elde etmek için toplam güç denkleminin, yağ film kalınlığına göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse, optimum yağ film kalınlığı değeri elde edilir. Bunun için

$$\frac{\partial P_t}{\partial h} = 0$$

işlemi yapıldığında optimum yağ film kalınlığı

$$h_{0opt} = \sqrt[4]{\frac{1}{3} \frac{K_s \eta_p}{K_p} \left( \frac{\omega r_d \eta}{F/A} \right)^2} A \quad (11)$$

olarak elde edilir. Elde edilen optimum yağ film kalınlığı toplam gücü minimum yapmaktadır.

## 2.2. Yatak Katsayısına Göre Çalışmalar

Yatak için gerekli olan toplam gücün, minimum olması amacıyla yapılan optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen optimum yağ film kalınlığı değeri, sıcaklık artış ifadesine tatbik ettirildiğinde, yağda meydana gelen sıcaklık artışının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Eksenel hidrostatik kaymalı yataklar için tanımlanan yatak katsayısını (Steinheilper ve Röper 1990) belirlemek amacıyla, bu çalışmada sürtünmeye harcanan gücün pompa için gerekli olan güce oranı incelenmiş ve boyutsuz olarak bir yatak katsayısı tanımlanmıştır. Yatak yarıçap oranları,  $c = r_i / r_d$  olarak tanımlanırsa, belirlenen yatak katsayısı yarıçap oranlarına bağlı olarak

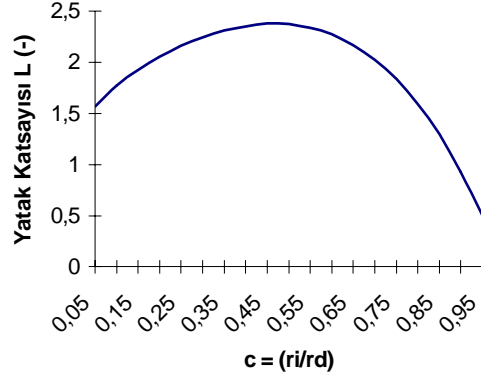
$$L = \sqrt{\frac{3}{4} \pi^2 \frac{(1-c^4)(1-c^2)^2}{Ln(1/c)}} \quad (12)$$

şeklinde elde edilmiştir. Elde edilen yatak katsayısı ifadesinin, (Steinheilper ve Röper 1990)'in tanımladığı yatak katsayısı ifadesi ile aynı olduğu görülmüştür. Yatak katsayısı boyutsuz olarak

$$L = \frac{F h_0^2}{\eta \omega r_d^4} \quad (13)$$

şeklinde de ifade edilir (Steinheilper ve Röper 1990, Haberhauer ve Bodenstein 1997).

Yatak katsayısının yarıçap oranlarına göre değişimi Şekil 3.'de verilmiştir. Boyutsuz olarak tanımlanan pompa gücü katsayısını, minimum yapan yatak yarıçap oranı değeri, literatürde 0,5 olarak verilmiş olup, çalışmamızda daha hassas olarak 0,5335 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değer, 12 nolu ifadeye uygulandığında, yatak katsayısının  $L = 2,3539$  değerini aldığı tesbit edilmiştir.



Şekil 3:  
Yatak katsayısının yarıçap oranlarına göre değişimi

Bulunan yatak katsayısı değeri sabit tutularak, yağ film kalınlığını tesbit etmek amacıyla, yatak katsayısı için verilen 13 nolu bağıntıdan yağ film kalınlığı ( $h_0$ ),

$$h_0 = \sqrt{\frac{L \eta \omega r_d^4}{F}} \quad (14)$$

olarak elde edilir.

