

**DİRENÇ ELEMANLI HİDROSTATİK EKSENEL KAYMALI YATAKLARIN
OPTİMUM TASARIMI**

Fidan ERTÜRK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2010
ANKARA**

Fidan ERTÜRK tarafından hazırlanan “ DİRENÇ ELEMENLİ HİDROSTATİK EKSENEL KAYMALI YATAKLARIN OPTİMUM TASARIMI” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Bedri TUÇ

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof. Dr. Bedri TUÇ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 30/09/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fidan ERTÜRK

**DİRENÇ ELEMANLI HİDROSTATİK EKSENEL KAYMALI YATAKLARIN
OPTİMUM TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Fidan ERTÜRK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2010

ÖZET

Bu tez çalışmasında: dairesel ve halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatakların kapileri ve orifis destekli kombinasyonları için optimizasyonu yapılmıştır.

Dairesel ve halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatak tiplerinin, kapileri tüp ve orifis gibi direnç elemanlarıyla kombinasyonu için; basınç, debi, sürtünme gücü, pompa gücü gibi optimizasyonda kullanılacak olan eşitlikleri direnç elemanı cinsine bağlı olarak elde edilmiştir. Optimizasyon çalışmalarında kolaylık sağlamak ve bu değerlerin yatak yarıçap oranlarına bağlı değişimini tespit etmek amaçlı debi, basınç, sürtünme gücü ve pompa gücü katsayıları; yatak yarıçap değerlerine bağlı olarak boyutsuz olarak ifade edilmiştir.

Optimizasyon çalışmasında amaç güç ifadesini minimize etmektir. Bu amaçla sürtünme gücü ve pompa gücünü minimize edecek film kalınlığı; optimizasyonda kullanılmak üzere elde edilen eşitliklerin, seçilen yardımcı program ile çözülmesi sonucu elde edilmektedir. Optimum film kalınlığı: minimum güç ve yatak katsayısı, minimum güç ve sıcaklık, minimum sıcaklık ve yatak katsayısı için yapılan optimizasyon çalışmalarına bağlı olarak elde edilmiş ve bulunan film

kalınlığı değeri kullanılarak debi, cep basıncı, sürtünme gücü, pompa gücü ve sıcaklık farkı değeri tekrar hesaplanmıştır.

Bilim Kodu : 914.1.090
Anahtar Kelimeler : Hidrostatik yatak, bilgisayar destekli optimizasyon, Kapileri kontrollü hidrostatik yatak, Orifis kontrollü hidrostatik yatak
Sayfa Adedi : 98
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Bedri TUÇ

**OPTIMIZATION OF COMPANSATED HYDROSTATIC THRUST
BEARINGS**

(M.Sc. Thesis)

Fidan ERTÜRK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2010

ABSTRACT

At this study circular thrust bearings, annular thrust bearings and combination of this bearings with capillary and orifice compensation explored. Optimization of capillary and orifice controlled bearings are analyzed and at this optimization work multi criteria method is used. This study is a computer aided optimization work.

First of all workouts about circular and annular thrust bearings which are studied before are considered. According to this studies, multi criteria method is chosen for being more realistic at optimization.

Variously from the other studies which are made before capillary and orifice compensation with thrust bearings are examined and this type controlled thrust bearings are optimized. With this study the formulations of friction power, pump power, total power, volumetric flow rate, recess pressure and increase of temperature for capillary and orifice controlled circular and annular thrust bearings are derived.

At optimization work matlab is used for getting results. At this programe bearing type and compensation element type are chosen by the user and some datas for bearing are entered manually. By using

this datas, general calculations and optimization results are computed and displayed on the screen.

Science Code : 914.1.090
Key Words : Hydrostatic bearings optimization, capillary, orifice, Computer aided optimization
Page Number : 98
Adviser : Prof. Dr. Bedri TUÇ

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Bedri TUÇ'a ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli ailem; annem, babam ve kardeőime teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. YATAKLAR.....	5
2.1. Hidrodinamik Yataklar.....	5
2.2. Hidrostatik Yataklar.....	6
2.3. Hidrostatik Yataklarda Direnç Elemanı.....	10
2.3.1. Kapileri tüp.....	11
2.3.2. Orifis.....	12
2.4. Kaynak Araştırması.....	14
2.5. Tezin Amacı.....	17
3. TEORİK ÇALIŞMALAR.....	19
3.1. Dairesel Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar.....	19
3.1.1. Dirençsiz sistem.....	20
3.1.2. Kapileri kontrollü sistem.....	25
3.1.3. Orifis kontrollü sistem.....	38
3.2. Halka Yuvalı Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar.....	43
3.2.1. Dirençsiz sistem.....	44
3.2.2. Kapileri kontrollü sistem.....	46
3.2.3. Orifis kontrollü sistem.....	53

Sayfa

4. OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI.....	57
4.1. Dairesel-Kapileri Kontrollü Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar.....	61
4.1.1 Min. güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon.....	61
4.1.2 Yatak katsayısı ve min. sıcaklık farkına göre optimizasyon.....	62
4.1.3 Min. güç ve min. sıcaklık için optimizasyon.....	63
4.2. Dairesel-Orifis Kontrollü Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar.....	65
4.2.1 Min güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon.....	65
4.2.2 Yatak katsayısı ve min. sıcaklık farkına göre optimizasyon.....	66
4.2.3 Min. güç ve min. sıcaklık için optimizasyon.....	67
4.3. Halka Yuvalı-Kapileri Kontrollü Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar.....	68
4.3.1 Min güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon.....	68
4.3.2 Yatak katsayısı ve min. sıcaklık farkına göre optimizasyon.....	70
4.3.3 Min. güç ve min. sıcaklık için optimizasyon.....	71
4.4. Halka Yuvalı-Orifis Kontrollü Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar...72	
4.4.1 Min güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon.....	72
4.4.2 Yatak katsayısı ve min. sıcaklık farkına göre optimizasyon.....	73
4.4.3 Min. güç ve min. sıcaklık için optimizasyon.....	74
5. HESAPLARIN SONUÇLARI VE GRAFİKLER.....	76
6. SONUÇ.....	94
KAYNAKLAR.....	96
ÖZGEÇMİŞ.....	98

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hidrodinamik radyal kaymalı yatakta yağ film basıncı.....	5
Şekil 2.2. Yüksüz hidrostatik radyal kaymalı yataktaki basınç dağılımı.....	8
Şekil 2.3 Hidrostatik aksenal kaymalı yatak çalışması şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.4. Direnç elemanı bulunan hidrostatik aksenal kaymalı yatak çalışma şeması.....	10
Şekil 2.5 Kapileri kontrollü aksenal kaymalı yatak.....	12
Şekil 2.6 Orifis kontrollü aksenal kaymalı yatak.....	13
Şekil 2.7 Direnç elemanları rijitlik karşılaştırma grafiği.....	13
Şekil 3.1 Dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak.....	19
Şekil 3.2 Boyutsuz geometrik katsayıların yarıçap oranına göre değişim grafiği.....	33
Şekil 3.3 Yarıçap oranına göre güç değerleri (N_s , N_p ve N_t) değişim grafiği.....	35
Şekil 3.4 Oran (R_1 / R_2) değişimine bağlı debi değişim grafiği.....	36
Şekil 3.5 Sıcaklık farkının oran (R_1 / R_2) değerine bağlı değişim grafiği.....	37
Şekil 3.6 Boyutsuz geometrik katsayıların yarıçap oranına göre değişim grafiği.....	42
Şekil 3.7 Oran (R_1 / R_2) değişimine bağlı güç değişim grafiği (sürtünme gücü,pompa gücü ve toplam güç.....	43
Şekil 3.8 Halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatak.....	44
Şekil 5.1 Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi.....	76
Şekil 5.2 Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi	77

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3 Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi	78
Şekil 5.4 Orifis kontrollü dairesel hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi.....	80
Şekil 5.5 Orifis kontrollü dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatakta film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi.....	81
Şekil 5.6 Orifis kontrollü dairesel hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi.....	82
Şekil 5.7 Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi.....	83
Şekil 5.8 Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi.....	84
Şekil 5.9 Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi.....	85
Şekil 5.10 Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi.....	86
Şekil 5.11 Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi.....	87
Şekil 5.12 Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi.....	88
Şekil 5.13 P_r cep basıncının P_s pompa basıncına oranının R_c kapileri yarıçapına göre değişimi.....	89
Şekil 5.14 P_r / P_s oranının l_c kapillary uzunluğuna göre değişimi.....	90
Şekil 5.15 P_s / P_r oranının R_o orifis yarıçapına bağlı değişimi.....	91
Şekil 5.16 Kapileri kontrollü yatak için P_r / P_s oranına bağlı rijitlik değişimi....	92
Şekil 5.17 Orifis kontrollü yatak için P_r / P_s oranına bağlı rijitlik değişimi.....	93

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1 Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak için optimizasyon çalışmaları.....	79
Çizelge 5.2 Orifis kontrollü dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak için optimizasyon çalışmaları.....	83
Çizelge 5.3 Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatak için optimizasyon çalışmaları.....	86
Çizelge 5.4 Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatak için optimizasyon çalışmaları.....	89

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Dairesel hidrostatik aksenal yataklarda alan
A_d	Halka yuvalı hidrostatik aksenal yataklarda dış alan
A_i	Halka yuvalı hidrostatik aksenal yataklarda iç alan
b	Halka yuvalı hidrostatik yataklarda bilinen çaplar arası genişlik
c₀	Özgül ısı
d₀	Yatağın ortalama çapı
W	Yük taşıma kapasitesi
F_s	Sürtünme kuvveti
h	Yağ film kalınlığı
h_{min}	Minimum yağ film kalınlığı
h_{opt}	Optimum yağ film kalınlığı
h_c	Yağ cebinin derinliği
K_c	Kapileri katsayısı
K_w	Kuvvet katsayısı
K_{wd}	Kuvvet dış katsayısı
K_{wi}	Kuvvet iç katsayısı
K_q	Debi Katsayısı
K_s	Sürtünme gücü katsayısı
K_{sd}	Sürtünme gücü dış katsayısı
K_{si}	Sürtünme gücü iç katsayısı
K_p	Pompa gücü katsayısı

Simgeler	Açıklama
K_o	Orifis katsayısı
L	Yatak katsayısı
L_{min}	Minimum yatak katsayısı
n	Devir sayısı
p	Basınç
p_r	Cep basıncı
p_p	Pompa basıncı
M_s	Sürtünme momenti
N_s	Sürtünmeye harcanan güç
N_p	Pompa için gerekli güç
N_t	Yatak için gerekli toplam güç
N_{tmin}	Yatak için gerekli olan minimum toplam güç
Q	Debi miktarı
q_i	İçeri akan debi miktarı
q_d	Dışarı akan debi miktarı
R_1	Dairesel hidrostatik aksenal yataklarda iç yarıçap
R_2	Dairesel hidrostatik aksenal yataklarda dış yarıçap
r_{01}	Halka yuvalı hidrostatik aksenal yataklarda ortalama iç yarıçap
r_{02}	Halka yuvalı hidrostatik aksenal yataklarda ortalama dış yarıçap
T_s	Sürtünme momenti
t	Yağın ortalama sıcaklığı
Δt	Sıcaklık farkı
Δt_{min}	Minimum sıcaklık farkı
η_p	Pompa verimi
ω	Açısal hız
η	Dinamik viskozite

Simgeler	Açıklama
μ	Sürtünme katsayısı
ν	Kinematik viskozite
ρ	Yoğunluk
λ	Hassasiyet oranı
w_1	Ağırlık faktörü
τ	Kayma gerilmesi

1. GİRİŞ

Yataklar, destekledikleri millerin kuvvet doğrultusundaki hareketini engelleyen ve dönme hareketine müsaade eden makine elemanlarıdır. Yataklar, etkiyen kuvvetin doğrultusuna bağlı olarak aksenel veya radyal yataklar olarak sınıflandırılır. Etkiyen kuvvetin doğrultusu; yatak aksenine dik ise bu tip yataklar radyal yataklar, yatak akseni doğrultusunda ise aksenel 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. 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.

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 [H. Kunkel- G. Hallstedt, Uğur Köktürk, 1974]. Yağ seçiminde yağ kalitesi de önemli bir faktördür.

Hidrodinamik kaymalı yataklarda, milin harekete geçişinde ve durmaya başladığında yatak ile mil yüzeyleri arasında yarı sıvı sürtünme ve metal sürtünmesi meydana gelebilir. Hidrostatik kaymalı yataklarda ise yatak yüzeyi ile mil yüzeyi arasında, milin çalışması sırasında, hiçbir zaman metal teması yoktur. Mil dönmeye başlamadan önce yatak ile mil yüzeyleri bir yağ filmi ile birbirinden ayrılır. Dolayısıyla mil dönmeye başladığında yüzeyler arasındaki sürtünme sıvı sürtünmedir. Bu yataklarda, çok küçük çalışma hızlarında ve büyük yatak yüklerinde dahi yatak ile mil yüzeyleri arasında basınçlı bir yağ filmi bulunur ve daima sıvı sürtünme meydana gelir. Dolayısıyla hidrostatik kaymalı yataklarda yatak ile mil yüzeylerinin izafi hareketine karşı koyan direnç, yağ filmi tabakaları arasındaki yağ filminin viskozitesine bağlı olan kayma direncidir.

Hidrostatik kaymalı yataklarda yatak-mil yüzeyleri arasına gönderilen basınçlı yağ: sabit akışlı kontrol valfi, kapileri tüp veya orifis adı verilen elemanlar vasıtasıyla kontrol edilerek yatakta bulunan ve cep adı verilen boşluklara gönderilir.

Hidrostatik kaymalı yataklarda bulunan her bir cep, yük taşıma bağımsızlığı bakımından kendi akış kontrol elemanına sahip olmalıdır. Akış kontrolü için sabit akışlı kontrol valfi, kapileri tüp ve orifis gibi direnç elemanları kullanılabilir. Sabit akışlı kontrol valfi kullanılan yataklar ile kapileri tüp kullanılan yataklar karşılaştırıldığında kapileri tüp kontrollü yatakların rijitliğinin daha az olduğu görülür. Kapileri tüp destekli yataklar ile değişken rijitlikler elde edilebilir kontrol valfi kullanılan yataklarda ise rijitlik sabittir. Orifis çok basit bir yapıda olmasına karşın yağ akışını etkili bir şekilde kontrol eder, yük seçimi ve rijitlikte bazı serbestlikler sağlar. Yatakta çok temiz bir yağlayıcı kullanılmadığı takdirde rijitlik ve akış karakteristiği hızla

değişmektedir. Kapileri tüp ile karşılaştırıldığında orifis daha karmaşık bir yapıdadır ve rijitliği kapileri tüpe göre biraz daha fazladır.

Sabit akışlı kontrol valfi kullanılan yataklar ile ilgili olarak çok sayıda optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalarda, akış kontrolü için kapileri tüp ve orifis kullanılması halinde bunların etkileri dikkate alınmamıştır. Bu nedenle tez çalışmasında hidrostatik aksenal kaymalı yataklarda akış kontrolü için kapileri tüp ve orifis direnç elemanlarının yatak performansına etkileri araştırılmıştır.

Kaymalı yataklarda izafi hareket kayma olduğundan meydana gelen aşınma adezyon aşınmasıdır. Bu çeşit aşınmaları önlemek için dikkat edilmesi gereken hususlardan biri de yatak malzemesinin seçimidir. Temasta bulunan malzemeler farklı yapıda ve farklı sertlikte olmalıdır. Malzemelerden biri sert ise diğeri yumuşak olmalıdır. Yatak malzemelerinde istenen özellikler:

- Aşınma ve korozyona dayanıklılık
- İyi bir basma ve yorulma mukavemeti
- Sürtünme katsayısı küçük olmalıdır.
- İyi bir ıslanma yeteneğine sahip olmalıdır
- Kolaylıkla işlenebilmelidir.
- Düşük bir ısıl genleşme katsayısına sahip olmalıdır.
- Yağda bulunan veya dışarıdan gelen sert parçacıkları abrasyon aşınmasını önlemek için bünyesine gömebilmelidir. Bu nedenle malzemenin elastisite modülü düşük olmalıdır yani yeterli derecede yumuşak olmalıdır.
- Mil malzemesi ile eş çalışma özelliği, yani yağsız çalışma hallerinde mil malzemesine kaynamamalıdır.

Teknikte kullanılan yatak malzemelerinin hiç birisi tüm bu istekleri karşılamaz. Her yatak malzemesi belli istekleri yerine getirmektedir. Bu nedenle çalışma şartlarına göre yatak malzemesi seçilmelidir.

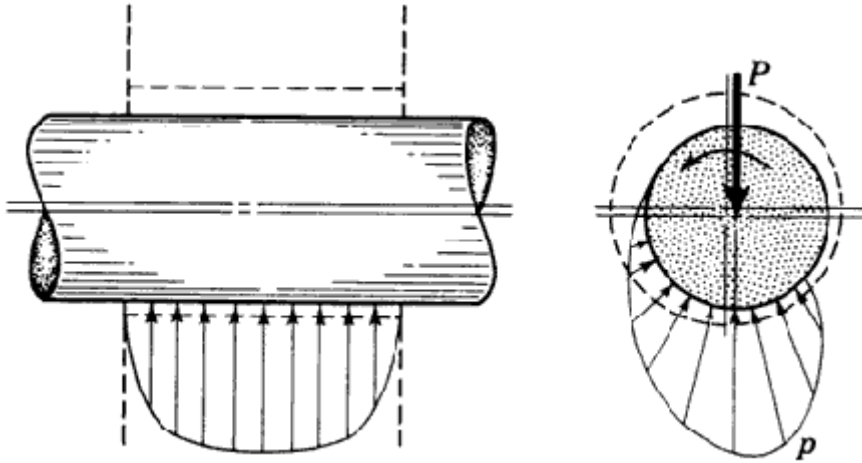
Kaymalı yatakların :

- Yük taşıma yüzeylerinin büyük oluşu,
- Çalışma sırasındaki titreşimi ve gürültüyü azaltması,
- Sarsıntı, toz ve kirliliğe karşı, rulmanlı yataklara oranla daha az hassas oluşları,
- Küçük yatak boşluğuna ve büyük geçme toleransına izin vermeleri,
- Yapılarının kolay oluşu, tek veya lokmalı ve ucuz olmaları,
- Konstrüksiyon şartlarına kolayca uyum sağlamaları,
- Sessiz, kuvvetli sarsıntı ve titreşimlere karşı dayanıklı olmaları, kullanım alanlarını daha da artırmaktadır.

2. YATAKLAR

2.1 Hidrodinamik Yataklar

Hidrodinamik kaymalı yataklarda sıvı sürtünmesinin meydana gelebilmesi için yağ filminin hareket yönünde daralması ve izafi hızın belli bir değerde olması gerekir. Eksenel yataklarda daralan yağ kamasının oluşması iki şekilde sağlanır: yatak yüzeyi lokma adı verilen parçalar bölünür ve parçalara sabit bir eğim verilir veya parçalar bir noktadan mafsallı yapılır dolayısıyla değişken eğimli bir yüzey elde edilir. Değişken eğimli yüzeyler küresel ve silindirik vesnetlerle oynak hale getirilir. Radyal yataklarda daralan yağ kaması yatak ile mil arasındaki eksantriklik ile sağlanır. Şekil 2.1' de bir hidrodinamik radyal kaymalı yatakta yağ film basıncının değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Hidrodinamik radyal kaymalı yatakta yağ film basıncı

Mil ile yatak zarfı arasında mevcut olan boşluk toleransından ve ayrıca milin yatak zarfı içindeki deplasmanından dolayı bu iki eleman arasında git gide daralan bir geçiş kesiti meydana gelir. Dönme hareketi sırasında, milin yüzeyine çok iyi yapışan yağ bu bölgeye çekilir ve yağlayıcı akışkan içinde bir basınç etkisi açığa çıkar. Yatağın kaldırma gücünü yani yük kapasitesini

bu basınç etkisi sağlamaktadır. Bundan dolayı, ilk defa harekete başlama sırasında herhangi bir basınç etkisi mevcut değildir. Yüzeylerin tam olarak birbirlerinden ayrılmasından önce, bir süre sınır tabaka yağlaması söz konusu olur. Bu halde, yüzeyler kısmen sıvı ve kısmen metal teması halinde bulunur. Yüzeylerin birbirlerinden tam olarak ayrılması yüzeylerin izafi hızının yani milin dönme hızının belli bir değere ulaşması ile gerçekleşir.

Hidrodinamik radyal kaymalı yataklarda düşük sürtünme kuvveti ve düşük güç kaybı meydana gelmesinin yanı sıra bu yataklar basit yapılıdır ve maliyetleri düşüktür.

Dezavantajları:

- Çalışma hızı gerekli derecede yüksek değilse uygun hidrodinamik basınç sağlanamayabilir.
- Mil dönmeye başladığında, dönme yönü değişirken veya duruşa geçtiğinde yağlayıcı film tabakası bozulabilir ve yüzeylerde metal teması olur.