### 2.3. Minimum Sıcaklık Farkına Göre Çalışmalar

Eksenel hidrostatik yataklarda ısı, yalnız yağ tarafından yataktan dışarı atıldığından, sıcaklık artış hesabı

$$\Delta t = \frac{P_s}{c_o \rho q} \quad (15)$$

eşitliğine göre yapılır (Akkurt 1990). Burada  $P_s$  - sürtünme gücü,  $c_o$  - yağın özgül ısısı,  $\rho$  - yağın yoğunluğu ve  $q$  - yağ debisidir. Sürtünme gücü ve debi denklemleri sıcaklık artışı 15 nolu eşitliğe uygulandığında, sıcaklık farkı

$$\Delta t = \frac{(\eta \omega r_d A)^2 K_s}{c_o \rho F K_q h_0^4} \quad (16)$$

olarak elde edilir. Burada istenen bir sıcaklık farkı değeri girildiğinde bu değeri sağlayan yağ film kalınlığı

$$h_0 = \sqrt[4]{\frac{(\eta \omega r_d A)^2 K_s}{c_o \rho F K_q \Delta t}} \quad (17)$$

olarak ifade edilir. Elde edilen bu yağ film kalınlığı sıcaklık artışını istenen minimum değere indirgemektedir.

### 2.4. Minimum Güç, Yatak Katsayısı ve Minimum Sıcaklık Farkına Göre Optimizasyon Çalışmaları

Minimum güç, yatak katsayısı ve minimum sıcaklık farkı denklemleri birlikte ele alınarak, her üç denklemin birleştirilmesinden yeni bir denklem elde edilmiştir. Elde edilen bu denklem

$$Y = w_1 P_t + \lambda_1 w_2 L + \lambda_2 w_3 \Delta t \quad (18)$$

şeklinde yazılır. Burada  $w_1$ ,  $w_2$  ve  $w_3$  ağırlık faktörleri,  $\lambda_1$  ve  $\lambda_2$  ise hassasiyet faktörüdür. Hassasiyet faktörleri

$$\lambda_1 = \frac{P_{t\min}}{L_{\min}} \quad (19)$$

$$\lambda_2 = \frac{P_{t\min}}{\Delta t_{\min}} \quad (20)$$

olarak ifade edilir. Ağırlık faktörleri arasındaki ilişki ise

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad (21)$$

şeklinde dir. Minimum güç için verilen 9 nolu denklemi, yatak katsayısı için verilen 13 nolu denklemi ve sıcaklık farkı için verilen 16 nolu denklemi, 18 nolu denkleme uygulandığında

$$Y = w_1 K_s \eta \frac{(\omega r_d)^2}{h_0} A + w_1 K_p \left( \frac{F}{A} \right)^2 \frac{h_0^3}{\eta \eta_p} + \lambda_1 w_2 \frac{F h_0^3}{\eta \omega r_d^4} + \lambda_2 w_3 \frac{(\eta \omega r_d A)^2 K_s}{c_0 \rho F K_q h_0^4} \quad (22)$$

şeklinde elde edilir. Burada

$$K_1 = K_s \eta (\omega r_d)^2 A, \quad K_2 = K_p \left( \frac{F}{A} \right)^2 \frac{1}{\eta \eta_p}, \quad K_3 = \frac{F}{\eta \omega r_d^4}$$

$$K_4 = \frac{(\eta \omega r_d A)^2 K_s}{c_0 \rho F K_q}$$

şeklinde tanımlandığında 22 nolu denklem

$$Y = w_1 \frac{K_1}{h_0} + w_1 K_2 h_0^3 + \lambda_1 w_2 K_3 h_0^2 + \lambda_2 w_3 \frac{K_4}{h_0^4} \quad (23)$$

şeklinde ifade edilir. Elde edilen bu denklem optimizasyon için amaç fonksiyonudur. Kısıtlayıcı fonksiyonlar ise

$$h_0 > h_{\min} \quad \Rightarrow \quad h_{\min} - h_0 < 0$$

$$\frac{K_4}{h_0^4} \geq \Delta t_{\min} \quad \Rightarrow \quad \Delta t_{\min} - \frac{K_4}{h_0^4} \leq 0$$

$$K_3 h_0^2 \leq L_{\min} \quad \Rightarrow \quad K_3 h_0^2 - L_{\min} \leq 0$$

olarak alınır. Buna göre Lagrange fonksiyonu

$$Y = w_1 \frac{K_1}{h_0} + w_1 K_2 h_0^3 + \lambda_1 w_2 K_3 h_0^2 + \lambda_2 w_3 \frac{K_4}{h_0^4} + u_1 (K_3 h_0^2 - L_{\min} + s_1^2) + u_2 (h_{\min} - h_0 + s_2^2) + u_3 \left( \Delta t_{\min} - \frac{K_4}{h_0^4} + s_3^2 \right) \quad (24)$$

şeklinde elde edilir. Lagrange çarpan teoremine göre optimizasyon işlemleri yapılır. Bu fonksiyonu minimum yapan yağ film kalınlığını bulmak için, fonksiyonun yağ film kalınlığına göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenir. Elde edilen denklemin çözümü için yazılan programda sayısal analiz yöntemi olan Newton Raphson yöntemi uygulanmıştır. Programın çalışması sonucunda yağ film kalınlığı değeri elde edilir. Elde edilen yağ film kalınlığı değerinin, debiyi, sürtünmeye harcanan gücü, pompa için gerekli olan gücü, ve sıcaklık artışını nasıl etkilediği tespit edilmiştir.

### 3. DAİRESEL EKSENEL HİDROSTATİK KAYMALI YATAK İÇİN YAPILAN OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Dairesel aksenal hidrostatik kaymalı yataklarda minimum güç için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Yatak katsayısına ve minimum sıcaklık farkı değerlerine göre çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda elde edilen değerler yeterli görülmediğinden, karşılaştırma yapmak ve daha etkin sonuçlara ulaşmak amacıyla her üç kriteri birlikte değerlendirerek üç kriterli optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Sayısal örneklerle yapılan optimizasyon çalışmaları sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve optimizasyon çalışmaları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır.

1. Opt: 2.1'de açıklanan minimum güç için yapılan optimizasyon çalışması sonuçları
2. Opt: 2.2'de açıklanan yatak katsayısına göre yapılan çalışmanın sonuçları
3. Opt: 2.3'de açıklanan minimum sıcaklık farkına göre yapılan çalışmanın sonuçları
4. Opt: 2.4'de açıklanan minimum güç, yatak katsayısı ve minimum sıcaklık farkına göre yapılan optimizasyon çalışması sonuçları

Dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yataklarda yapılan çalışmada her bir optimizasyon grubu için aşağıdaki sayısal veriler kullanılmıştır.

İç yarıçap  $r_i = 100$  mm

Eksenel Kuvvet  $F = 800$  kN

Devir sayısı  $n = 500$  d/d

Yağın viskozitesi  $\eta = 0.0414$  Pas

Pompa verimi  $\eta_p = 0.75$

Yağın yoğunluğu  $\times$  Yağın özgül ısı  $c_p \rho = 1,67 \cdot 10^6$  J/kg °C

Optimizasyon yapmak amacıyla yazılan bilgisayar programında, giriş verileri tamamlandıktan sonra, sayısal verilere göre öncelikle pompa gücü katsayısını ( $K_p$ ) minimum yapan oran bulunmuş ve bu orana bağlı olarak yatağın dış çapı hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda oran ( $r_i / r_d$ ) = 0,5335,  $K_{pmin} = 2,5713$  ve dış yarıçap  $r_d = 187,4$  mm olarak bulunmuştur. Yatakta oluşması gereken minimum yağ film kalınlığı ise  $h_{min} = 14,37$   $\mu$ m olarak hesaplanmıştır.

Optimizasyon çalışmalarının sonuçları çizelge 1'de verilmektedir. Optimizasyon sonuçları incelendiğinde, yağ film kalınlığı değerinin, minimum güç için yapılan optimizasyon çalışması (Opt.1) sonucunda minimum, minimum sıcaklık farkı için yapılan çalışma (Opt.3) sonucunda maksimum değerini aldığı belirlenmiştir. Minimum sıcaklık farkı değerini sağlayabilmek için yatağa gönderilecek yağ miktarının artması gerekir ve bu durum ise yağ film kalınlığı değerinin ve buna bağlı olarak debi miktarının artmasına neden olmaktadır. Bir başka deyişle yağ film kalınlığındaki değişime paralel olarak debi miktarı değeri de değişmektedir.