2.2 Hidrostatik Yataklar

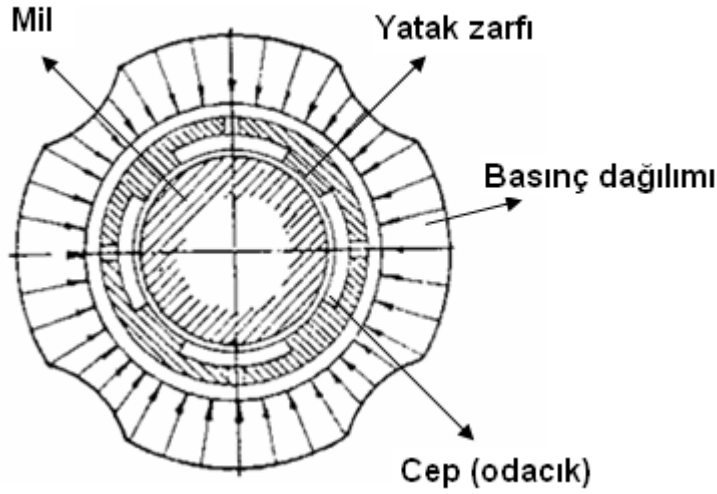
Hidrostatik veya yüksek basınçlı pompa ile basınçlandırılmış yatak olarak adlandırılan yataklar kayma yüzeyleri arasındaki taşıyıcı film kalınlığının etkisiyle çok küçük çalışma hızlarında da çalışabilirler. Yatak yüzeyleri, pompa ile basınçlandırılarak gönderilen akışkan ile birbirinden ayrılır, akışkan, yatakta yüksek rijitlik ve sönümleme sağlar.

Yatağa etki eden kuvvetin yönü, yatak merkezine doğru olan yataklara radyal hidrostatik kaymalı yataklar, yatağın eksenine doğrultusunda olan yataklara hidrostatik aksenal kaymalı yataklar denilir.

Hidrodinamik kaymalı yataklarda sistem çalışmaya başlarken veya dururken meydana gelebilen metal teması hidrostatik kaymalı yataklarda basınçlandırılmış akışkan etkisiyle meydana gelmemektedir.

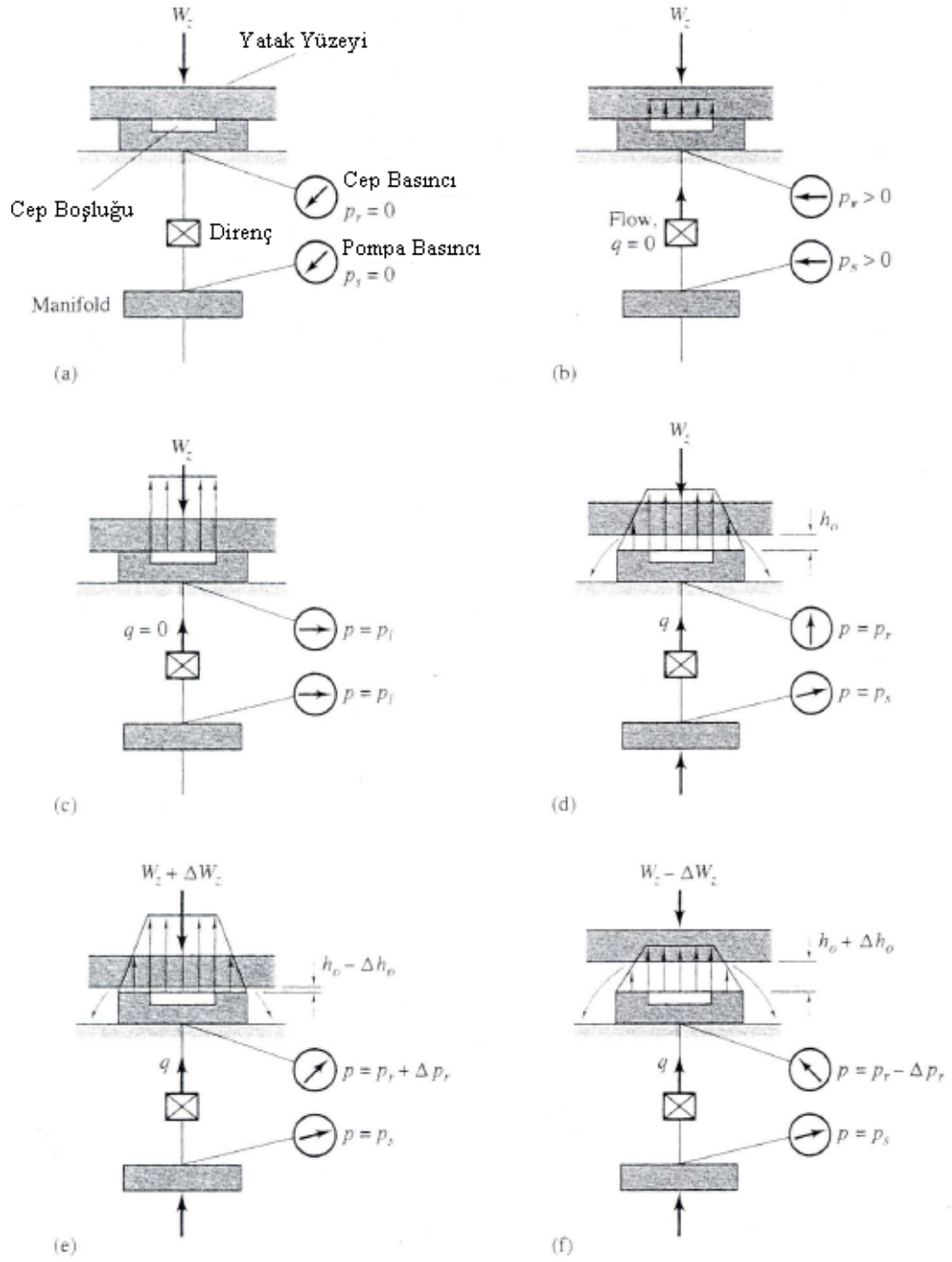
Hidrostatik yataklar çok düşük hızlarda bile büyük yük taşıma kabiliyetine sahiptirler. Bu nedenle, çok büyük teleskop, radar yakalama üniteleri, makine elemanları, geniş türbin jeneratör üniteleri, dinamometreler, magnetik elemanların desteklenmesi vb. gibi düşük hızlarda ve yüksek yük kapasitesi gerektiren sistemlerde kullanılırlar. Hidrostatik kaymalı yataklar rijitlik ve sönümleme kapasitesine bağlı olarak hafif yüklerde ve yüksek çalışma hızlarında da iyi derecede konumlama kabiliyetine sahiptir. Hidrostatik yataklarda akışkanı basınçlandıracak bir pompa sistemi ve akışkanı temizleyecek bir sisteme ihtiyaç vardır, bunlar da maliyeti artıran faktörlerdir.

Bir hidrostatik radyal kaymalı yatakta, basınç karşılıklı yüzeyler arasındaki izafi harekete bağlı değildir. Bu basınç dışarıdan bir pompa ile sağlanır. Bu tip yüksüz bir yataktaki basınç şartları Şekil 2.2 de gösterilmiştir. Yatak zarfı içerisinde 4 adet odacık bulunmaktadır. Her bir odacık eşik adı verilen çıkıntılı kısımlarla sınırlandırılmıştır. Bu eşiklerin mil yüzeyine olan radyal mesafesi, hidrodinamik tip bir kaymalı yatak zarfında görülen boşlukla hemen hemen aynı mertebededir [H. Kunkel- G. Hallstedt, Uğur Köktürk, 1974]. Bu odacıklara devamlı olarak basınçlı bir yağ gönderilir. Basınçlanan yağ mille eşikler arasında bırakılmış olan boşluklardan geçerek yatağın uç kısımlarına serbestçe akabilir. Bütün odacılarda debi miktarı aynı değerde olduğunda mil yatak içinde öyle bir konum alır ki eşiklerle mil yüzeyi arasındaki bütün geçit veya boşlukların yüksekliği birbirlerine eşit durumda bulunur. Başka bir ifade ile dönsün veya dönmesin mil yatak içinde merkezi bir konumdadır. Bu durumda basınç değeri bütün odacıklarda birbirlerine eşittir.



Şekil 2.2 Yüksüz hidrostatik radyal kaymalı yataktaki basınç dağılımı

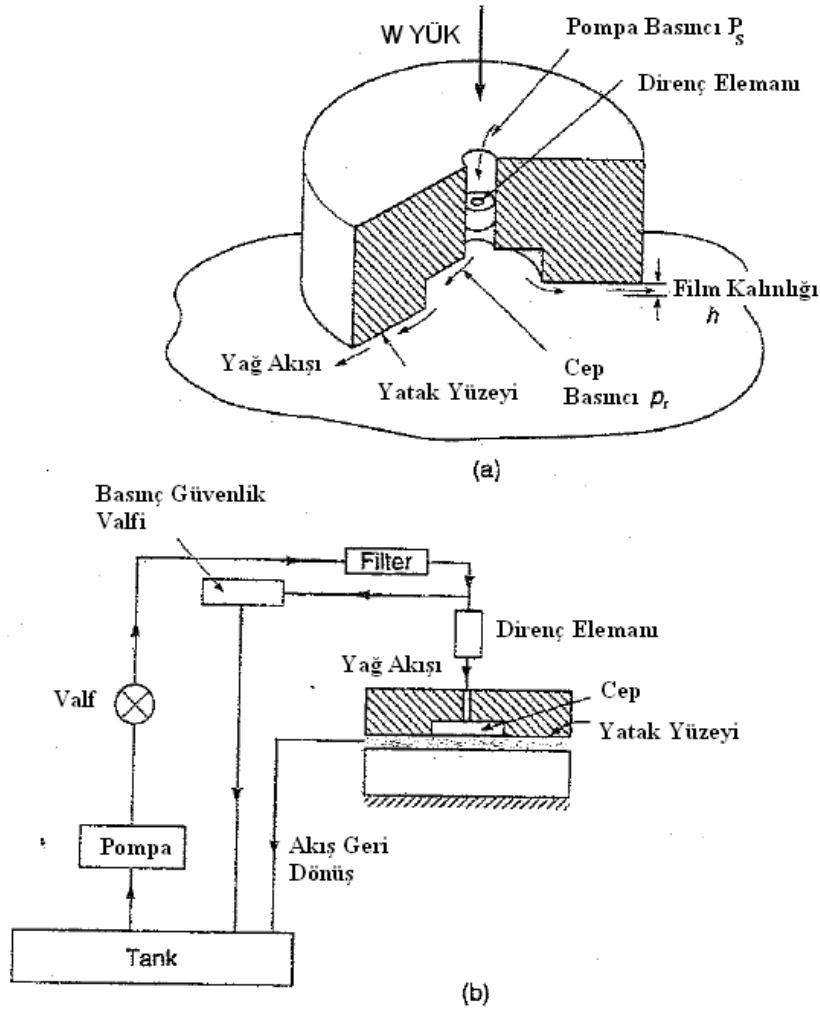
Hidrostatik aksenal kaymalı yataklarda W yatak yükü etkisiyle mil ve yatak yüzeyleri birbiri üzerine bastırılır (Şekil 2.3a). Yüksek basınçlı yağ pompasından çıkan basınçlandırılmış akışkan önce yatak üzerindeki cep boşluğunu doldurur, cep basıncının artmasını sağlar (Şekil 2.3b). Cepteki basınç yatak yükünü taşıyacak değere çıktığında yüzeyler birbirinden ayrılmaya başlar (Şekil 2.3c). Yatak yükünü taşıyabilen basınca taşıma veya kaldırma basıncı denir. Şekil 2.3d den de görüleceği gibi hareketli mil yüzeyinin sabit yatak yüzeyinden ayrılması ile cep basıncı, kaldırma basıncından daha düşük bir değerde kalır. Yükün kaldırılması sonucu iki yüzey (sabit ve hareketli kayan yüzey) arasından yağ akışları olur. Bu sebeple pompa ile yatak arasında basınç düşüşü meydana gelir. Yatak üzerindeki yükleme arttıkça yatak yüzeyleri arasındaki film kalınlığı azalır ve cep basıncı artar, yatak basıncı ise yükü dengeleyecek miktara ulaşana kadar bu durum devam eder. Şekil 2.3f de görüldüğü gibi yük miktarı azaldıkça yağ film kalınlığı artar buna bağlı olarak cep basıncı azalır. Teorik olarak maksimum yük taşıma, cep basıncı pompa basıncına eşit olduğu durumda gerçekleşir. Yatak üzerindeki yük pompa basıncından da fazla ise yatak, yük miktarı azalana kadar sabit bir konumda hareketsiz kalacaktır.



Şekil 2.3 Hidrostatik aksenal kaymalı yatak çalışması şematik gösterimi

2.3 Hidrostatik Yataklarda Direnç Elemanı

Hidrostatik kaymalı yataklarda basınçlı yağın cep boşluğuna gidiş hattında direnç elemanı bulunabilir. Basınç hattında bulunan direnç elemanı ile akış, kontrollü olarak cep boşluğuna gönderilir. Bu durumlarda ceplerdeki akışkan basıncı, pompanın gönderdiği akışkan basıncından farklı olur. Direnç elemanı olarak genellikle kapileri tüp ve orifis direnç elemanları kullanılır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Direnç elemanı bulunan hidrostatik eksenel kaymalı yatak çalışma şeması

Şekil 2.4'de görüldüğü gibi pompa, akışkanı tanktan emer. Pompa tarafından emilen akışkan basınçlandırılarak cep boşluğuna gönderilir. Dirençli sistemlerde akışkan cep boşluğuna ulaşmadan direnç elemanından geçer ve akışkan basıncı pompa basıncından farklı bir değerde cep boşluğuna dolar. Cep boşluğuna dolan akışkan yatak yükünü taşır ve sürekli olarak yüzeylerden dışarıya akarak yağ deposuna gider. Bu nedenle yağ filminin sürekli oluşabilmesi, yatak cebine yeterli miktarda yağ göndermekle mümkündür.

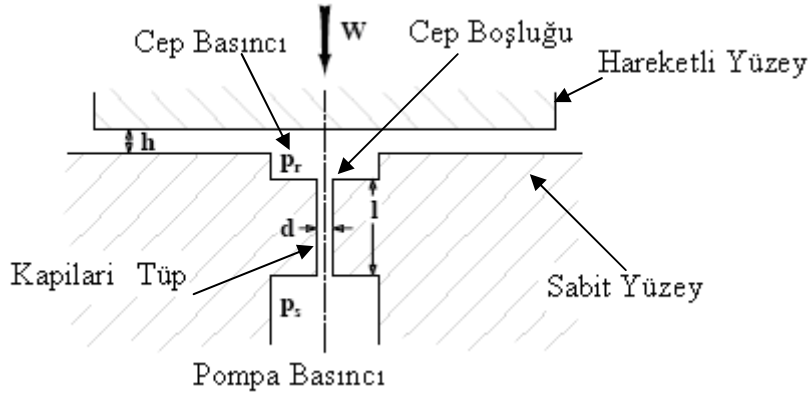
2.3.1 Kapileri tüp

Kapileri tüpün esası Şekil 2.5 de görüldüğü gibi çok küçük çaplı uzun bir tüptür ve kılcal boru olarak da değerlendirilebilir. Pompadan gelen basınçlandırılmış yağın bulunduğu bölge ile cep boşluğu arasında bulunur. Kapileri tüp çapı ve uzunluğu rijitlik göz önünde bulundurularak seçilir. Kapileri tüp boyunca olan akış Hagen-Poiseuille denklemi ile elde edilir. Bu denklem, uzunluğun çapa olan oranı $l/d > 100$ olan ve Reynolds sayısı $Re < 2000$ olan tüplere uygulanır [Stachowiak, G. W., 2000].

Tüpteki akış laminar akış kabul edilip, tübe giriş ve çıkıştaki etkiler ve viskozite değişimi ihmal edildiğinde tüpten geçen akışkanın debisi: P_s pompa basıncı, P_r cep basıncı ve η viskozite olmak üzere;

$$q_c = \frac{k_c (P_s - P_r)}{\eta} \quad (2.1)$$

olarak verilir. Denklemdaki k_c değeri kapileri tüp sabiti olup, kapileri tüp yarıçapına R_c ve uzunluğuna l_c bağlı olarak ifade edilir. Kapileri tüp uzunluğu l_c arttıkça, kapileri tüp sabiti; uzunluğa bağlı olarak doğrusal bir artış gösterirken, kapileri tüp yarıçap değeri arttıkça kapileri tüp sabiti azalır.



Şekil 2.5 Kapileri kontrollü aksel kaymalı yatak

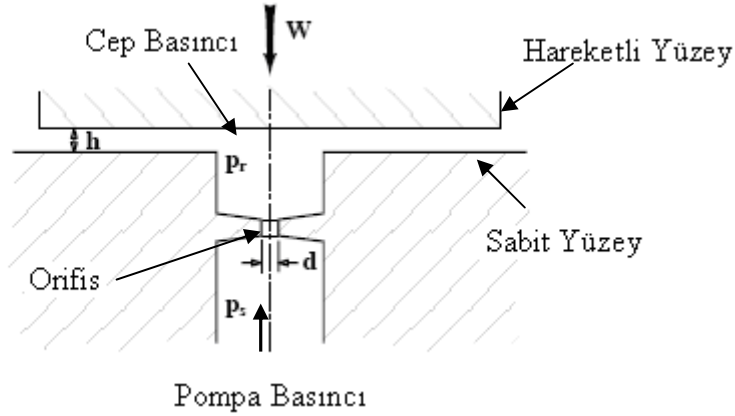
Kapileri tüp çok ince çaplı bir boru olabilir ancak tıkanmaya karşı önlem olarak kapileri çapı 6×10^{-4} m değerinden küçük olmamalıdır [Stachowiak, 2000].

2.3.2 Orifis

Orifis direnç elemanı (Şekil 2.6) çok basit bir yapıda olmasına karşın yağ akışını etkili bir şekilde kontrol eder, yük seçimi ve rijitlikte bazı serbestlikler sağlar. Rijitlik bakımından orifis, kapileri tüp ile karşılaştırıldığında, Şekil 2.7'den görüldüğü gibi rijitliğinin kapileri tüpe göre daha fazla ancak sabit akışlı sisteme göre daha az olduğu görülür. Sıkıştırılmayan akışkan debisi, orifis boyunca

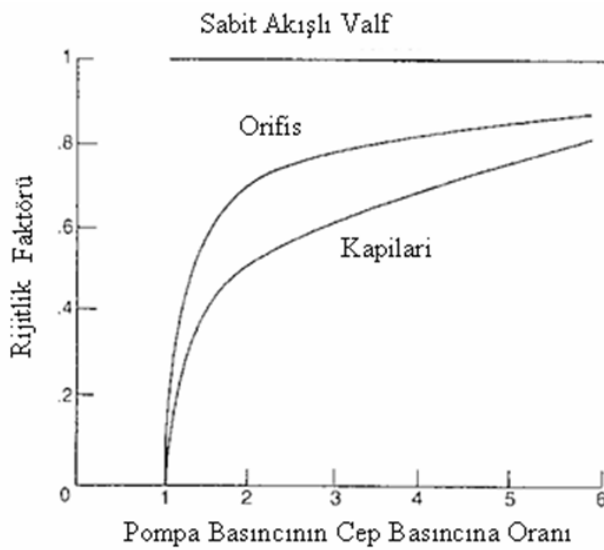
$$q_o = k_o (P_s - P_r)^{1/2} \quad (2.2)$$

olarak tanımlanır. Burada K_o değeri orifis için tanımlanan sabit bir değer olup, orifis yarıçapına R_o , akışkan yoğunluğuna ρ ve akışkan sabitine C_D bağlı olarak ifade edilir. Orifis yarıçapı R_o , akışkan yoğunluğu ρ ve akışkan sabiti C_D arttıkça orifis sabiti de artar.



Şekil 2.6 Orifis kontrollü aksel kaymalı yatak

Rijitlik sabiti denklemi sabit akışlı yatak için bulunan rijitlik denklemi ile aynıdır [Stachowiak G. W., 2000]. Orifisin uygulanışının çok kolay olmasına karşın orifis destekli yatağın önemli bir eksikliği vardır. Akışkandaki kirlenici parçacıkların etkisiyle yüzeyde meydana gelen eroziv aşınma nedeniyle orifisin akış özellikleri kolayca değişkenlik gösterebilir. Çok temiz bir yağlayıcı kullanılmadığı takdirde rijitlik ve akış karakteristiği hızlıca değişebilmektedir. Kapileri tüp ile karşılaştırıldığında orifis daha karmaşık bir yapıdadır ve rijitliği kapileri tüpe göre biraz daha fazladır (Şekil-2.7).



Şekil 2.7 Direnç elemanları rijitlik karşılaştırma grafiği [Malanoski and Loeb, 1960]

2.4 Kaynak Araştırması

Erdem Koç ve Beşir Şahin: dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatakların farklı çalışma koşulları altındaki performansı teorik olarak incelenmiştir. Farklı boyutsal teorik bir yöntem kullanılarak yük taşıma kapasitesi, akış debisi ve gerekli pompa gücü eşitlikleri geliştirilmiştir. Bu parametrelerin yatak geometrisine ve çalışma koşullarına bağlı değişimleri incelenmiştir.

Stanley B. Malanoski ve Alfred M. Loeb ; hidrostatik aksenal kaymalı yataklarda kapileri tüp, orifis ve sabit akışlı valf gibi direnç elemanlarının rijitlik üzerine etkilerini ve bu direnç elemanlarının eklenmesiyle, pompanın uyguladığı basıncın cep basıncına oranının değişimini incelemiştir.

Marvin T.S. Ling: hidrostatik aksenal kaymalı yatakların rijitlik açısından optimizasyonu incelenmiştir. Herhangi bir yağ film kalınlığı seçilerek yatak rijitliğinin maksimum değeri uygun bir basınç oranında (cep basıncının pompa basıncına oranı) elde edildiği belirtilmiştir. Farklı basınç oranları değerlendirilirken; film kalınlığı sabit tutulup yataktaki direnç elemanı sabiti değiştirilmeyip yağ filminin kalınlığı değiştirilerek elde edilmiştir. Yapılan çalışmalara göre optimum şartları elde etmek için; yağ film kalınlığı yerine direnç elemanı sabitinin daha fazla etkili olduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda yapılan çalışmalar sonucuna göre sıkıştırılmayan akışkanlarda rijitlik optimizasyonunda sadece yatakta kullanılan direnç elemanı tipi etkiliyken, sıkıştırılabilen akışkanlarda çıkış basıncının da etkili olduğu tespit edilmiştir.