**Çizelge 1.**  
**Dairesel hidrostatik kaymalı yatak optimizasyon çalışması sonuçları**

Opt.No	$h_{opt}$ ( $\mu$ m)	Q (lt/dak)	Pp (W)	Ps (W)	Pt (W)	Ps/Pp	$\Delta t$
1	62,74	3,798	1074	3223	4298	3,00	30,49
2	88,73	10,742	3039	2279	5318	0,75	7,62
3	98,60	14,739	4170	2051	6221	0,49	5,00
4	93,88	12,723	3599	2154	5754	0,60	6,08

Yağ debi miktarı arttıkça yani yağ film kalınlığı değeri arttıkça sıcaklık farkı değeri azalmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda sıcaklık farkı değeri, minimum güç için yapılan optimizasyon çalışması sonucunda maksimum, minimum sıcaklık farkı için yapılan çalışma sonucunda ise minimum değerini aldığı görülmektedir.

Minimum güç için yapılan optimizasyon çalışması (Opt1.) sonucunda elde edilen toplam güç değeri tahmin edileceği gibi minimum ve minimum sıcaklık farkına göre yapılan çalışma (Opt.3) sonucunda elde edilen toplam güç değeri ise maksimum olmaktadır.

Yağ film kalınlığı değeri artırıldığında, sürtünme etkisi azaldığından sürtünmeye harcanan güç azalmaktadır. Ayrıca yağ film kalınlığı değeri arttırıldığında, daha fazla basma gücü gerektiğinden pompa için gerekli olan güç artmaktadır. Bu nedenle, 1 nolu optimizasyonda elde edilen minimum yağ film kalınlığı değerine bağlı olarak sürtünmeye harcanan güç maksimum değerine ulaşmakta ve pompa için gerekli olan güç ise minimum olmaktadır. Bu bilgiler ışığı altında 1 nolu optimizasyon çalışmasında sürtünmeye harcanan gücün pompa için gerekli olan güce oranının maksimum olduğu görülmektedir. Yağ film kalınlığı değeri 3 nolu çalışmada maksimum değerinde olduğundan, sürtünmeye harcanan güç minimum ve pompa için gerekli olan güç ise maksimum değerini almaktadır. Buna bağlı olarak 3 nolu çalışmada sürtünmeye harcanan gücün pompa için gerekli olan güce oranının minimum olduğu tesbit edilmiştir.

## 4. SONUÇ

Yapılan dört farklı çalışmanın sonuçları, dairesel hidrostatik kaymalı yataklar için gerçekleştirilen tüm optimizasyon çalışmalarında elde edilen minimum güç değerleri, kabul edilen  $P_{\min}$  değerine oranlandığında bulunan sayısal değerler ile tüm optimizasyon çalışmalarında elde edilen minimum sıcaklık farkı değerleri, kabul edilen  $\Delta t_{\min}$  değerine oranlandığında bulunan sayısal değerler karşılaştırma amacıyla çizelge 2’de verilmiştir. Ayrıca bu çizelgede tüm optimizasyon çalışmalarında elde edilen, sürtünmeye harcanan gücün pompa için gerekli olan güce oranı da yer almaktadır.

Hidrostatik aksel kaymalı yataklarda, gerekli olan toplam gücün minimum olması istenmektedir. Toplam gücün minimum olması, sürtünmeye harcanan gücün ve pompa için gerekli olan gücün minimum olmasına bağlıdır. Dairesel hidrostatik aksel kaymalı yataklarda, sürtünmeye harcanan gücün pompa için gerekli olan güce oranı 3 olduğunda ( $P_s / P_p = 3$ ), yatak için gerekli olan toplam gücün minimum olduğu tespit edilmiştir. Yatak için gerekli olan toplam güç minimum olduğunda yatakta meydana gelen sıcaklık artışı yüksek olmaktadır. Bu olay yatakta istenmeyen bir durumdur. Sıcaklık artışının fazla olması kullanılan yağın özelliklerini değiştirmekte ve kullanılan yağın viskozitesi azalmaktadır. Viskozitenin azalması yatak için gerekli olan toplam gücün artmasına neden olmaktadır. Bunun için sıcaklık artışının ve toplam gücün birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