Solmaz ve Öztürk ; Dirençsiz dairesel ve halka yuvalı aksenal kaymalı yataklarda tekli ve çoklu kriter yöntemini kullanarak optimizasyon çalışması yapmıştır. Bu optimizasyon çalışmalarında toplam gücü minimize etmek ve sıcaklık farkını azaltmak amaçlı çalışmıştır.

S. Raynor, A Charnes: hidrostatik aksenal kaymalı yataklarda cep şekli cep lokasyonu belirlenmiştir. Farklı geometrilerdeki cep şekilleri, buna bağlı

yatağın yük taşıma kapasitesi, akış debisi, yağ film kalınlığı, basınç ve hız dağılımını incelenmiştir.

Fazıl Canbulut, Cem Sinanoğlu, Şahin Yıldırım: hidrostatik eksenel kaymalı yatakların rijitlik değişimleri deneysel ve teorik olarak analiz edilmiştir. Teorik ve deneysel sonuçlarla orifis çapı ve yarıçap oranının yatak rijitliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Maksimum rijitlik için orifis çapı 0.3 mm ve yarıçap oranı 1.5 olarak belirlenmiştir.

Jaw Ren Lin: çift gerilmeye maruz akışkan yağ için; akış ataleti sabit performans için cep akışındaki sıkıştırılabilirlik, dinamik rijitlik ve sönümlenme karakteristiği dairesel hidrostatik eksenel yataklar için teorik olarak incelenmiştir. Microcontinuum teorisi ve Reynolds eşitliğine bağlı olarak ve Stokes eşitlikleri kullanılarak cep akışındaki devamlılık eşitlikleri çıkartılarak yağ filmindeki çift gerilim etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalara bağlı olarak sabit durum için yük taşıma kapasitesinin akışkan ataleti ile azaldığı buna karşılık yüksek derecede çift taraflı gerilmeye maruz kaldığında yük taşıma kapasitesinin etkilenmediği tespit edilmiştir. Yatak cebindeki akışkan sıkıştırılabilirliğinin sönümlenme karakteristiğini değiştirmedeği bununla birlikte dinamik rijitliğini önemli derecede artırdığı belirtilmiştir. Akışkanın çift taraflı gerilime maruz kalması dinamik rijitlik ve sönümlenme karakteristiğinde artış sağlamaktadır.

Dairesel direnç elemanlı hidrostatik eksenel kaymalı yataklardaki yüzey pürüzlülüğünün dinamik rijitlik ve sönümlenme karakteristiğine etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak ortalama rijitlik ve sönümlenme karakteristiğinin yataktaki yüzey pürüzlülüğü ve yüzey pürüzlülüğünün derecesiyle doğrudan ilişkisi olduğu belirtilmiştir. Yataktaki çevresel pürüzlülük ortalama yatak rijitliğinde ve sönümlenme karakteristiğinde, düzgün bir yatak yüzeyi ile kıyaslandığında artış sağlarken radyal yatak pürüzlülüğünde bu durumun tersi görüleceği belirtilmiştir.

Noah D. Manring, Robert E. Johnson, Harish P. Cherukuri: hidrostatik aksenal kaymalı yataklarda basınç kaynaklı meydana gelen hasara bağlı yatak çalışma hassasiyeti incelenmiştir. Reynolds' un klasik akışkan eşitlikleri kullanılarak basınç dağılımı, akış debisi ve yük taşıma kapasitesini ifade eden eşitlikler türetilmiştir. Bu eşitlikler kullanılarak yataktaki deformasyon incelenmiştir. Sonuç olarak bütün deformasyonların yataktaki akış debisini artırdığı, konkav deformasyonların yük taşıma kapasitesini artırdığı, konveks deformasyonların ise yük taşıma kapasitesini azalttığı gözlemlenmiştir. Aynı miktardaki konveks ve konkav deformasyonlar karşılaştırıldığında, konkav deformasyonun akış debisinde daha fazla artışa sebep olduğu tespit edilmiştir. Yatak deformasyonunun akış debisi üzerindeki etkisinin yük taşıma kapasitesine olan etkisinden daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Satish C. Sharma, S. C. Jain, D. K. Bharuka: çalışmalarında farklı cep geometrilerindeki dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatakların statik ve dinamik performansı teorik olarak incelenmiştir. Dairesel, dikdörtgen, eliptik cepli ve halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yataklarda sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak performans karakteristikleri incelenmiştir. Yatak performansları: aynı çalışma koşulları ve aynı yatak geometrik parametreleri (yatak alan oranı ve direnç elemanı katsayısı gibi) göz önünde bulundurulurken değerlendirilmiştir. Yatak cebi geometrisi ve direnç elemanının yatak performansı üzerindeki etkisi birlikte incelenmiştir. Sonuç olarak dairesel aksenal kaymalı yataklarda cep geometrisinin statik ve dinamik performans üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Aynı direnç elemanı katsayısı değeri için: dairesel kapileri kontrollü hidrostatik aksenal yatak ile halka yuvalı kapileri kontrollü hidrostatik aksenal yatak karşılaştırıldığında; halka yuvalı yataktaki yağ akışkan gereksiniminin dairesel yatağa göre yaklaşık % 87 oranında daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Yük taşıma kapasitesi ve film kalınlığı rijitliği kapileri kontrollü halka yuvalı, dikdörtgen ve dairesel cepli hidrostatik aksenal kaymalı yataklar için

incelenmiş ve halka yuvalı yataklarda en yüksek değer elde edilirken ikinci olarak dikdörtgen cepli yataklarda en düşük değer ise dairesel cepli yataklarda elde edildiği gözlemlenmiştir. Direnç elemanı katsayısının yüksek değerleri için eliptik cepli kapileri kontrollü yataklarda sönümlenme karakteristiği açısından en uygun performans elde edildiği belirlenmiştir. Akışkan film rijitliği açısından bir sıralama yapılacak olursa dairesel cepli yatak birinci, kare cepli yatak ikinci, eliptik cepli yatak üçüncü, üçgen cepli yatak ise dördüncü sırada yer alacağı belirtilmiştir. Seçilen herhangi bir cep geometrisi ve direnç elemanı katsayısına göre orifis kontrollü yatak yüksek akışkan kuvveti sağlarken sabit akışlı valf ise rijitlik ve sönümlemede maksimum değeri sağlamaktadır.

Stanley B. Malanoski, Alfred M. Loeb: kapileri, orifis ve sabit akışlı valf gibi direnç elemanlarının rijitlik ve yağlayıcı film üzerindeki etkisi teorik olarak incelenmiştir. Yatak rijitliği, yük taşıma kapasitesi ve film kalınlığı eşitlikleri türetilmiştir. Sabit akışlı valf, kapileri tüp ve orifis gibi direnç elemanları karşılaştırıldığında, film kalınlığına ve taşınan yüke bağlı olmaksızın rijitlik değerinin sabit akışlı valfde en yüksek, orifis için ikinci sırada ve kapileri tüpte ise en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir

2.5 Tezin Amacı

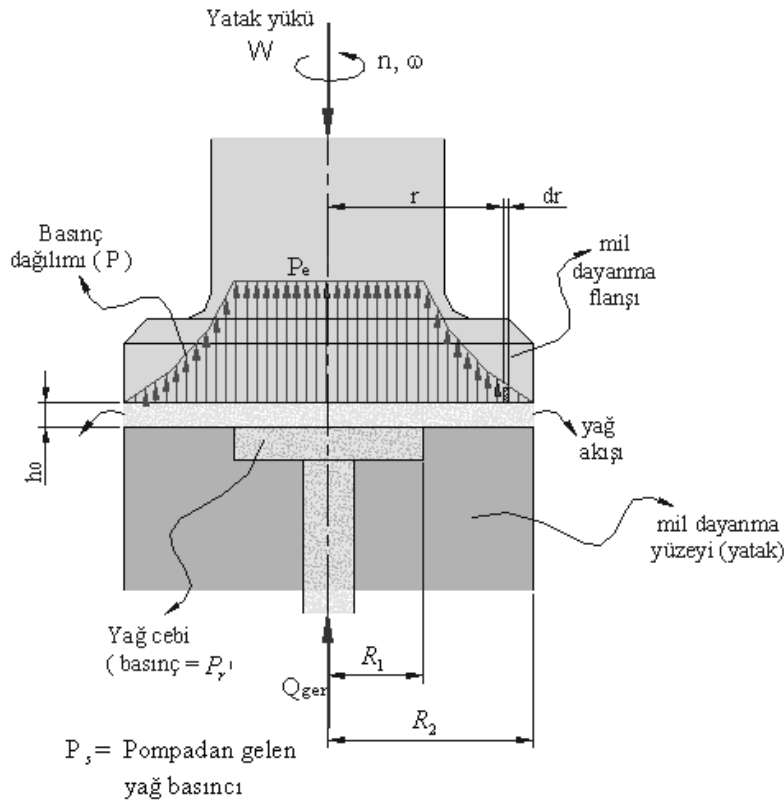
Bu çalışmada: dairesel ve halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatakların kapileri ve orifis kontrollü tipleri incelenmiştir. Kapileri tüp ve orifis kontrollü dairesel ve halka yuvalı cepli aksenal kaymalı yataklar için hesaplanması gereken değerler; debi, yük taşıma kabiliyeti, sürtünme için harcanan güç, pompa gücü ve toplam güç olup bunlarla ilgili gerekli bağıntılar elde edilmiştir. Kapileri tüp ve orifis direnç elemanlarının bu bağıntılara etkileri incelenmiştir. Debi, yük taşıma kabiliyeti, sürtünme gücü ve pompa gücü için boyutsuz katsayılar tanımlanmış ve optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen bağıntılar kullanılarak toplam güç ve sıcaklık minimize edilmeye çalışılmıştır. Tez çalışmasının amacı direnç elemanının dairesel ve halka

yuvalı yatak tipleri üzerindeki etkilerini incelemek, toplam gücü minimize etmek ve bu amaçla uygun yatak çalışma değerlerini bulmaktır.

3. TEORİK ÇALIŞMALAR

3.1. Dairesel Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar

Dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yatakların çalışma prensibi Şekil 3.1 de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi pompadan gönderilen basınçlı yağ cep boşluğunu doldurmak suretiyle yüzeylerin birbirinden ayrılmasını sağlar. Yatak mil ikilisi çalıştığı sürece cep boşluğuna dolan yağ sürekli olarak mil-yatak yüzeyleri arasından dışa doğru akar. Basınçlı yağın sürekli olarak dairesel cep'e gönderilmesi ile mil, dolayısıyla yatak yükü desteklenir.



Şekil 3.1 Dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yatak

3.1.1. Dirençsiz sistem

Dairesel aksenal yatak için cep yarıçapı R_1 , yatak dış yarıçap R_2 , basınç ise P ile ifade edilip, yatak ve mil yüzeyleri arasındaki yağ film kalınlığının radyal ve açısız konumlarda aynı, basınç açısız değişimden bağımsız ve yağlayıcının sıkıştırılmayan bir akışkan olduğu kabul edilirse Reynolds eşitliği basitleştirilmiş olarak [Stolarski, 1990] :

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial P}{\partial r} \right) = 0 \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilir. Gerekli integral işlemleri yapılarak eşitlik:

$$\frac{\partial P}{\partial r} = C_1 \quad (3.2)$$

$$P = C_1 \ln r + C_2 \quad (3.3)$$

olarak elde edilir. C_1 ve C_2 integral sabitleri; $r = R_1$ için $P = P_r$ ve $r = R_2$ için $P = 0$ sınır şartları kullanılarak bulunur ve elde edilen ifade basınç oranına göre düzenlenirse:

$$\frac{P}{P_r} = \frac{\ln(R_2 / r)}{\ln(R_2 / R_1)} \quad (3.4)$$

olarak elde edilir. Eş. 3.4, Eş. 3.1 'e yerleştirilip tekrar düzenlenirse:

$$\frac{dP}{dr} = \frac{-P_r}{r \ln(R_2 / R_1)} \quad (3.5)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadedeki eksi işareti $\frac{dP}{dr}$ basınç gradyanının negatif olması ile ilgilidir yani yarıçap r değeri arttıkça, basınç P değeri azalır.

Yatak sisteminde milin dönmesi ihmal edilerek merkezden r uzaklığında dr genişliğindeki (Şekil 3.1) elemanter halkadan geçen akışkan debisi için:

$$Q = \frac{2\pi r h^3}{12\eta} \left(-\frac{dP}{dr} \right) \quad (3.6)$$

eşitliği elde edilir. Eş. 3.5 deki $\left(\frac{dP}{dr} \right)$ ifadesi çekilip Eş. 3.6 da yerine konursa, Eş. 3.6;

$$Q = \frac{\pi h^3 P_r}{6\eta \ln(R_2 / R_1)} \quad (3.7)$$

olarak tekrar düzenlenir.

Eş. 3.4 den P_r ifadesi çekilip, Eş. 3.7 de yerine konursa, P basınç ifadesi, Q debiye bağlı olarak:

$$P = \frac{6\eta Q}{\pi h^3} \ln\left(\frac{R_2}{r}\right) \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir.

Cep derinliği, hidrostatik yataklarda film kalınlığının en az 100 katı daha fazla olduğundan yağ basıncı bütün cep alanı için uniform dağılım gösterir [Williams, 1994]. Yük taşıma kapasitesi, yatak üzerindeki basınç dağılımının yatak alanına bağlı integrasyonu olarak tanımlanır, akışkan basıncı ile doğru

orantılıdır ve akışkan viskozitesinden bağımsızdır. Yatak cep basıncı P_r sabit olduğundan; cep bölgesindeki yük taşıma kapasitesi: cep basıncı P_r ile cep bölgesi alanının çarpımına eşit olup cep bölgesinin yatak yükü:

$$W_c = \pi R_1^2 P_r \quad (3.9a)$$

şeklindedir. Cep bölgesinin dışında kalan yatak yüzeyinde yağ basıncı yatak iç yarıçapı R_1 ve yatak dış yarıçapı R_2 aralığında değiştiği için bu bölgenin yük taşıma kapasitesi (Şekil 3.1):

$$W_d = \int_{R_1}^{R_2} P_r \frac{\ln(R_2 / r)}{\ln(R_2 / R_1)} 2\pi r dr \quad (3.9b)$$

İfadesinden elde edilir. Buna göre integral işlemi yapılarak toplam yatak yükü iki ayrı bölgenin yatak yükleri toplamından:

$$W = P_r \pi R_1^2 + \frac{\pi P_r (R_2^2 - R_1^2)}{2 \ln(R_2 / R_1)} \quad (3.9c)$$

şeklinde elde edilir. Eş. 3.9c' den görüldüğü üzere yatağın yük taşıma kapasitesi, yatak geometrisine bağlı olarak yağ film basıncının artışıyla lineer olarak artar ve yük kapasitesi viskoziteden bağımsızdır. Bu sebeple yatak malzemesine zarar vermediği sürece istenilen yağ kullanılabilir [Williams, 1994].

Eş. 3.7 den debiye bağlı P_r basınç ifadesi Eş. 3.9c' de yerine konur ve gerekli işlemler yapılırsa, yatağın yük taşıma kapasitesini yağ debisine bağlı olarak veren ifade:

$$W = \frac{3\eta Q}{h^3} (R_2^2 - R_1^2) \quad (3.10)$$

şeklinde elde edilir.

Yataktaki sürtünme kayıplarının hesaplanması için viskozitenin etkili olduğu ve akışkan içinde meydana gelen kesme gerilmesi tespit edilmelidir. Yağ filminden dA birim elemanı dikkate alınır, birim elemandaki kesme kuvveti:

$$f = \eta dA \frac{U}{h}$$

şeklinde olup U birim hız, h yağ filminin kalınlığıdır. U hızı, açısal hız (ω) ve birim elemanın merkeze olan uzaklığının (r) çarpımına eşittir. Kesme kuvveti tekrar düzenlenirse:

$$f = \eta (rd\theta dr) \frac{r\omega}{h}$$

$$f = \frac{\eta \omega r^2 dr d\theta}{h} \quad (3.11)$$

olarak elde edilir.

Sürtünme momenti:

$$T = \frac{\eta \omega}{h} \int_0^{2\pi} \int_{R_1}^{R_2} r^3 dr d\theta$$

integral işlemleri yapılarak:

$$T = \frac{\pi \eta \omega}{2h} (R_2^4 - R_1^4) \quad (3.12)$$

şeklinde elde edilir.

Sürtünme için harcanan güç N_s ile belirtilirse, sürtünme momenti ve açısal hız ifadeleri kullanılarak:

$$N_s = T\omega$$

$$N_s = \frac{\pi\eta\omega^2}{2h}(R_2^4 - R_1^4) \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilir.

Pompa için harcanan güç N_p ile belirtilirse, cep basıncı P_r ve debi Q ifadelerine bağlı olarak

$$N_p = P_r Q$$

$$N_p = \frac{\pi h^3 P_r^2}{6\eta \ln(R_2 / R_1)} \quad (3.14)$$

şeklinde elde edilir. Toplam güç ise sürtünme gücü ve pompa gücü toplamından:

$$N_T = N_s + N_p$$

$$N_T = \frac{\pi\eta\omega^2}{2h}(R_2^4 - R_1^4) + \frac{\pi h^3 P_r^2}{6\eta \ln(R_2 / R_1)} \quad (3.15)$$

olarak ifade edilir.

Hidrostatik aksenal kaymalı yataklarda meydana gelen ısı, yağ tarafından dışarı atılır. Meydana gelen sıcaklık artışı [Kunkel ve Hallstedt, 1974]

$$\Delta T = \frac{N_s}{c_0 \rho Q} \quad (3.16)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Bu eşitlikte c_0 yağın özgül ısısı, ρ yağın yoğunluğu, Q debi ve N_s sürtünme gücüdür. Eş. 3.16 da görüldüğü üzere yatakta meydana gelen sıcaklık artışında kullanılan akışkanın özellikleri etkilidir. Yağın giriş sıcaklığını T_g simgesi ile gösterecek olursak yağın çıkış sıcaklığı;

$$T_c = T_g + \Delta T / 2 \quad (3.17)$$

olarak ifade edilir.

Hidrostatik aksenal kaymalı yatağa uygulanan yük W ve yatakta oluşan h film kalınlığına bağlı olarak yatak katsayısı [Solmaz, Babalık, 2002] ;

$$L = \frac{Wh^2}{\eta \omega R_2^4} \quad (3.18)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Sonraki bölümlerde, optimizasyon çalışmalarında yatak katsayısı, kontrollü hidrostatik aksenal kaymalı yataklar için ele alınmıştır.

3.1.2. Kapileri tüp kontrollü sistem

Dirençsiz sistem için elde edilen Eş. 3.8, basınç ifadesi sınır şartlar göz önünde bulundurularak; $r = R_1$, yani yarıçap değerinin cep yarıçapına eşit olduğu durumda basıncın cep basıncına eşit olduğu $P = P_r$ dikkate alınırsa cep basıncı [Rippel 1963]:

$$P_r = \frac{6\eta Q}{\pi h^3} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \quad (3.19)$$

olarak ifade edilir. Cep basıncı için elde edilen eşitlikten yararlanarak yatak yüzeyleri arasındaki akışkan debisi cep basıncına bağlı olarak:

$$Q = \frac{\pi h^3}{6\eta \ln(R_2 / R_1)} P_r \quad (3.20)$$

şeklinde ifade edilir. Pompadan basınçlandırılarak gönderilen akışkan, direnç elemanı kapileri tüpten geçerek cebe iletilir. Kapileri tüpten geçen akışkan debisi:

$$Q_c = K_c \Delta_p \quad (3.21)$$

şeklide kapileri tüp sabiti K_c ve pompa ile cep arasındaki basınç farkına (Δ_p) bağlı olarak ifade edilir. Kapileri tüp sabiti K_c :

$$K_c = \frac{\pi R_c^4}{8\eta l_c} \quad (3.22)$$

şeklinde, kapileri tüp yarıçapı R_c , tüp uzunluğu l_c ve dinamik viskozite η değerlerine bağlı olarak ifade edilir [Malanoski, Loeb, 1960].

Kapileri tüp ve yatak yüzeyleri arasından geçen akışkan debisi aynı olmak zorundadır. Buna göre Eş. 3.20 ve Eş. 3.21 birbirine eşitlenirse:

$$Q = Q_c$$

$$K_c \Delta_p = \frac{\pi h^3}{6\eta \ln(R_2 / R_1)} P_r \quad (3.23)$$

olarak ifade edilir. Eşitliği sadeleştirmek açısından:

$$C_2 = \frac{\pi}{6\eta \ln(R_2 / R_1)} \quad (3.24)$$

gibi bir ifade oluşturulup Eş. 3.23 tekrar düzenlenirse:

$$K_c (P_s - P_r) = C_2 h^3 P_r \quad (3.25)$$

olarak ifade edilir. Bu ifadeden de cep basıncı P_r ve pompa basıncı P_p arasındaki ilişki:

$$\frac{P_r}{P_s} = \frac{K_c}{C_2 h^3 + K_c} \quad (3.26)$$

şeklinde ifade edilir.

Yatağın yük taşıma kabiliyeti: sabit değerdeki basıncın oluşturduğu yük ile değişken basıncın oluşturduğu yük toplamından oluşur. Buna göre yük taşıma kabiliyeti:

$$W = \int_{r=0}^{r=R_2} P(r) 2\pi r dr = P_r \pi R_1^2 + \int_{r=R_1}^{r=R_2} P(r) 2\pi r dr \quad (3.27)$$

şeklinde ifade edilir. Eş. 3.19 daki P_r ifadesi Eş. 3.4 de yerine konulursa basınç ifadesi:

$$P = \frac{6\eta Q}{\pi h^3} \ln(R_2 / r) \quad (3.28)$$

olarak elde edilir. Bu elde edilen basınç ifadesi dirençsiz sistemde elde edilen basınç ifadesiyle aynıdır. Eş. 3.28' deki basınç P ifadesi Eş. 3.27'de yerleştirilip gerekli integral işlemi yapılırsa yük taşıma kapasitesi:

$$W = \frac{\pi}{2} \frac{R_2^2 - R_1^2}{\ln(R_2 / R_1)} P_r \quad (3.29)$$

şeklinde bulunur. Eş. 3.26 daki cep basıncı P_r ifadesi, Eş. 3.27' de yerine konulursa yük taşıma kapasitesi:

$$W = \frac{\pi}{2} \frac{R_2^2 - R_1^2}{\ln(R_2 / R_1)} \frac{P_s K_c}{C_2 h^3 + K_c} \quad (3.30)$$

olarak elde edilir. Yük ifadesini sadeleştirmek, yatak çap oranı değişimine göre incelemek amaçlı yarıçap oranlarına bağlı K_w gibi boyutsuz bir yük katsayısı:

$$K_w = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - (R_1 / R_2)^2}{\ln(R_2 / R_1)} \right] \quad (3.31)$$

şeklinde ifade edilirse ve Eş. 3.30 da verilen yük ifadesi, boyutsuz yük katsayısına bağlı olarak düzenlenirse:

$$W = K_w A P_r \quad (3.32)$$

olarak ifade edilir. Eşitlikteki A yatak yüzey alanını belirtmektedir ve $A = \pi R_2^2$ şeklinde ifade edilebilir.

Debi ifadesi yüke bağlı olarak tekrar düzenlenecek olursa Eş. 3.29 den P_r ifadesi çekilip Eş. 3.20' de yerine konulursa:

$$Q = \frac{Wh^3}{3\eta(R_2^2 - R_1^2)} \quad (3.33)$$

olarak elde edilir. Debi ifadesini sadeleştirmek, yatak çap oranı değişiminin debi üzerindeki etkisini görmek için boyutsuz debi katsayısı tanımlanırsa:

$$K_q = \frac{\pi}{3} \left[\frac{1}{1 - (R_1/R_2)^2} \right] \quad (3.34)$$

şeklinde ifade edilir. Debi eşitliği boyutsuz debi katsayısına bağlı olarak tekrar düzenlenirse:

$$Q = K_q \left(\frac{W}{A} \right) \frac{h^3}{\eta} \quad (3.35)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Milin dairesel sınırı ve dairesel yatak plakası arasında yağda meydana gelen kayma gerilmesi sürtünme momentini oluşturur, bu da sürtünme gücünü meydana getirir. Newton kanununa göre kayma gerilmesi:

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} \quad (3.36)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; du birim yağ elemanının hızını, dy ise birim yağ kalınlığını belirtmektedir. U yağ film hızı olup $U = \omega r$ şeklinde açısal hız ve yatak merkezine olan uzaklığa bağlıdır. Birim yağ film kalınlığı için belirtilen kayma gerilmesi yağ film kalınlığı için tekrar düzenlenirse kayma gerilmesi:

$$\tau = \eta \frac{\omega r}{h} \quad (3.37)$$

şeklinde yağ film kalınlığına ve hızına bağlı olarak elde edilir. Yağ film kalınlığı birim elemanına ait sürtünme kuvveti:

$$dF_s = \tau 2\pi r dr \quad (3.38)$$

olup sürtünme momenti ise:

$$dT_s = dF_s r \quad (3.39)$$

şeklinde ifade edilir. Yatağın geometrik sınırlarının tümü değerlendirilecek olursa;

$$T_s = \int_{r=0}^{r=R_1} \frac{2\pi\eta\omega}{H} r^3 dr + \int_{r=R_1}^{r=R_2} \frac{2\pi\eta\omega}{h} r^3 dr \quad (3.40)$$

olarak Eş. 3.40 düzenlenir. Gerekli integral işlemleri yapılarak sürtünme momenti:

$$T_s = \frac{\pi}{2} \frac{\eta\omega}{h} (R_2^4 - R_1^4) \quad (3.41)$$

olarak ifade edilir. Sürtünme gücü de sürtünme momenti ve açısal hıza bağlı olarak:

$$N_s = T_s \omega = \frac{\pi}{2} \frac{\eta\omega^2}{h} (R_2^4 - R_1^4) \quad (3.42)$$

şeklinde ifade edilir. Sürtünme gücü ifadesinin yatak yarıçap oranına göre değişimini görmek ve sadeleştirmek için boyutsuz sürtünme gücü katsayısı tanımlanırsa:

$$K_s = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^4 \right] \quad (3.43)$$

olarak elde edilir. Sürtünme gücü, sürtünme gücü katsayısına bağlı olarak tekrar düzenlenirse:

$$N_s = K_s \eta \frac{\omega^2 R_2^2}{h} A \quad (3.44)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Pompa basınçlı yağın iletilmesini sağlar, pompa için gereken güç ise pompa ile sağlanan basınç ve debi değerlerine bağlı olarak:

$$N_p = \frac{1}{\eta_p} P_s Q \quad (3.45)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitlikteki η_p , pompa verimini simgelemektedir. Eş. 3.26 den P_s ifadesi, Eş. 3.20' den de Q debi ifadesi çekilip, Eş. 3.45' de yerleştirilirse pompa gücü ifadesi:

$$N_p = \frac{1}{\eta_p} \frac{P_r (C_2 h^3 + K_c)}{K_c} \frac{\pi h^3 P_r}{6 \eta \ln(R_2 / R_1)} \quad (3.46)$$

olarak düzenlenir. Eş. 3.29 'dan P_r cep basıncı ifadesi çekilip Eş. 3.46' da yerine konursa pompa gücünü veren ifade:

$$N_p = \frac{1}{K_c \eta \eta_p} \left(\frac{W}{A} \right)^2 \frac{2\pi}{3} \frac{\ln(R_2/R_1)}{[1 - (R_1/R_2)^2]^2} [C_2 h^6 + K_c h^3] \quad (3.47)$$

şeklinde elde edilir. Pompa gücü eşitliğini sadeleştirip, yatak çap oranına bağlı değişimini görmek için yarıçap oranlarına bağlı boyutsuz pompa gücü katsayısı:

$$K_p = \frac{2\pi}{3} \frac{\ln(R_2/R_1)}{[1 - (R_1/R_2)^2]^2} \quad (3.48)$$

olarak ifade edilebilir. Bulunan pompa gücü katsayısına bağlı olarak eşitlik tekrar düzenlenirse pompa gücü:

$$N_p = \frac{1}{K_c \eta_p \eta} \left(\frac{W}{A} \right)^2 K_p [C_2 h^6 + K_c h^3] \quad (3.49)$$

olarak ifade edilir.

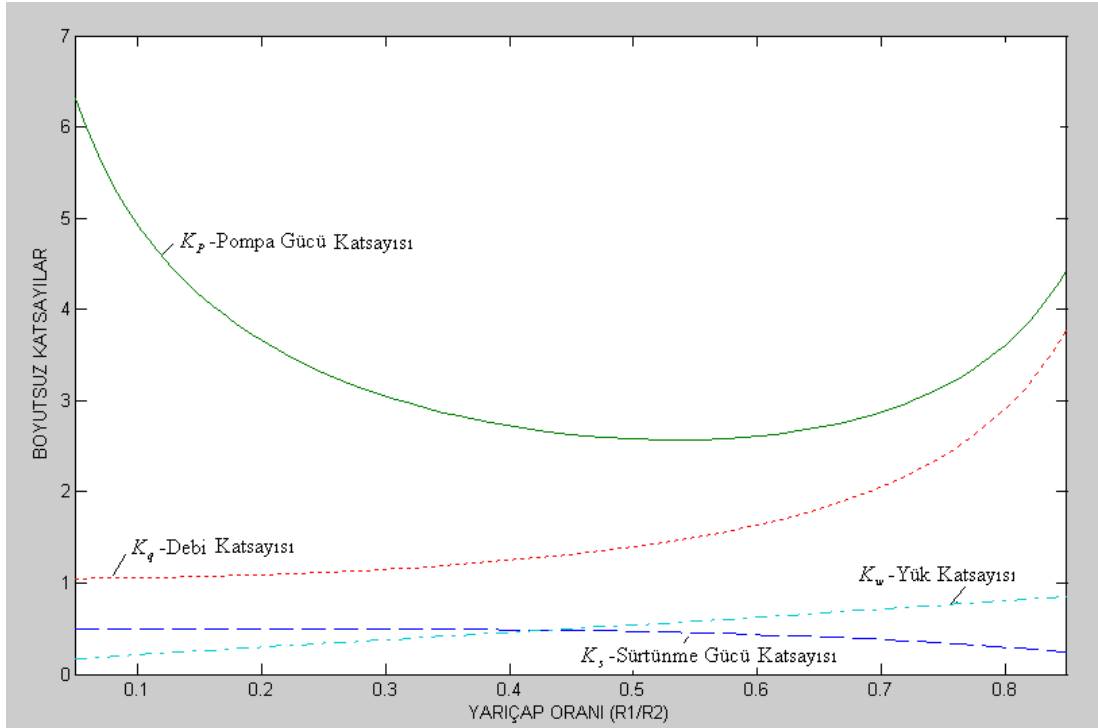
Yatak için harcanan toplam güç sürtünme ve pompa gücünün toplamıdır ve:

$$N_T = N_s + N_p$$

$$N_T = K_s \eta \frac{\omega^2 R_2^2}{h} A + \frac{1}{K_c \eta_p \eta} \left(\frac{W}{A} \right)^2 K_p [C_2 h^6 + K_c h^3] \quad (3.50)$$

şeklinde ifade edilir.

Bu bölümde elde edilen K_w kuvvet katsayısı, K_q debi katsayısı, K_s sürtünme gücü katsayısı ve K_p pompa gücü katsayısı gibi boyutsuz katsayıların yarıçap oranına göre değişimi Şekil 3.2' de verilmiştir



Şekil 3.2 Boyutsuz geometrik katsayıların yarıçap oranına göre değişim grafiği (kapileri direnç elemanı)

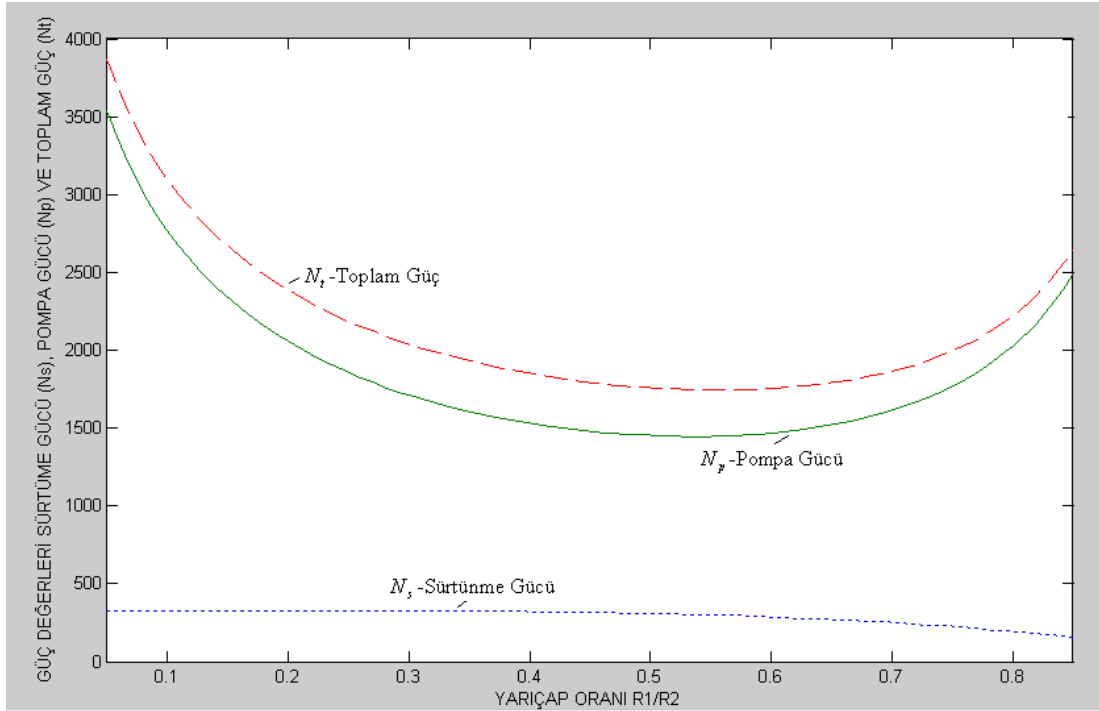
Şekil 3.2 'den görüldüğü gibi K_p boyutsuz pompa gücü katsayısının değeri: yarıçap oranına bağlı olarak, oran büyüdükçe yani yarıçap büyüdükçe ve belirli bir cep yarıçapı değeri için yatak yarıçapı küçüldükçe azalmaktadır, bir minimum değer aldıktan sonra tekrar artmaktadır. Boyutsuz pompa gücü katsayısının minimum değeri yarıçap oranlarının 0,5252 değerine karşılık gelmektedir. Bu durumda boyutsuz pompa gücü katsayısı 2,572 değerindedir. Buna göre pompa gücünün minimum olması için optimizasyon çalışmalarında yarıçap oranı değerinin 0,5252 olması gerekmektedir. Şekil 3.2'den görüleceği gibi boyutsuz sürtünme katsayısının değeri yarıçap oranına bağlı olarak çok az değişmektedir. K_s sürtünme katsayısındaki, yarıçap oran değerine bağlı değişimin çok az olması, sürtünme gücünün yarıçap oranındaki değişimden çok fazla etkilenmeyeceğini ve dolayısıyla pompa gücü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Şekil 3.2' den görüleceği gibi boyutsuz yatak yükü katsayısı yarıçap oranına bağlı olarak çok az değişirken boyutsuz debi katsayısı özellikle büyük yarıçap

oranı değerlerinde hızlı bir artış göstermektedir. Bu durumda yatak optimizasyonunda yarıçap oranları pompa gücü ve yağ debisi bakımından önemli olmaktadır.

Şekil 3.2’de yarıçaplara bağlı olarak değişimleri grafik olarak verilen boyutsuz katsayıların sürtünme gücü P_s , pompa gücü P_p , yağ debisi Q ve yatakta meydana gelen sıcaklık farkı ΔT değerlerine etkilerini incelemek için yatak ile ilgili hesaplamalarda aşağıdaki değerler esas alınmıştır.

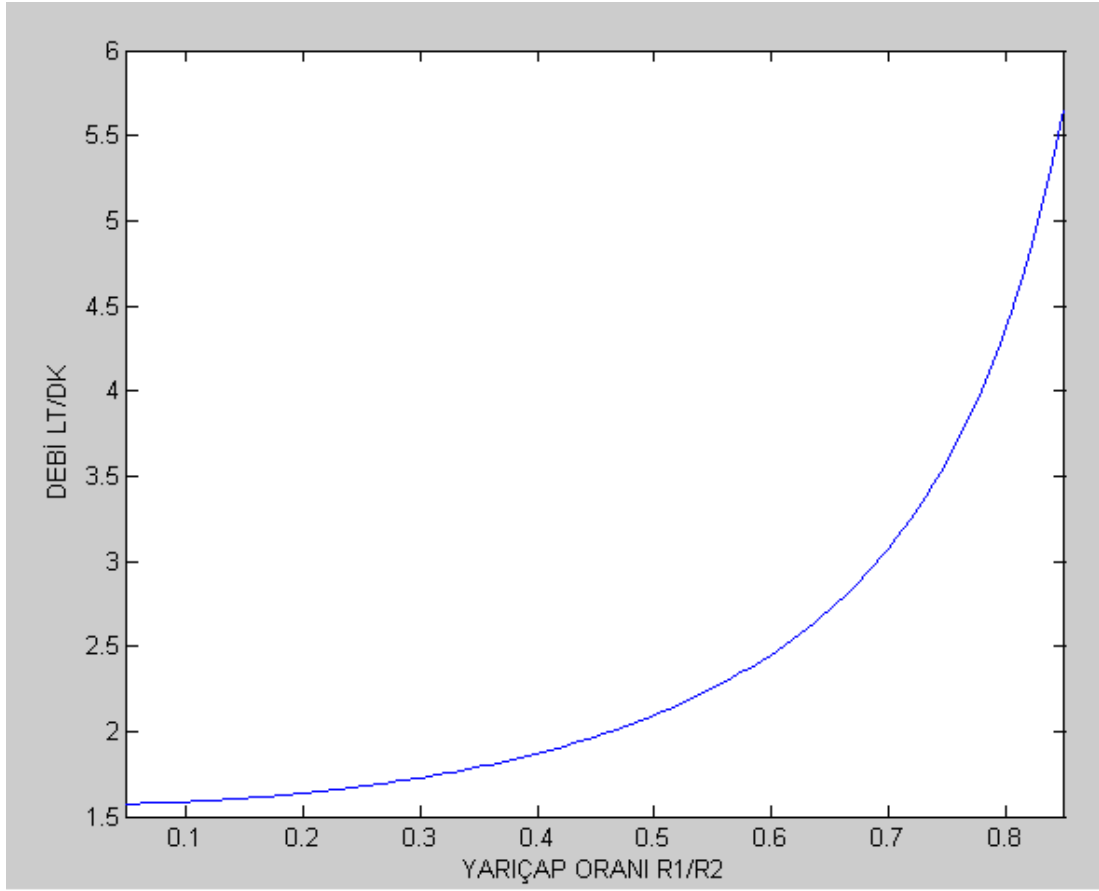
- ▶ Kuvvet $F = 750000$ N
- ▶ Kapileri yarıçapı $R_c = 0,762$ mm
- ▶ Yağ film kalınlığı $h = 42$ μ m
- ▶ Devir sayısı $n = 300$ d/d
- ▶ Yatağın dış yarıçapı $R_2 = 120$ mm
- ▶ Yağın viskozitesi $\eta = 0,04725$ Pas (tellus 32)
- ▶ Pompa verimi $\eta_p = 0,78$
- ▶ Yağın özgül ısı $c_o = 1745$ J/kg °C
- ▶ Yağın Yoğunluğu $\rho = 872$ kg/m³
- ▶ Kapileri uzunluğu $l_c = 381$ mm

Bu değerler esas alınarak elde edilen güç değerlerinin yarıçap oranına bağlı olarak değişimi Şekil 3.3’ de verilmiştir. Bu şekilden görüleceği gibi toplam pompa gücü açısından önemli olan pompa gücünün yarıçap oranlarına bağlı olarak değişimidir.

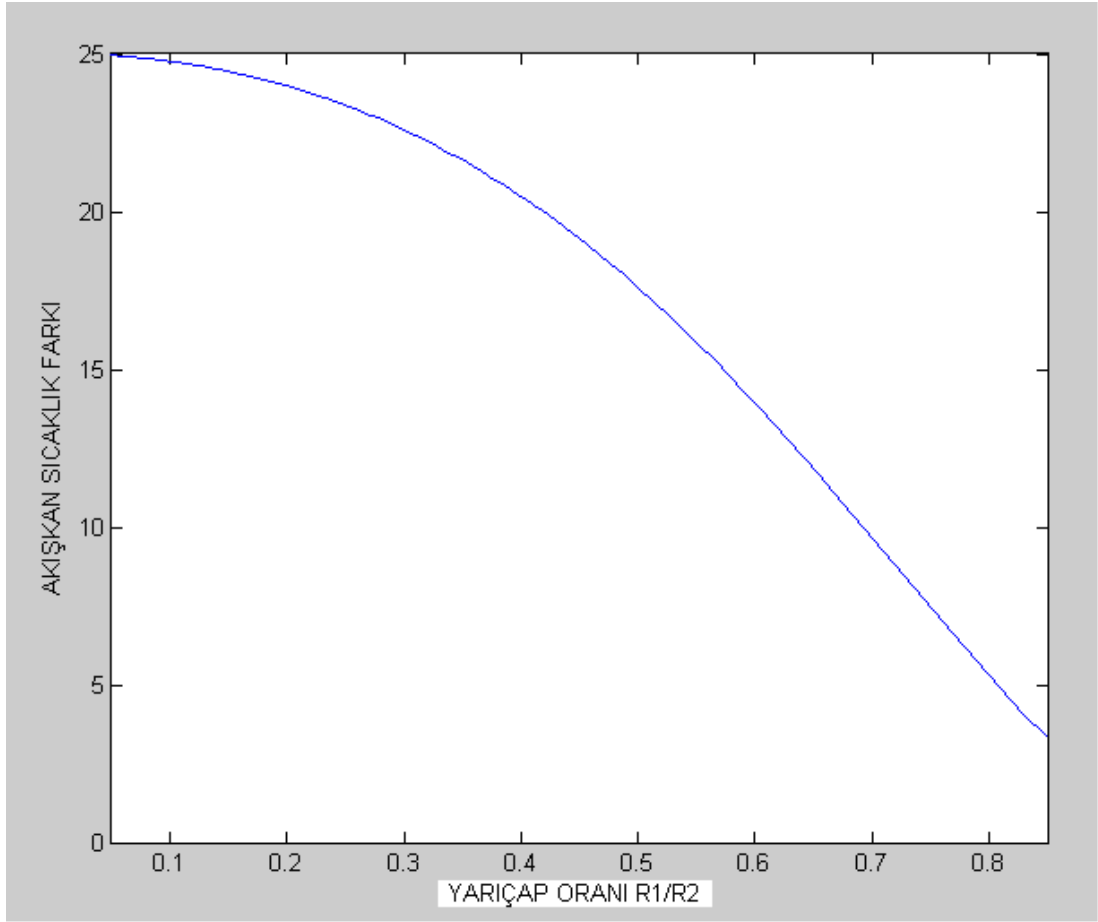


Şekil 3.3 Yarıçap oranına göre güç değerleri (N_s , N_p ve N_t) değişim grafiği (Kapileri tüp direnç elemanı)

Yüksek basınçlı pompa vasıtasıyla yatağa gönderilen ve kapileri tüp direnç elemanından geçen yağ debisinin yatak yarıçap oranlarına bağlı olarak değişimi Şekil 3.4' de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere yağ debisi yatak yarıçap oranına bağlı olarak artmaktadır. Yarıçap oranlarının büyük değerlerinde yatağın yük taşıyan ve basıncın değişken olduğu, halka şeklindeki alanı küçüldüğü için bu bölgenin yatak yükünün taşınmasına katkısı azalmaktadır. Yağın yatak kenarlarından akışı hızlandığı için yağ debisi artmaktadır. Yarıçapların oranı bir olduğunda hidrostatik yatak alanından söz edilemez. Çünkü kayma yüzeyi sistem hızına bağlı basınç alanının meydana geldiği hidrodinamik yatak haline dönüşmektedir. Dolayısıyla yatağın yük taşıma kapasitesi ve yağ debisinin düşük olması bakımından yatak yarıçap oranlarının büyük olmaması gerekmektedir.