**Çizelge 2.**  
**Dairesel hidrostatik aksel kaymalı yatak optimizasyon çalışması sonuçlarının karşılaştırılması**

Opt.No	$P_t / P_{\min}$	$\Delta t / \Delta t_{\min}$	$P_s/P_p$
1	1,00	6,10	3,00
2	1,24	1,52	0,75
3	1,45	1,00	0,49
4	1,34	1,22	0,60

Bu çalışmada hazırlanan bilgisayar programının çalıştırılması sonucunda, sadece yatak için gerekli olan toplam gücü minimize eden optimizasyon işlemi sonunda (Opt.No:1), sıcaklık farkı değerinin, istenen minimum sıcaklık farkı değerine göre yaklaşık 6 kat fazla olduğu tespit edilmiştir.

İstenen sıcaklık farkı değeri için yapılan optimizasyon işlemi (Opt. No:3) sonunda, yatak için gerekli olan toplam gücün, minimum toplam güce oranının yaklaşık 1,5 katı olduğu tespit edilmiştir. Her iki optimizasyon işlemleri sonucunda isteklerin birebir karşılanmadığı görülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre, yatak için gerekli olan toplam güç sarfiyatının az olması ve kullanılan yağın özelliklerinin fazla değişmemesi için 4 nolu optimizasyon işleminin yapılması gerekmektedir. Her üç kriterin birlikte değerlendirildiği bu çalışmada elde edilen gücün minimum güce oranı yaklaşık 1,3 ve ortaya çıkan sıcaklık farkının minimum sıcaklık farkına oranı yaklaşık 1,2 olarak tespit edilmiştir.

Dairesel aksel hidrostatik kaymalı yataklarda boyutsuz olarak bir yatak katsayısı tanımlanmış ve yatak katsayısına göre optimizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Böylece daha doğru bir yaklaşımla değerlendirme yapılabilmesi için alternatif sayısının artırılması sağlanmıştır.

Dairesel aksel hidrostatik kaymalı yataklarda minimum güç için yapılan optimizasyon çalışması, yatak katsayısına göre ve minimum sıcaklık farkına göre yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen değerlerin yeterli olmayacağı düşünülmüştür. Bunun yanında üç farklı kriter birlikte değerlendirilerek optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Literatürde minimum güç, yatak katsayısı ve minimum sıcaklık farkına göre çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Fakat bu kriterlerin üçünün birlikte değerlendirilerek yapılan çalışmaya rastlanmamıştır. Üç farklı kriter birlikte değerlendirilerek yapılan optimizasyon çalışması sonucunda, tek kriterle elde edilen optimizasyon çalışması sonuçlarına göre, yatak için gerekli olan toplam güç ve yatakta meydana gelen sıcaklık farkı değişimleri açısından çok daha iyi sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Akkurt, M. (1980) Makine Elemanları. İkinci Cilt. İTÜ. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul. (s: 1-239).
2. Akkurt, M. (1990) Makine Elemanları. Birsen Yayınevi, Cilt No:1, İstanbul. (s: 263-334).



3. Arora, J.S. (1989) Introduction To Optimum Design. McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, United States of America. (p: 78-183).
4. Freund, H. (1992) Konstruktions Elemente. Wissenschaftsverlag, Band 2, Mannheim. (p: 63-67).
5. Haberhauer, H., Bodenstern, F. (1997) Maschinenelemente. Springer, Berlin. (p:311-317).
6. Niemann, G. (1973) Makine Elemanları. Fon Matbaası, Ankara. (s: 259-290).
7. Peeken, H. (1975) Die Berechnung Hydrostatischer Lager. VDI Berichte Nr:248, Aachen. (p: 85-94).
8. Steinhilper, W., Röper, R. (1990) Maschinen- und Konstruktionselemente 3. Springer Verlag, Berlin. (p: 313-333).
9. Weck, M. (1985) Werkzeugmaschinen. Band 2. Konstruktion und Berechnung. VDI Verlag, Düsseldorf. (p: 145-197).