Şekil 3.4 Yarıçap oranı (R_1 / R_2) değişimine bağlı debi değişim grafiği
(kapileri tüp direnç elemanı)



Şekil 3.5 Sıcaklık farkının yarıçap oran (R_1 / R_2) değerine bağlı değişim grafiği

Şekil 3.5' den görüldüğü gibi yatak akışkanında oluşan sıcaklık farkı yarıçap oranı (R_1 / R_2) değeriyle ters orantılıdır. Yarıçap oran (R_1 / R_2) değeri arttıkça sıcaklık farkı azalmaktadır. Bunun nedeni daha önce açıklandığı gibi yatağa gönderilen yağın yatak kenarlarından hızlı bir şekilde akması, yani yağ sirkülasyonunun hızlı olmasıdır. Kaymalı yataklarda istenen durum sıcaklık farkının olabildiğince az olmasıdır. Optimizasyon çalışmalarında gücü minimize ederken, aynı zamanda akışkanın yatağa giriş ve çıkışında oluşacak sıcaklık farkının da düşük olması gerektiği göz önünde bulundurulmalıdır.

3.1.3. Orifis kontrollü sistem

Orifis kontrollü yataklarda pompadan basınçlandırılan yağ, direnç elemanından geçerek cep boşluğuna iletilir. Direnç elemanından geçen akışkan debisi:

$$Q_o = K_o \sqrt{\Delta_p} \quad (3.51)$$

olarak ifade edilir [Malanoski ve Loeb, 1960]. Eş. 3.51'de K_o orifis sabitini, Δ_p ise pompa ile basınçlandırılmış yağ basıncı ile cep basıncı arasındaki farkı simgelemektedir. Orifis sabiti; orifis yarıçapı R_o , akışkan yoğunluğu ρ ve C_D akışkan sabitine bağlı olup:

$$K_o = \pi R_o^2 C_D \sqrt{2 / \rho} \quad (3.52)$$

şeklinde ifade edilir [Malanoski ve Loeb, 1960].

Orifis ve yatak yüzeyleri arasından geçen akışkan debisi aynı olup Eş. 3.20 ve Eş. 3.51 birbirine eşitlenirse:

$$Q = Q_o$$

$$\frac{\pi h^3}{6\eta \ln(R_2 / R_1)} P_r = K_o \sqrt{\Delta_p} \quad (3.53)$$

olarak ifade edilebilir. Debi ifadesini sadeleştirmek için Eş. 3.22 de tanımlanmış C_2 ifadesi kullanılarak:

$$C_2 h^3 P_r = K_o \sqrt{(P_s - P_r)} \quad (3.54)$$

şeklinde elde edilir. Eş. 3.54' ten yararlanarak pompa basıncı P_s ile cep basıncı P_r arasındaki ilişki:

$$\frac{P_r}{P_s} = \frac{K_o^2}{C_2^2 h^6 P_r + K_o^2} \quad (3.55)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Yatağın yük taşıma kabiliyeti; yatak üzerindeki basıncın yüzey alanı üzerinde oluşturduğu etkiye bağlı olarak:

$$W = \int_{r=0}^{r=R_2} P(r) 2\pi r dr = P_r \pi R_1^2 + \int_{r=R_1}^{r=R_2} P(r) 2\pi r dr \quad (3.56)$$

şeklinde ifade edilir. Eş. 3.20 den çekilen cep basıncı P_r Eş. 3.4'e yerleştirildiğinde basınç P ifadesinin dirençsiz sistemde elde edilen basınç ifadesiyle aynı olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple, bu basınç P ifadesi (3.56) numaralı eşitlikte yerine konulup gerekli integral işlemleri yapıldıktan sonra yatağın yük taşıma kapasitesi:

$$W = \frac{\pi}{2} \frac{R_2^2 - R_1^2}{\ln(R_2 / R_1)} P_r \quad (3.57)$$

olarak elde edilir. Eş. 3.55' te orifis kontrollü yatak için elde edilen cep basıncı P_r ifadesi Eş. 3.57' de yerine konursa yük kapasitesi:

$$W = \frac{\pi}{2} \frac{R_2^2 - R_1^2}{\ln(R_2 / R_1)} \frac{P_s K_o^2}{C_2^2 h^6 P_r + K_o^2} \quad (3.58)$$

olarak düzenlenir. Yük ifadesinin yarıçap oranlarına bağlı boyutsuz yük katsayısı:

$$K_w = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - (R_1 / R_2)^2}{\ln(R_2 / R_1)} \right] \quad (3.59)$$

şeklinde ifade edilirse yük ifadesi sadeleştirilmiş olarak:

$$W = K_w A P_r \quad (3.60)$$

ifade edilebilir.

Eş. 3.53'de verilen debi ifadesi yüke bağlı olarak düzenlenirse kapileri kontrollü yatak için Eş. 3.33 ile elde edilen debi ifadesi ile aynı olduğu görülür. Bu sebeple yarıçap oranına bağlı debi katsayısı da kapileri kontrollü yatak için Eş. 3.34 ile tanımlanmış boyutsuz debi katsayısı ile aynıdır.

Sürtünme momenti yatak yüzeyiyle ilgili olduğundan: sürtünme momenti dolayısıyla sürtünme gücü ifadeleri kapileri kontrollü yatak için belirlenen Eş. 3.41 ve 3.42 ifadeleriyle aynıdır.

Pompa gücü, debi ve pompadan sağlanan basınca bağlı olarak:

$$N_p = \frac{1}{\eta_p} P_s Q \quad (3.61)$$

şeklinde genel olarak ifade edilmiştir. Orifis kontrollü yatak için pompa gücü ifadesini düzenlerken, P_s pompa basıncı ifadesi Eş. 3.55' ten çekilip, Q debi ifadesi de Eş. 3.20' den çekilip Eş. 3.61' de yerine konulursa pompa gücü:

$$N_p = \frac{P_r^2 C_2}{\eta_p K_o^2} (C_2^2 h^9 P_r + K_o^2 h^3) \quad (3.62)$$

şeklinde ifade edilir. Pompa gücü ifadesinin yatak yarıçap oranına bağlı değişimini görmek ve güç ifadesini sadeleştirmek için Eş. 3.62' den yararlanarak Eş. 3.24' den C_2 ve Eş. 3.57' den P_r ifadeleri çekilip Eş. 3.62' de yerine konularak yatak yarıçap oranlarına bağlı pompa gücü katsayısı:

$$K_p = \frac{2\pi \ln(R_2 / R_1)}{3 \left(1 - \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^2 \right)^2} \quad (3.63)$$

olarak tanımlanır. Pompa gücü katsayısına bağlı olarak pompa gücü tekrar düzenlenirse:

$$N_p = \left(\frac{W}{A} \right)^2 \frac{K_p}{\eta_p \eta K_o^2} [C_2^2 h^9 P_r + K_o^2 h^3] \quad (3.64)$$

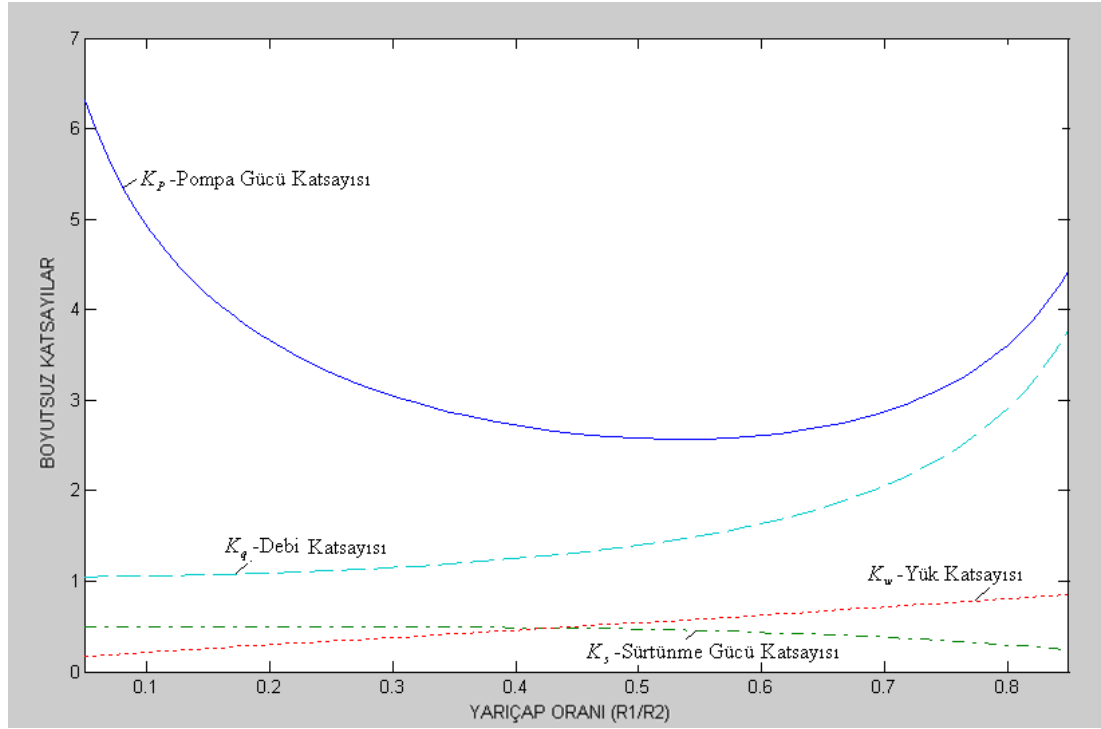
şeklinde elde edilir. Orifis kontrollü yatak için sürtünme gücü ve pompa gücünün toplamından oluşan toplam güç:

$$N_T = N_s + N_p$$

$$N_p = K_s \eta \frac{\omega^2 R_2^2}{h} A + \left(\frac{W}{A} \right)^2 \frac{K_p}{\eta_p \eta K_o^2} [C_2^2 h^9 P_r + K_o^2 h^3] \quad (3.65)$$

olarak ifade edilir.

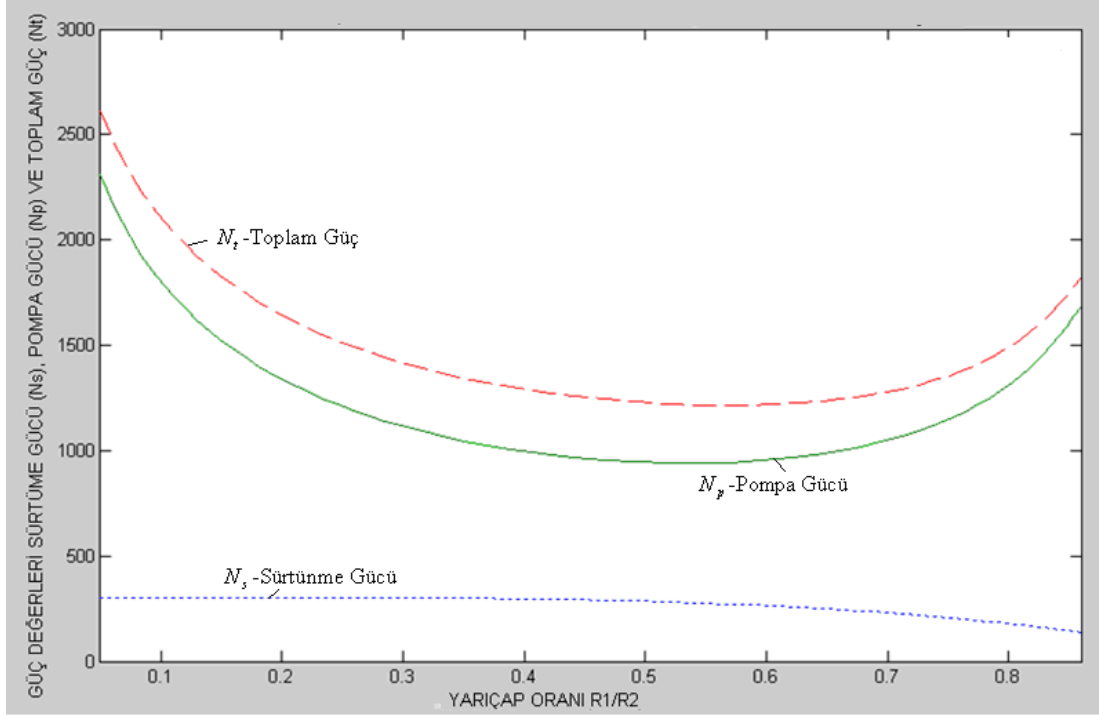
Bu bölümde elde edilen boyutsuz katsayıların yatak yarıçap oranına bağlı olarak değişimi Şekil 3.6' da verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi yarıçap oranları ile boyutsuz katsayıların değişimi kapileri tüp direnç elemanı kullanılan yataklar için elde edilen değişim ve değerler aynıdır.



Şekil 3.6 Boyutsuz geometrik katsayıların yarıçap oranına göre değişim grafiği (orifis direnç elemanı)

Aşağıda verilen değerler kullanılarak sürtünme gücü, pompa gücü ve toplam güç değerlerinin, dairesel eksenel orifis direnç elemanı bulunan hidrostatik yataklarda oran (R_1/R_2) değişiminden nasıl etkilendiğini göstermek üzere yapılan hesaplamalarda kapileri tüp direnç elemanı kullanılan yataklar için kullanılan yatak, yağ, pompa verimi vb. değerler kullanılmıştır. Hesaplamalarda orifis çapı 1,524 mm, Reynolds sabiti $C_D \approx 0,65$ alınmıştır. Güç değerlerinin yatak yarıçap oranına bağlı olarak değişimi Şekil 3.7' de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi yarıçap oranının 0,544 olması halinde toplam pompa gücü minimum olmaktadır. Toplam güç ve diğer güç değerleri ile kapileri tüp direnç elemanı kullanılan yataklardaki güç değerleri

karşılaştırıldığında orifis direnç elemanı yataklardaki güçler daha düşük değerlerdedir. Örneğin orifis direnç elemanı halinde, minimum toplam güç yaklaşık 25 kW iken kapileri tüp direnç elemanı halinde yaklaşık 75 kW değerindedir.



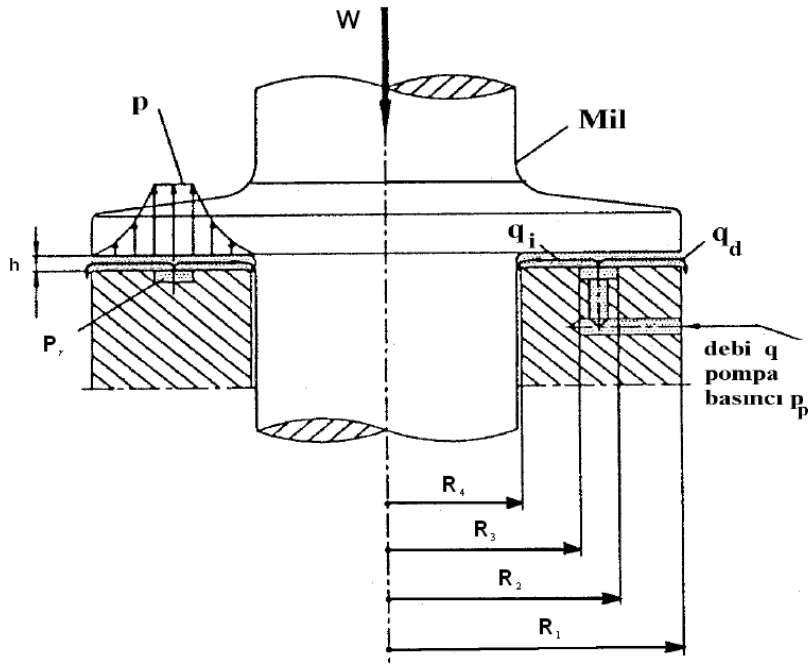
Şekil 3.7 Yarıçap oran (R_1 / R_2) değişimine bağlı güç değişim grafiği (orifis direnç elemanı)

Grafikten okunan değere göre pompa gücü minimum değerini oran (R_1 / R_2) değerinin 0,544 olarak okunduğu noktada 940 W olarak alıyor. Toplam güç ise oran değeri 0,583 olduğu noktada minimum değerini alıyor. Bu noktadaki minimum toplam güç değeri grafikten 1216 W olarak okunur.

3.2. Halka Yuvalı Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar

Halka yuvalı hidrostatik eksenel kaymalı yatak şematik olarak Şekil 3.8 de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi halka şeklindeki cep boşluğuna dolan akışkan basıncı yatak yükünü dengeleyecek değere çıktığında yüzeyler

birbirinden ayrılır ve akışkan, yatak kenarlarından içe ve dışa doğru akar. Akışkanın toplam debisi radyal olarak içeri ve dışarı akan akışkan debilerinin toplamı olarak ifade edilir. Bu tip yataklarda R_1 ile R_2 yarıçaplı ve R_3 ile R_4 yarıçaplı dairelerin sınırladığı alanlarda meydana gelen basınç Şekil 3.8' de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.8 Halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatak

3.2.1. Dirençsiz sistem

Halka yuvalı yatak boyutlarında bazı sınırlamalar vardır. Bu sınır şartları optimizasyon çalışmalarında ve yarıçap oran değerlerinin hesaplanmasında göz önünde bulundurulur. Sınır şartları aşağıdaki gibi ifade edilebilir [Solmaz, Babalık, 2002];

$$R_1 - R_2 = b$$

$$R_3 - R_4 = b$$

$$r_{01} = R_4 + b/2$$

$$r_{02} = R_1 - b/2$$

$$0.5b \leq R_2 - R_3 \leq 2b$$

Halka yuvalı yataktan dışarı akışta meydana gelen basınç farkı $R_2 \leq R \leq R_1$ aralığında ;

$$P_{2-1} = P_r \frac{\ln(R_1 / R)}{\ln(R_1 / R_2)} \quad (3.66)$$

şeklinde, cep basıncı ise:

$$P_r = \frac{6\eta Q_d}{\pi h^3} \ln \frac{R_1}{R_2} \quad (3.67)$$

şeklinde yatakta içeri akışta $R_4 \leq R \leq R_3$ aralığında basınç farkı;

$$P_{3-4} = P_r \frac{\ln(R / R_4)}{\ln(R_3 / R_4)} \quad (3.68)$$

şeklinde ve bu aralık için cep basıncı ise;

$$P_r = \frac{6\eta Q_i}{\pi h^3} \ln \frac{R_3}{R_4} \quad (3.69)$$

şeklinde ifade edilir [Solmaz, Babalık, 2002].

Toplam akışkan debisi radyal olarak içeri ve dışarı akan debinin toplamıdır. Eş. 3.67' den Q_d dışarı akan hacimsel debi, Eş. 3.69' dan da Q_i içeri akan hacimsel debi ifadeleri yalnız bırakılarak toplanırsa; toplam akışkan debisi:

$$Q = \frac{\pi h^3 P_r}{6\eta} \left[\frac{1}{\ln \frac{R_3}{R_4}} + \frac{1}{\ln \frac{R_1}{R_2}} \right] \quad (3.70)$$

şeklinde ifade edilir. Eşitliği sadeleştirmek açısından yarıçap oranlarına bağlı C_3 ifadesi tanımlanırsa;

$$C_3 = \frac{\pi}{6\eta} \left[\frac{1}{\ln \frac{R_3}{R_4}} + \frac{1}{\ln \frac{R_1}{R_2}} \right] \quad (3.71)$$

hacimsel debi;

$$Q = C_3 h^3 P_r \quad (3.72)$$

olarak elde edilir. Dirençsiz halka yuvalı cep boşluklu yatak için belirtilen debi ifadesinden yararlanılarak dirençli sistemlerdeki debi, yük, cep basıncı, sürtünme gücü ve pompa için harcanan güç eşitlikleri bulunabilir.

3.2.2. Kapileri tüp kontrollü sistem

Kapileri tüp kontrollü halka yuvalı aksenal kaymalı yatakta akışkanın dışarı akışında meydana gelen basınç farkını; P_r cep basıncına göre $R_2 \leq R \leq R_1$ aralığında düzenlemek için dirençsiz sistemde belirtildiği gibi Eş. 3.66' da, Eş. 3.67' deki cep basıncı ifadesi esas alınabilir. Yatakta akışkanın içeri akışında

meydana gelen basınç farkı ise P_r , cep basıncı için $R_4 \leq R \leq R_3$ aralığında, dirençsiz sistemde belirtilen Eş. 3.68' de, Eş. 3.69' daki basınç ifadesi esas alınır.

Direnç elemanı olan kapileri tüp' den geçen akışkan debisi ve yatak debisi arasındaki ilişki;

$$Q = Q_c$$

$$C_3 h^3 P_r = K_C \Delta P \quad (3.73)$$

olarak tanımlanır.

Bu eşitlikten de pompadan gelen yağın basıncı P_s ve cep basıncı P_r arasındaki ilişki, Eş. 3.73 düzenlenirse;

$$\frac{P_r}{P_s} = \frac{K_C}{C_3 h^3 + K_C} \quad (3.74)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Halka yuvalı kapileri tüp kontrollü aksenal kaymalı yatak için yük taşıma kapasitesi; $R_1 - R_2$ aralığında oluşan basınç dağılımı, yatak cep boşlundaki sabit basınç dağılımı ve $R_3 - R_4$ aralığında yatakta oluşan basınç dağılımının; yatak yüzeyinde etki oluşturdukları alanlar için integrali alınarak yatağın yük taşıma kapasitesi;

$$W = \int_{r=R_2}^{r=R_1} P_{2-1} 2\pi r dr + P_r \pi (r_2^2 - r_3^2) + \int_{r=R_3}^{r=R_4} P_{3-4} 2\pi r dr \quad (3.75)$$

şeklinde ifade edilebilir. Cep boşluğu için etki oluşturan basınç sabit olup, yağ akışı nedeniyle değişken basınç dağılımının meydana geldiği $R_1 - R_2$ ve $R_3 - R_4$ aralıkları için integral işlemleri yapıldığında yatağın yük taşıma kapasitesi, cep basıncına ve yarıçap oranlarına bağlı olarak:

$$W = \frac{\pi P_r}{2} \left[\frac{R_1^2 - R_2^2}{\ln \frac{R_1}{R_2}} - \frac{R_3^2 - R_4^2}{\ln \frac{R_3}{R_4}} \right] \quad (3.76)$$

şeklinde elde edilir.

Yatağın yük taşıma kapasitesi için yarıçap oranlarına bağlı bir yük katsayısı tanımlanacak olursa; R_1 dış yarıçap ve R_4 iç yarıçapa bağlı iç ve dış olmak üzere iki farklı kuvvet katsayısı tanımlanıp bunların bileşkesi olan boyutsuz bir kuvvet katsayısı tanımlanabilir. Öncelikle yatak dış yarıçapına bağlı yatağın dış alanı $A_d = \pi R_1^2$ olduğundan, yarıçap oranlarına (R_1 ve R_2) göre kuvvet dış katsayısı, Eş. 3.76' nın yatak dış alanına bağlı olarak düzenlenmesiyle;

$$K_{wd} = \frac{1}{2} \left[\frac{1 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2}{\ln \frac{R_1}{R_2}} \right] \quad (3.77)$$

şeklinde elde edilir. Yatağın iç alanı $A_i = \pi R_4^2$ olduğundan yarıçap oranlarına (R_3 ve R_4) bağlı iç kuvvet katsayısı, Eş. 3.76' nın yatak iç çapına bağlı olarak düzenlenmesiyle;

$$K_{wi} = \frac{1}{2} \left[\frac{\left(\frac{R_3}{R_4}\right)^2 - 1}{\ln \frac{R_3}{R_4}} \right] \quad (3.78)$$

şeklinde elde edilir. İç kuvvet katsayısı ve dış kuvvet katsayısına bağlı olarak yatak için bileşke bir kuvvet katsayısı tanımlanacak olursa:

$$K_w = K_{wd} - \frac{A_i}{A_d} K_{wi} \quad (3.79)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Yük taşıma kapasitesi, boyutsuz yarıçap oranlarına bağlı kuvvet katsayısı kullanılarak tanımlanacak olursa;

$$W = P_r A_d K_w \quad (3.80)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Eş. 3.76' dan P_r cep basıncı ifadesi çekilip, Eş. 3.70' de verilen debi ifadesinde yerine konursa, debi ifadesi, W yük taşıma kapasitesi cinsinden tekrar düzenlenir ve;

$$Q = \frac{h^3}{\eta} W K_q \frac{1}{A_d} \quad (3.81)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki K_q yarıçap oranlarına bağlı boyutsuz debi katsayısı olup Eş. 3.74' den P_r cep basıncı ifadesinin yalnız bırakılarak kapileri tüp sabiti, pompa basıncı ve yarıçap oranlarına bağlı olarak elde

edilmiş haliyle Eş. 3.70'e yerleştirilmesi, yarıçap oranlarına göre tekrar düzenlenmesi ile elde edilir ve:

$$K_q = \frac{\frac{1}{3} \left[\ln \left(\frac{R_1}{R_2} \right) + \ln \left(\frac{R_3}{R_4} \right) \right]}{\frac{1}{\pi} \left(1 - \frac{R_2^2}{R_1^2} \right) \ln \left(\frac{R_3}{R_4} \right) - \left(\frac{R_3^2}{R_4^2} - 1 \right) \ln \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \frac{A_i}{A_d \pi}} \quad (3.82)$$

şeklinde tanımlanır.

Kapileri tüp kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yataklarda gerekli olan toplam güç, sürtünme gücü ve pompa gücü toplamından oluşur. Sürtünme gücü; sürtünme momenti ve açısal hıza bağlı olarak:

$$N_s = T_s \omega \quad (3.83)$$

şeklinde ifade edilir. Sürtünme momenti yatak yarıçap değerlerine, açısal hız ve yağ dinamik viskozitesine bağlı olarak:

$$T_s = \frac{\pi \eta \omega}{2h} \left[(R_1^4 - R_2^4) + (R_3^4 - R_4^4) \right] \quad (3.84)$$

şeklinde ifade edilir. Sürtünme momenti için belirtilen Eş. 3.84'ten yararlanarak sürtünme gücü eşitliği yazılacak olursa;

$$N_s = \frac{\pi \eta \omega^2}{2h} \left[(R_1^4 - R_2^4) + (R_3^4 - R_4^4) \right] \quad (3.85)$$

olarak elde edilir. Sürtünme gücünü yarıçap oranlarına bağlı boyutsuz sürtünme gücü katsayılarıyla ifade edebilmek için; dış yarıçap değerlerine bağlı sürtünme katsayısı;

$$K_{sd} = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^4 \right] \quad (3.86)$$

şeklinde ifade edilebilir. İç yarıçap değerlerine bağlı sürtünme gücü iç katsayısı;

$$K_{si} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{R_3}{R_4} \right)^4 - 1 \right] \quad (3.87)$$

olarak ifade edilebilir. Sürtünme gücü iç katsayısı ve sürtünme gücü dış katsayısı ifadelerinden bileşke sürtünme gücü katsayısı:

$$K_s = K_{sd} + \frac{A_i}{A_d} \left(\frac{R_4}{R_1} \right)^2 K_{si} \quad (3.88)$$

şeklinde tanımlanabilir. Sürtünme gücü katsayısına bağlı olarak sürtünme gücü ifadesi tekrar düzenlenirse:

$$N_s = K_s \eta \frac{\omega^2 R_1^2}{h} A_d \quad (3.89)$$

şeklinde ifade edilir.

Pompa gücü, pompanın sağladığı basınç ve yataktaki akışkan debisine bağlı olarak:

$$N_p = \frac{1}{\eta_p} P_s Q \quad (3.90)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Pompa basıncı P_s Eş. 3.74' ten, debi ifadesi Q Eş. 3.73' ten çekilip Eş. 3.90' a yerleştirilirse pompa gücü:

$$N_p = \frac{P_r^2}{\eta_p} \left[\frac{C_3^2}{K_C} \right] \left[h^6 + \frac{h^3 K_C}{C_3} \right] \quad (3.91)$$

olarak elde edilir. Cep basıncı P_r ifadesi Eş. 3.76' dan çekilip Eş. 3.91' de yerine konulup pompa gücü ifadesi tekrar düzenlenecek olursa:

$$N_p = K_p \left(\frac{W}{A_d} \right)^2 \frac{1}{\eta^2 \eta_p K_C} \left[h^6 + \frac{h^3 K_C}{C_3} \right] \quad (3.92)$$

şeklinde ifade edilir. Bu eşitlikteki K_p boyutsuz pompa gücü katsayısı olup Eş. 3.92' ye cep basıncı P_r ifadesinin yarıçap oranlarına bağlı olarak yerleştirilmesi ve eşitliğin yarıçap oranlarına bağlı düzenlenmesiyle elde edilir ve;

$$K_p = \frac{\frac{1}{9} \left[\ln \left(\frac{R_3}{R_4} \right) - \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \right]^2}{\left[\ln \left(\frac{R_3}{R_4} \right) \left(1 - \frac{R_2^2}{R_1^2} \right) \frac{1}{\pi} + \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right) \left(\frac{R_3^2}{R_4^2} - 1 \right) \frac{A_i}{\pi A_d} \right]^2} \quad (3.93)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Toplam güç; sürtünme gücü ve pompa gücü toplamından:

$$N_T = N_s + N_p$$

$$N_t = K_s \eta \frac{\omega^2 R_1^2}{h} A_d + K_p \left(\frac{W}{A_d} \right)^2 \frac{1}{\eta^2 \eta_p K_C} \left[h^6 + \frac{h^3 K_C}{C_3} \right] \quad (3.94)$$

şeklinde ifade edilir.

3.2.3. Orifis kontrollü sistem

Orifis kontrollü dairesel aksenal yatağın çalışma prensibi Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Kapileri tüp için belirtilen debi, kuvvet eşitlikleri direnç elemanı olarak orifis bulunan halka yuvalı aksenal yatak için de geçerlidir. Orifis için debi daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi:

$$Q_o = \pi R_o^2 C_D \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_s - P_r)} \quad (3.95)$$

şeklinde ifade edilir. Orifis sabiti:

$$K_o = \pi R_o^2 C_D \sqrt{2 / \rho} \quad (3.96)$$

olarak tanımlandığından debi ifadesi:

$$Q_o = K_o \sqrt{(P_s - P_r)} \quad (3.97)$$

şeklinde sadeleşebilir. Orifisten geçen akışkan debisi ile yataktaki toplam akışkan debisi eşitliği:

$$Q_o = Q$$

$$K_o \sqrt{(P_s - P_r)} = C_3 h^3 p_r \quad (3.98)$$

şeklinde ifade edilebileceği önceki bölümlerde açıklanmıştır. Bu eşitlikten yararlanarak pompa basıncı ile cep basıncı arasındaki ilişki:

$$\frac{P_r}{P_s} = \frac{K_o^2}{C_3^2 h^6 P_r + K_o^2} \quad (3.99)$$

olarak belirtilmiştir.

Yatak yüzeylerindeki toplam akışkan debisi kapileri tüp kontrollü halka yuvalı yatak için tanımlanan debi ifadesi ile aynıdır. Farklılık olarak eşitlikteki P_r cep basıncı ifadesi kapileri tüp kontrollü yatak için kapileri sabitine bağlı, orifis kontrollü yatakta ise Eş. 3.99' da belirtildiği gibi orifis sabitine bağlıdır. Bu debi ifadesi tekrar yazılırsa:

$$Q = \frac{\pi h^3 P_r}{6\eta} \left[\frac{1}{\ln \frac{R_3}{R_4}} + \frac{1}{\ln \frac{R_1}{R_2}} \right] \quad (3.100)$$

şeklinde elde edilir.

Yatağın yük taşıma kapasitesi yatak yüzeyindeki basınç dağılımına bağlı olarak kapileri tüp kontrollü yatak için Eş. 3.75 ve 3.76' da belirtilmiştir. Orifis kontrollü yatak için de bu eşitlik geçerlidir ancak eşitlikteki cep basıncı ifadesi kapileri tüp kontrollü halka yuvalı yatak için kapileri sabitine, orifis kontrollü halka yuvalı yatak için de orifis sabitine bağlıdır. Yük taşıma kapasitesi:

$$W = \frac{\pi P_r}{2} \left[\frac{R_1^2 - R_2^2}{\ln \frac{R_1}{R_2}} - \frac{R_3^2 - R_4^2}{\ln \frac{R_3}{R_4}} \right] \quad (3.101)$$

şeklinde ifade edilir.

Sürtünme gücü orifis kontrollü yatak için; kapileri tüp kontrollü yatak için Eş. 3.85' de ifade edildiği gibidir. Sürtünme momenti ve akışkan açılmal hızına bağlıdır.

Pompa gücü :

$$N_p = \frac{1}{\eta_p} P_s Q \quad (3.102)$$

şeklinde önceki bölümlerde de tanımlanmıştır. Bu eşitlikte pompa basıncı P_s Eş. 3.99, debi Q Eş. 3.100' den çekilip yerine konulursa pompa gücü:

$$N_p = \frac{1}{\eta_p K_o^2} (C_3^3 h^9 P_r^3 + P_r^2 K_o^2 h^3 C_3) \quad (3.103)$$

olarak düzenlenir. Eşitliği sadeleştirmek için yarıçap oranlarına bağlı boyutsuz pompa gücü sabiti tanımlanırsa:

$$K_p = \frac{2}{3\pi} \frac{\ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \ln\left(\frac{R_3}{R_4}\right) \left[\ln\left(\frac{R_3}{R_4}\right) - \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \right]}{\left[\ln\left(\frac{R_3}{R_4}\right) \left(1 - \frac{R_2^2}{R_1^2}\right) \frac{1}{\pi} + \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right) \left(\frac{R_3^2}{R_4^2} - 1\right) \frac{A_t}{A_d \pi} \right]^2} \quad (3.104)$$

şeklinde ifade edilir. Eş. 3.103' deki pompa gücü ifadesi, pompa gücü katsayısına K_p bağlı olarak düzenlenirse:

$$N_p = \left(\frac{F}{A_d}\right)^2 \frac{K_p}{\eta_p \eta K_o^2} [C_3^2 h^9 P_r + K_o^2 h^3] \quad (3.105)$$

şeklinde ifade edilir. Sürtünme gücü ve pompa gücü ifadelerinin toplamıyla elde edilen toplam güç:

$$N_t = N_s + N_p$$

$$N_t = K_s \eta \frac{\omega^2 R_1^2}{h} A_d + \left(\frac{F}{A_d} \right)^2 \frac{K_p}{\eta_p \eta K_o^2} [C_3^2 h^9 P_r + K_o^2 h^3] \quad (3.106)$$

şeklinde ifade edilir.

4. OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Optimizasyon çalışmalarında Newton Raphson yöntemi ve Lagrange çarpan teoreminden yararlanılarak optimizasyon eşitlikleri oluşturulup bu eşitlikler matlab programı yardımıyla çözümlenmiştir.

Newton Raphson yöntemi için standart format:

Minimize $f(x)$ en aza indirilecek amaç fonksiyonunun

$x' \leq x \leq x''$ tasarım değişkeni kısıtıdır. Burada x tasarım değişkenidir.

Newton Raphson Yöntemi türev tabanlı bir yöntem olup aşağıdaki özelliklere sahiptir:

- Geometrik bir temele sahiptir.
- Lineer olarak açılmış Taylor serilerini kullanırlar
- İteretiftir
- Karesel olarak yakınsarlar

$f(x)$, $k+1$ kere diferansiyel alınabilecek bir fonksiyon ise, x ve $x+h$ gibi herhangi iki nokta arasında w gibi bir nokta vardır ve:

$$f(x+h) = f(x) + f'(x)h + \frac{1}{2}f''(x)h^2 + \dots + \frac{1}{k!}f^{(k)}(x)h^k + \frac{1}{(k+1)!}f^{(k+1)}(w)h^{k+1} \quad (4.1)$$

yazılır. (4.1) numaralı ifade 0 değerine yaklaşırken h değerinden daha hızlı olarak 0' a yaklaştığından, h ifadesinin küçük değerleri için:

$$f(x+h) \approx f(x) + f'(x)h \quad (4.2)$$

şeklindedir. (4.2) numaralı ifade x 'in Taylor serisindeki birinci dereceden yaklaşımı olarak ifade edilir. Yine h ifadesinin küçük değerleri için ikinci mertebeden Taylor yaklaşımı:

$$f(x+h) \approx f(x) + f'(x)h + \frac{1}{2}f''(x)h^2 \quad (4.3)$$

olarak ifade edilir.

Birinci mertebeden Taylor yaklaşımı genel olarak:

$$f(x+h) \approx a + bh \quad (4.4)$$

şeklinde verilir. Burada $a = f(x)$ ve $b = f'(x)$ ' dir. Benzer şekilde ikinci mertebeden Taylor açılımı genel olarak:

$$f(x+h) \approx a + bh + \frac{1}{2}ch^2 \quad (4.5)$$

şeklinde ifade edilir. Bu ifadenin türevi alındığında:

$$f'(x+h) \approx b + ch \quad (4.6)$$

olarak verilir ve 0' a eşitlendiğinde:

$$0 = b + ch \quad (4.7)$$

elde edilen ifadeden $h = -\frac{b}{c}$ olarak bulunur. $f(x)$ fonksiyonunun x 'deki Taylor yaklaşımı:

$$\begin{aligned}
x+h &= x - \frac{b}{c} \\
&= x - \frac{1}{f''(x)} f'(x)
\end{aligned} \tag{4.8}$$

şeklinde ifade edilir. Bu belirtilen ifadeler kısıtlayıcı şartların olmadığı durumda yeterlidir.

Optimizasyon için oluşturulan amaç fonksiyonunda kısıtlayıcı şartlar olduğu durumda Lagrange çarpan teoremi bu ihtiyacı karşılayabilmektedir.

Amaç fonksiyonu: $f(x)$

Tasarım değişkenleri: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

Eşitlik halinde kısıtlayıcı: $h_j(x) = h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad j = 1 \dots p$

Eşitsizlik halinde kısıtlayıcı: $g_i(x) = g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \quad i = 1 \dots m$

$f(x)$ amaç fonksiyonu ve $h(x)$ eşitlik halinde kısıtlayıcı fonksiyon olduğu durum için Lagrange fonksiyonu:

$$L(x, v) = f(x) + \sum_{j=1}^p v_j h_j(x) \tag{4.9}$$

şeklinde yazılır ve değişkenlere göre fonksiyonun türevi alınır.

$$\frac{\partial L(x, v)}{\partial x_i} = 0 \quad i=1, \dots, n$$

$$\frac{\partial L(x, v)}{\partial v_j} = 0 \quad j=1, \dots, n$$

$f(x)$ amaç fonksiyonu ve $h(x)$ eşitlik halinde kısıtlayıcı fonksiyon, $g(x)$ ise eşitsizlik halindeki kısıtlayıcı fonksiyon olduğu durumda Lagrange fonksiyonu:

$$L(x, v, u, s) = f(x) + \sum_{j=1}^p v_j h_j(x) + \sum_{i=1}^m u_i (g_i(x) + s_i^2) \quad (4.10)$$

olur. Değişkenlere göre L' nin türevi alınır:

$$\frac{\partial L}{\partial x_j} = \frac{\partial F}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^p v_i \frac{\partial h_i}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^m u_i \frac{\partial g_i}{\partial x_j} = 0 \quad j=1, \dots, n$$

$$h_i(x) = 0; \quad i = 1, \dots, p$$

$$g_i(x) + s_i^2 = 0; \quad i = 1, \dots, m$$

$$u_i s_i = 0; \quad i = 1, \dots, m$$

$$u_i \geq 0; \quad i = 1, \dots, m$$

Denklemleri elde edilir. u_i ' nin ve s_i ' nin sıfır olduğu çeşitli durumlar incelenerek, kısıtlayıcı fonksiyonları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilerek tasarım değişkenlerinin değerleri bulunur. [Solmaz, 2002]

Optimizasyon için çoklu kriter yöntemi seçilmiştir ve

- Minimum Güç ve Yatak Katsayısı
- Yatak Katsayısı ve Minimum Sıcaklık
- Minimum Güç ve Minimum Sıcaklık farkına göre

optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

4.1. Dairesel-Kapileri Kontrollü Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar

4.1.1 Minimum güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon

Minimum güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon yaparken toplam güç (N_T) ve Yatak katsayısı (L) eşitliklerinin kombinasyonunu kullanılır.

$$Y = \omega_1 N_T + \lambda \omega_2 L \quad (4.11)$$

Eş. 4.11 toplam güç ve yatak katsayısı ifadelerine bağlı olarak; optimizasyon çalışmasında ortak çözüm bulmak amaçlı oluşturulmuş amaç fonksiyonu olup ω_1 ve ω_2 ağırlık faktörleri, λ hassasiyet faktörüdür.

$$\lambda = \frac{N_{T \min}}{L_{\min}} = \frac{N_T(h_{\min})}{L(h_{\min})} \quad (4.12)$$

Ağırlık faktörleri;

$$\omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (4.13)$$

(optimizasyon için oluşturulan amaç fonksiyonu)

$$Y = \omega_1 K_s \eta \frac{\omega^2 R_2^2}{h} A + \omega_1 \left(\frac{F}{A} \right)^2 K_p \frac{1}{K_c \eta_p \eta} (C_2 h^6 + K_c h^3) + \omega_2 \lambda \frac{F h^2}{\eta \omega R_2^4}$$

$$Y = \omega_1 \frac{K_1}{h} + \omega_1 K_2 [C_2 h^6 + K_c h^3] + \omega_2 \lambda K_3 h^2 \quad (4.14)$$

Optimizasyon için Kullanılan Kısıtlayıcı Fonksiyonlar:

$$K_3 h^2 \leq L_{\min}$$

$h)h_{\min}$

şeklindedir. Lagrange çarpan teoremine göre optimizasyon işlemleri yapılır. Optimizasyon için oluşturulan amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı fonksiyonlar kullanılarak elde edilen fonksiyonun “h” yağ film kalınlığına göre türevi alınırsa;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = -\omega_1 \frac{K_1}{h^2} + \omega_1 K_2 [6C_2 h^5 + 3K_c h^2] + 2\omega_2 \lambda K_3 h = 0 \quad (4.15)$$

elde edilir. Eş. 4.15 kullanılarak “h” değeri bulunur elde edilen “h” değeri sürtünme gücü, pompa gücü, toplam güç, sıcaklık farkı ve debi ifadelerine yerleştirilmek suretiyle optimize edilmiş sonuçlar elde edilir.

4.1.2 Yatak katsayısı ve minimum sıcaklık farkına göre optimizasyon

Yatak katsayısı ve minimum sıcaklık farkına göre optimizasyon yaparken yatak katsayısı (L) ve (ΔT) sıcaklık farkı eşitliklerinin kombinasyonu kullanılır.

$$Y = \omega_1 L + \lambda \omega_2 \Delta T \quad (4.16)$$

$$\lambda = \frac{L_{\min}}{\Delta T_{\min}} = \frac{L(h_{\min})}{\Delta T(h_{\min})} \quad (4.17)$$

$$Y = \omega_1 \frac{Fh^2}{\eta \omega R_2^4} + \omega_2 \lambda \frac{K_s \eta (\omega R_2)^2 A}{c_0 \rho P_r C_2 h^4}$$

$$Y = \omega_1 K_3 h^2 + \omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^4} \quad (4.18)$$

Optimizasyon için sınır şart fonksiyonları;

$$K_3 h^2 \leq L_{\min}$$

$$h > h_{\min}$$

$$\frac{K_4}{h^4} \geq \Delta T_{\min}$$

olarak verilir.

“h” değerinin hesaplandığı fonksiyon;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = 2\omega_1 K_3 h - 4\omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^5} = 0 \quad (4.19)$$

Eş. 4.19 kullanılarak “h” değeri bulunur elde edilen “h” değeri sürtünme gücü, pompa gücü, toplam güç, sıcaklık farkı ve debi eşitliklerinde kullanılarak optimize edilmiş değerler elde edilir.

4.1.3 Minimum güç ve minimum sıcaklık için optimizasyon

Eş. 4.11 esas alınarak:

$$Y = \omega_1 N_T + \lambda \omega_2 \Delta T \quad (4.20)$$

yazılırsa ve hassasiyet faktörü sıcaklık için dikkate alınırsa

$$\lambda = \frac{N_{T \min}}{\Delta T_{\min}} = \frac{N_T(h_{\min})}{\Delta T(h_{\min})}$$

amaç fonsiyonu

$$Y = \omega_1 K_s \eta \frac{\omega^2 R_2^2}{h} A + \omega_1 \left(\frac{F}{A} \right)^2 K_p \frac{1}{K_c \eta_p \eta} (C_2 h^6 + K_c h^3) + \omega_2 \lambda \frac{K_s \eta (\omega R_2)^2 A}{c_0 \rho P_r C_2 h^4}$$

$$Y = \omega_1 \frac{K_1}{h} + \omega_1 K_2 [C_2 h^6 + K_c h^3] + \omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^4} \quad (4.21)$$

şeklinde elde edilebilir.

Sınır şart fonksiyonları;

$$h > h_{\min}$$

$$\frac{K_4}{h^4} \geq \Delta T_{\min}$$

“h” değerinin hesaplandığı fonksiyon;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = -\omega_1 \frac{K_1}{h^2} + \omega_1 K_2 [6C_2 h^5 + 3K_c h^2] - 4\omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^5} = 0 \quad (4.22)$$

şeklindedir. Eş. 4.22 kullanılarak yağ filmi kalınlık değeri bulunur elde edilen “h” değeri kullanılarak; sürtünme gücü, pompa gücü, toplam güç, sıcaklık farkı ve debi değerleri elde edilir.

4.2. Dairesel-Orifis Kontrollü Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar

4.2.1 Minimum güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon

Minimum güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon yaparken toplam güç (N_T) ve Yatak katsayısı (L) denklemlerinin kombinasyonunu kullanılır.

$$Y = \omega_1 N_T + \lambda \omega_2 L \quad (4.23)$$

ω_1 ve ω_2 ağırlık faktörleri, λ hassasiyet faktörüdür.

$$\lambda = \frac{N_{T \min}}{L_{\min}} = \frac{N_T(h_{\min})}{L(h_{\min})} \quad (4.24)$$

Ağırlık faktörleri;

$$\omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (4.25)$$

Optimizasyon için oluşturulan amaç fonksiyonu:

$$Y = \omega_1 K_s \eta \frac{\omega^2 R_2^2}{h} A + \omega_1 \left(\frac{F}{A} \right)^2 \frac{K_p}{\eta_p \eta K_o^2} [C_2^2 h^9 P_r + K_o^2 h^3] + \omega_2 \lambda \frac{F}{\eta \omega R_2^4} h^2$$

$$Y = \omega_1 \frac{K_1}{h} + \omega_1 K_2 [C_2^2 h^9 P_r + K_o^2 h^3] + \omega_2 \lambda K_3 h^2 \quad (4.26)$$

Optimizasyon için Kullanılan Kısıtlayıcı Fonksiyonlar:

$$K_3 h^2 \leq L_{\min}$$

$$h > h_{\min}$$

şeklindedir.

Optimizasyon için oluşturulan amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı fonksiyonlar kullanılarak elde edilen fonksiyonun “h” yağ film kalınlığına göre türevi alınırsa;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = -\omega_1 \frac{K_1}{h^2} + \omega_1 K_2 [9C_2^2 h^8 P_r + 3K_o^2 h^2] + 2\omega_2 \lambda K_3 h = 0 \quad (4.27)$$

olur. Eş. 4.27 kullanılarak “h” değeri bulunur elde edilen “h” değeri kullanılarak sürtünme gücü, pompa gücü, toplam güç, sıcaklık farkı ve debi değerleri elde edilir.

4.2.2 Yatak katsayısı ve minimum sıcaklık farkına göre optimizasyon

Yatak katsayısı ve minimum sıcaklık farkına göre optimizasyon yaparken yatak katsayısı (L) ve (ΔT) sıcaklık farkı denklemlerinin kombinasyonunu kullanılır.

$$Y = \omega_1 L + \lambda \omega_2 \Delta T \quad (4.28)$$

$$\lambda = \frac{L_{\min}}{\Delta T_{\min}} = \frac{L(h_{\min})}{\Delta T(h_{\min})} \quad (4.29)$$

$$Y = \omega_1 \lambda \frac{F}{\eta \omega R_2^4} h^2 + \omega_2 \lambda \frac{K_s \eta (\omega R_2)^2 A}{c_0 \rho P_r C_2 h^4}$$

$$Y = \omega_1 K_3 h^2 + \omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^4} \quad (4.30)$$

Optimizasyon için sınır şart fonksiyonları;

$$K_3 h^2 \leq L_{\min}$$

$$h > h_{\min}$$

$$\frac{K_4}{h^4} \geq \Delta T_{\min}$$

şeklindedir.

“h” değerinin hesaplandığı fonksiyon;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = 2\omega_1 K_3 h - 4\omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^5} = 0 \quad (4.31)$$

olarak ifade edilir. Bu fonksiyon kullanılarak “h” değeri bulunur elde edilen “h” değeri kullanılarak; sürtünme gücü, pompa gücü, toplam güç, sıcaklık farkı ve debi değerleri elde edilir.

4.2.3 Minimum güç ve minimum sıcaklık için optimizasyon

$$Y = \omega_1 N_T + \lambda \omega_2 \Delta T \quad (4.32)$$

$$\lambda = \frac{N_{T \min}}{\Delta T_{\min}} = \frac{N_T(h_{\min})}{\Delta T(h_{\min})} \quad (4.33)$$

$$Y = \omega_1 K_s \eta \frac{\omega^2 R_2^2}{h} A + \omega_1 \left(\frac{F}{A} \right)^2 \frac{K_p}{\eta_p \eta K_o^2} [C_2^2 h^9 P_r + K_o^2 h^3] + \omega_2 \lambda \frac{K_s \eta (\omega R_2)^2 A}{c_0 \rho P_r C_2 h^4}$$

$$Y = \omega_1 \frac{K_1}{h} + \omega_1 K_2 [C_2^2 h^9 P_r + K_o^2 h^3] + \omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^4} \quad (4.34)$$

Sınır şart fonksiyonları;

$$h \geq h_{\min}$$

$$\frac{K_4}{h^4} \geq \Delta T_{\min}$$

şeklindedir. “h” değerinin hesaplandığı fonksiyon;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = -\omega_1 \frac{K_1}{h^2} + \omega_1 K_2 [9C_2^2 h^8 P_r + 3K_o^2 h^2] - 4\omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^5} = 0 \quad (4.35)$$

4.3. Halka Yuvalı-Kapileri Kontrollü Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar

4.3.1 Minimum güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon

Minimum güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon yaparken toplam güç (N_T) ve Yatak katsayısı (L) denklemlerinin kombinasyonunu kullanılır.

$$Y = \omega_1 N_T + \lambda \omega_2 L \quad (4.36)$$

ω_1 ve ω_2 ağırlık faktörleri, λ hassasiyet faktörüdür.

$$\lambda = \frac{N_{T \min}}{L_{\min}} = \frac{N_T(h_{\min})}{L(h_{\min})} \quad (4.37)$$

Ağırlık faktörleri;

$$\omega_1 + \omega_2 = 1$$

Optimizasyon için oluşturulan amaç fonksiyonu:

$$Y = \omega_1 K_s \eta (\omega R_1)^2 A_d \frac{1}{h} + \omega_1 K_p \left(\frac{F}{A_d} \right)^2 \frac{1}{\eta^2 \eta_p K_C} \left[h^6 + \frac{h^3 K_C}{C_3} \right] + \omega_2 \lambda \frac{F}{\eta \omega b r_{02}^3} h^2$$

$$Y = \omega_1 \frac{K_1}{h} + \omega_1 K_2 \left[h^6 + \frac{h^3 K_C}{C_3} \right] + \omega_2 \lambda K_3 h^2 \quad (4.38)$$

Optimizasyon için kullanılan kısıtlayıcı fonksiyonlar:

$$K_3 h^2 \leq L_{\min}$$

$$h \geq h_{\min}$$

Optimizasyon için oluşturulan amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı fonksiyonlar kullanılarak elde edilen fonksiyonun “h” yağ film kalınlığına göre türevi alınırsa;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = -\omega_1 \frac{K_1}{h^2} + \omega_1 K_2 \left[6h^5 + \frac{3h^2 K_C}{C_3} \right] + 2\omega_2 \lambda K_3 h = 0 \quad (4.39)$$

4.3.2 Yatak katsayısı ve minimum sıcaklık farkına göre optimizasyon

Yatak katsayısı ve Minimum sıcaklık farkına göre optimizasyon yaparken Yatak katsayısı (L) ve (ΔT) sıcaklık farkı denklemlerinin kombinasyonunu kullanılır.

$$Y = \omega_1 L + \lambda \omega_2 \Delta T \quad (4.40)$$

$$\lambda = \frac{L_{\min}}{\Delta T_{\min}} = \frac{L(h_{\min})}{\Delta T(h_{\min})}$$

$$Y = \omega_1 \frac{F}{\eta \omega b r_{02}^3} h^2 + \omega_2 \lambda \frac{K_s (\eta \omega R_1 A_d)^2}{c_0 \rho F K_q h^4}$$

$$Y = \omega_1 K_3 h^2 + \omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^4} \quad (4.41)$$

Optimizasyon için sınır şart fonksiyonları;

$$K_3 h^2 \leq L_{\min}$$

$$h \geq h_{\min}$$

$$\frac{K_4}{h^4} \geq \Delta T_{\min}$$

“h” değerinin hesaplandığı fonksiyon;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = 2\omega_1 K_3 h - 4\omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^5} = 0 \quad (4.42)$$

olarak elde edilir.

4.3.3 Minimum güç ve minimum sıcaklık için optimizasyon

$$Y = \omega_1 N_T + \lambda \omega_2 \Delta T \quad (4.43)$$

$$\lambda = \frac{N_{T \min}}{\Delta T_{\min}} = \frac{N_T(h_{\min})}{\Delta T(h_{\min})}$$

$$Y = \omega_1 K_s \eta (\omega R_1)^2 A_d \frac{1}{h} + \omega_1 K_p \left(\frac{F}{A_d} \right)^2 \frac{1}{\eta^2 \eta_p K_C} \left[h^6 + \frac{h^3 K_C}{C_3} \right] + \omega_2 \lambda \frac{K_s (\eta \omega R_1 A_d)^2}{c_0 \rho F K_q h^4}$$

$$Y = \omega_1 \frac{K_1}{h} + \omega_1 K_2 \left[h^6 + \frac{h^3 K_C}{C_3} \right] + \omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^4} \quad (4.44)$$

Sınır şart fonksiyonları;

$$h \geq h_{\min}$$

$$\frac{K_4}{h^4} \geq \Delta T_{\min}$$

“h” değerinin hesaplandığı fonksiyon;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = -\omega_1 \frac{K_1}{h^2} + \omega_1 K_2 \left[6h^5 + \frac{3h^2 K_C}{C_3} \right] - 4\omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^5} = 0 \quad (4.45)$$

olarak elde edilir.

4.4. Halka Yuvalı-Orifis Kontrollü Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yataklar

4.4.1 Minimum güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon

Minimum güç ve yatak katsayısına göre optimizasyon yaparken toplam güç (N_T) ve Yatak katsayısı (L) denklemlerinin kombinasyonunu kullanılır.

$$Y = \omega_1 N_T + \lambda \omega_2 L \quad (4.46)$$

ω_1 ve ω_2 ağırlık faktörleri, λ hassasiyet faktörüdür.

$$\lambda = \frac{N_{T \min}}{L_{\min}} = \frac{N_T(h_{\min})}{L(h_{\min})} \quad (4.47)$$

şeklindedir.

Ağırlık faktörleri;

$$\omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (4.48)$$

Optimizasyon için oluşturulan amaç fonksiyonu:

$$Y = \omega_1 K_s \eta \frac{(\omega R_1)^2}{h} A_d + \omega_1 K_p \left(\frac{F}{A_d} \right)^2 \frac{1}{\eta \eta_p K_o^2} [C_3^2 h^9 P_r + h^3 K_o^2] + \omega_2 \lambda \frac{F h^2}{\eta \omega b r_{02}^3}$$

$$Y = \omega_1 \frac{K_1}{h} + \omega_1 K_2 [C_3^2 h^9 P_r + h^3 K_o^2] + \omega_2 \lambda K_3 h^2 \quad (4.49)$$

Optimizasyon için Kullanılan Kısıtlayıcı Fonksiyonlar:

$$K_3 h^2 \leq L_{\min}$$

$h)h_{\min}$

Optimizasyon için oluşturulan amaç fonksiyonu ve kısıtlayıcı fonksiyonlar kullanılarak elde edilen fonksiyonun “h” yağ film kalınlığına göre türevi alınır;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = -\omega_1 \frac{K_1}{h^2} + \omega_1 K_2 [9C_3^2 h^8 P_r + 3h^2 K_o^2] + 2\omega_2 \lambda K_3 h = 0 \quad (4.50)$$

elde edilir.

4.4.2 Yatak katsayısı ve minimum sıcaklık farkına göre optimizasyon

Yatak katsayısı ve Minimum sıcaklık farkına göre optimizasyon yaparken Yatak katsayısı (L) ve (ΔT) sıcaklık farkı denklemlerinin kombinasyonunu kullanılır.

$$Y = \omega_1 L + \lambda \omega_2 \Delta T \quad (4.51)$$

$$\lambda = \frac{L_{\min}}{\Delta T_{\min}} = \frac{L(h_{\min})}{\Delta T(h_{\min})} \quad (4.52)$$

$$Y = \omega_1 \frac{Fh^2}{\eta \omega b r_{02}^3} + \omega_2 \lambda \frac{K_s (\eta \omega R_1 A_d)^2}{c_0 \rho F K_q h^4}$$

$$Y = \omega_1 K_3 h^2 + \omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^4} \quad (4.53)$$

Optimizasyon için sınır şart fonksiyonları;

$$K_3 h^2 \leq L_{\min}$$

$h)h_{\min}$

$$\frac{K_4}{h^4} \geq \Delta T_{\min}$$

“h” değerinin hesaplandığı fonksiyon;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = 2\omega_1 K_3 h - 4\omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^5} = 0 \quad (4.54)$$

şeklinde elde edilir.

4.4.3 Minimum güç ve minimum sıcaklık için optimizasyon

$$Y = \omega_1 N_T + \lambda \omega_2 \Delta T \quad (4.55)$$

$$\lambda = \frac{N_{T \min}}{\Delta T_{\min}} = \frac{N_T(h_{\min})}{\Delta T(h_{\min})}$$

$$Y = \omega_1 K_s \eta \frac{(\omega R_1)^2}{h} A_d + \omega_1 K_p \left(\frac{F}{A_d} \right)^2 \frac{1}{\eta \eta_p K_o^2} [C_3^2 h^9 P_r + h^3 K_o^2]$$

$$Y = \omega_1 \frac{K_1}{h} + \omega_1 K_2 [C_3^2 h^9 P_r + h^3 K_o^2] + \omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^4} \quad (4.56)$$

Sınır şart fonksiyonları;

$h)h_{\min}$

$$\frac{K_4}{h^4} \geq \Delta T_{\min}$$

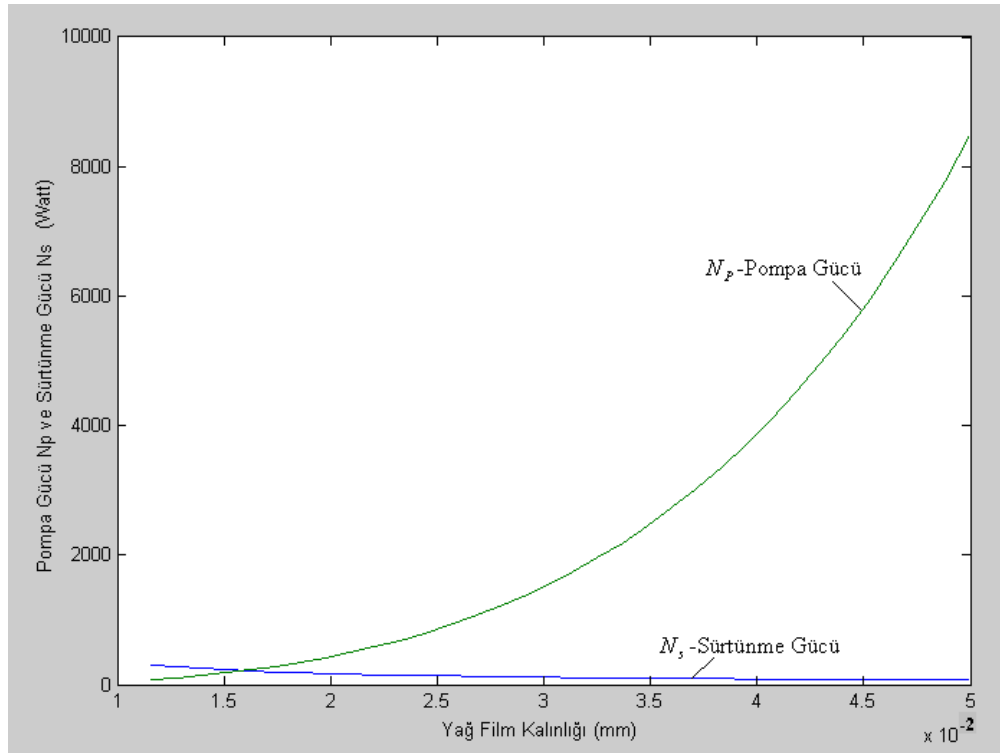
“h” değerinin hesaplandığı fonksiyon;

$$\frac{\partial Y}{\partial h} = -\omega_1 \frac{K_1}{h^2} + \omega_1 K_2 [9C_3^2 h^8 P_r + 3h^2 K_o^2] - 4\omega_2 \lambda \frac{K_4}{h^5} = 0 \quad (4.57)$$

olarak elde edilir.

5. HESAPLARIN SONUÇLARI VE GRAFİKLER

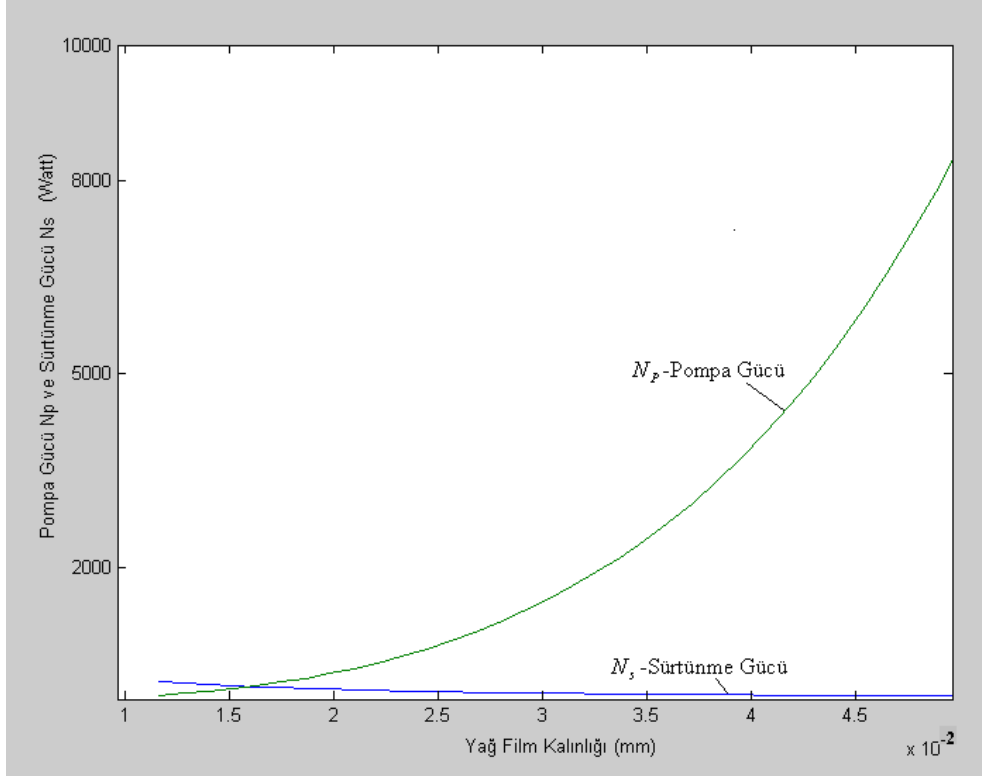
Bu bölümde kapileri ve orifis kontrollü dairesel ve halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatakların; minimum güç ve yatak katsayısı (1. optimizasyon), minimum sıcaklık ve yatak katsayısı (2. optimizasyon), minimum güç ve minimum sıcaklık (3. optimizasyon) kriterlerine göre optimizasyon sonuçları grafiksel olarak incelenmiştir.



Şekil 5.1 Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi

Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak için hesaplanan minimum güç ve yatak katsayısı optimizasyonu sonucunda elde edilen yatak film kalınlığı değerlerine bağlı sürtünme gücü ve pompa gücü değişimi Şekil 5.1 de görüldüğü gibidir. Yatak film kalınlığına bağlı olarak, sürtünme gücündeki değişim film kalınlığının artışıyla ters orantılı iken pompa gücü doğru orantılı olup film kalınlığının artışıyla artış göstermektedir. Yağ film kalınlığı değerinin artışıyla sürtünme etkisi azalacağından sürtünme için

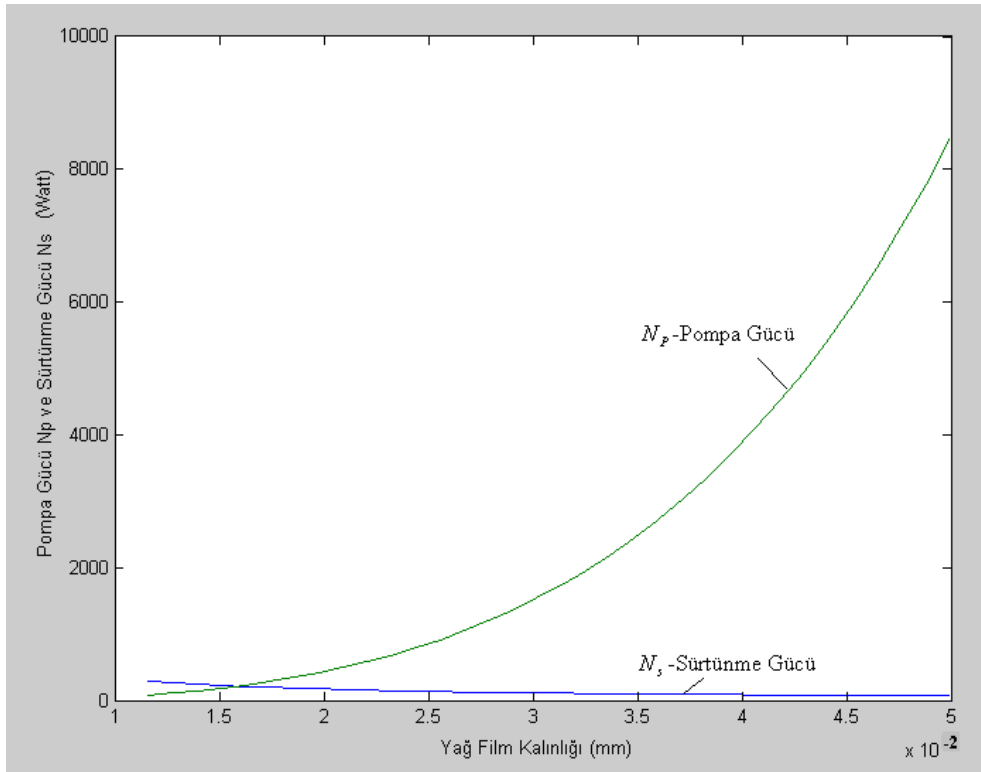
harcanan güç azalmaktadır. Pompa gücü için bu durum tam tersidir, film kalınlığının artması daha fazla yağ pompalanmasını gerektireceğinden pompa için harcanan güç yağ film kalınlığının artışıyla eğrisel olarak artmaktadır.



Şekil 5.2 Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik eksenel yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi

Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yatak için film kalınlığı h değerine bağlı sürtünme gücü ve pompa gücündeki değişim Şekil 5.2 de görüldüğü gibidir. Yatak katsayısı ve minimum sıcaklık için elde edilen optimizasyon sonuçları, minimum güç ve yatak katsayısı ve minimum güç ve sıcaklık kriterleri için elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında sürtünme için harcanan güç miktarının, bu kriterde diğerlerine göre daha fazla olduğu görülür. Buna bağlı olarak optimum sonucu veren film kalınlığı; yatak katsayısı ve minimum sıcaklık optimizasyon kriterinde diğer kriterlere göre daha düşük bir değerdir. Önceki bölümlerde de belirtildiği gibi sürtünme için

harcanan gücün, yatakta oluşan film kalınlığıyla ters orantılı olduğu 2. optimizasyon kriteri diğer kriterlerle karşılaştırıldığında da görülmektedir. Yatak katsayısı ve minimum sıcaklık için yapılan optimizasyon sonuçlarında, film kalınlığının artışıyla pompa gücünde meydana gelen artış hızı; yağ film kalınlığının daha düşük bir değerde olması ve buna bağlı olarak pompanın daha az miktarda yağ pompalama zorunluluğu olması nedeniyle daha düşüktür.



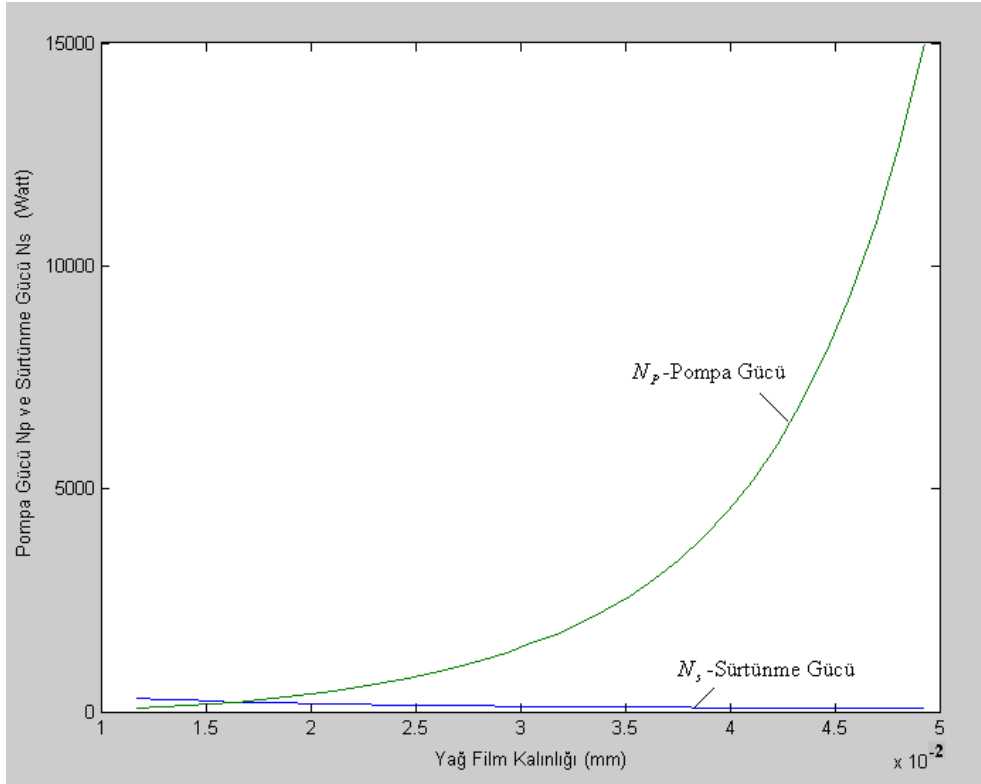
Şekil 5.3 Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik eksenel yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi

Şekil 5.3 de görüldüğü gibi sürtünme gücünün, film kalınlığına bağlı değişimi; minimum güç ve yatak katsayısı, minimum sıcaklık ve yatak katsayısı için elde edilen optimizasyon sonuçlarıyla kıyaslandığında, bu kriter için elde edilen değer minimum güç ve yatak katsayısı kriteri için elde edilen değer ile yakın hatta hemen hemen aynı olduğu görülür. Bu sonuç uygulanan optimizasyon kriterlerinde güç kriterinin sıcaklık ve yatak katsayısı kriterlerine

göre, optimizasyon çalışmalarında esas kriter olarak ele alındığının, öncelikli olarak gücün minimize edilmeye çalışıldığının göstergesidir. Buna bağlı olarak elde edilen değerlerden pompa gücünün de, film kalınlığına bağlı değişiminin minimum güç ve yatak katsayısı kriteri için elde edilen optimizasyon sonuçlarıyla uyumlu, hemen hemen aynı değerler olduğu görülür. Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak için optimizasyon sonuçları; minimum güç ve yatak katsayısı, minimum sıcaklık ve yatak katsayısı, minimum güç ve minimum sıcaklık için çizelge 5.1 de belirtilmiştir.

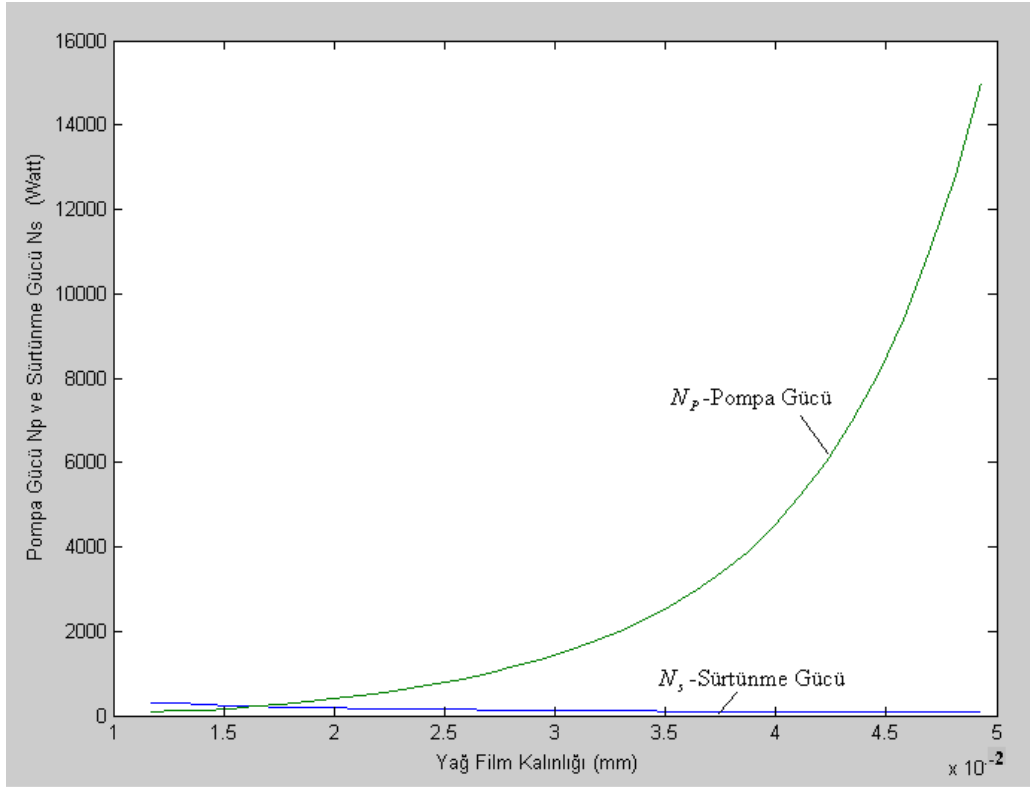
Çizelge 5.1 Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak için optimizasyon çalışmaları

Dairesel-Kapileri Tüp	Sürtünme Gücü W	Pompa Gücü w	Toplam Güç W	Film Kalınlığı h μm
1. Optimizasyon	208,789	219,945	428,730	14,72
2. Optimizasyon	209,966	216,239	426,205	14,64
3. Optimizasyon	208,789	219,945	428,734	14,72



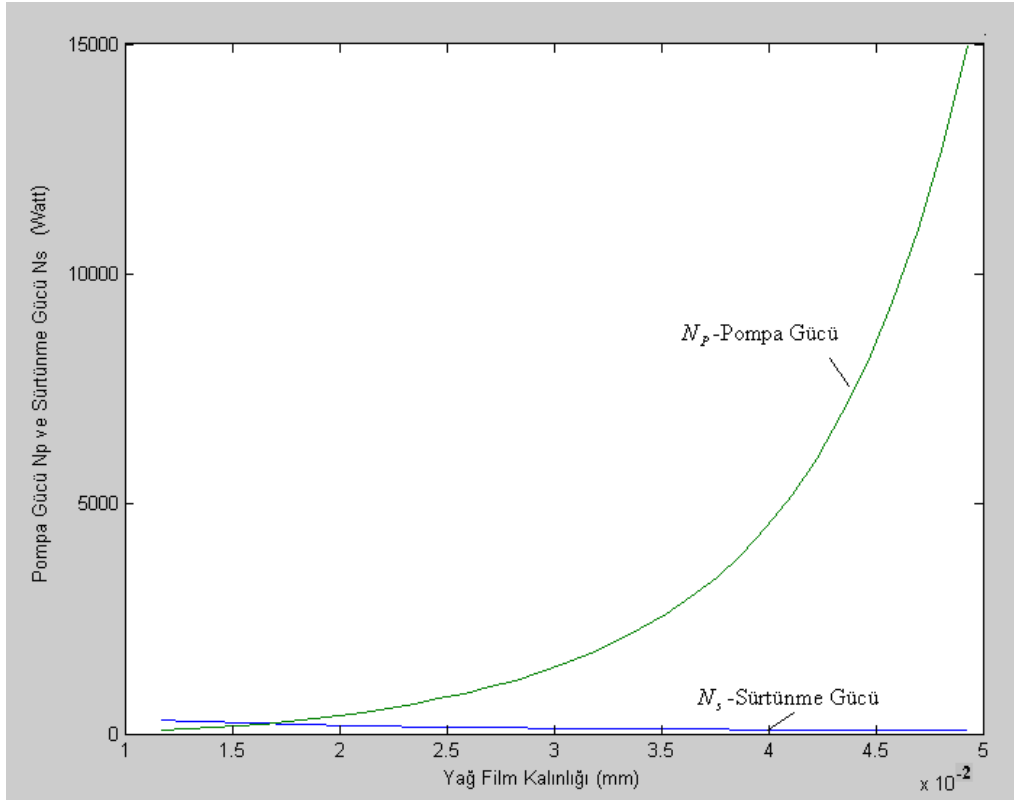
Şekil 5.4 Orifis kontrollü dairesel hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi

Orifis kontrollü dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak için, minimum güç ve yatak katsayısı optimizasyon sonuçlarına göre pompa gücü ve sürtünme gücünün h film kalınlığına bağlı değişimi Şekil 5.4 de görüldüğü gibidir. Aynı optimizasyon kriteri için kapileri kontrollü yatak ile kıyaslandığında orifis kontrollü yatakta optimum değerler için oluşan yağ film kalınlığı daha büyük bir değerdir, buna bağlı olarak sürtünme için harcanan güç ise kapileri kontrollü yatak için harcanan güç değerinden daha düşük bir değerdir. Pompa gücü için elde edilen değerler minimum güç ve yatak katsayısı kriterine göre kapileri kontrollü yatak için elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında da orifis kontrollü yatakta, pompa gücündeki artışın: kapileri kontrollü yatağa göre daha fazla olduğu görülür.



Şekil 5.5 Orifis kontrollü dairesel hidrostatik eksenel yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi

Orifis kontrollü dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yatak için: yatak katsayısı ve minimum sıcaklık optimizasyon çalışmalarına bağlı olarak pompa gücü ve sürtünme gücünün, h film kalınlığına bağlı değişimi Şekil 5.5 de görüldüğü gibidir. Kapileri kontrollü dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yatak için aynı optimizasyon kriterine göre elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında pompa gücündeki film kalınlığına bağlı artışın orifis kontrollü yatakta daha fazla olduğu görülür. Bu optimizasyon çalışmasında yatak katsayısı ve sıcaklık kriterleri değerlendirildiğinden pompa gücündeki artışın büyük miktarlarda olduğu, hatta aynı kriterler için kapileri kontrollü dairesel eksenel yatak optimizasyon çalışmalarının sonuçları incelendiğinde pompa için harcanan gücün büyük oranlarda arttığı görülür.

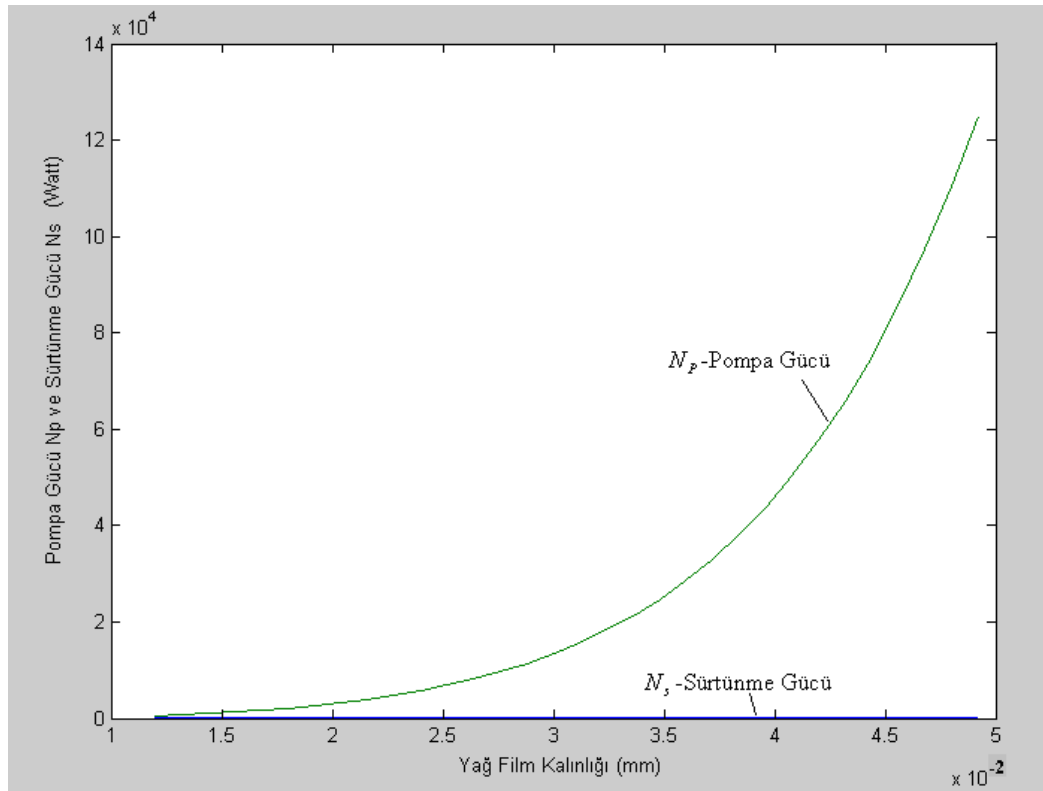


Şekil 5.6 Orifis kontrollü dairesel hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı olarak sürtünme ve pompa gücü değişimi

Minimum güç ve minimum sıcaklığa göre orifis kontrollü dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak için elde edilen optimizasyon çalışmalarına bağlı, pompa gücü ve sürtünme gücünün film kalınlığına göre değişimi Şekil 5.6 da görüldüğü gibi olup; pompa gücünün film kalınlığına bağlı artışı kapileri kontrollü yatak için aynı optimizasyon kriterine göre elde edilen artışa benzer bir artış göstermektedir. Minimum güç ve minimum sıcaklık kriteri için; dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak kapileri ve orifis direnç elemanları kombinasyonlarının optimizasyon sonuçları incelendiğinde birbirine paralel yakın değerlerde olduğu görülür. Orifis kontrollü dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak için optimum yağ film kalınlığına bağlı optimizasyon sonuçları; minimum güç ve yatak katsayısı, minimum sıcaklık ve yatak katsayısı, minimum güç ve minimum sıcaklık için çizelge 5.2 de belirtilmiştir.

Çizelge 5.2 Orifis kontrollü dairesel hidrostatik eksenel kaymalı yatak için optimizasyon çalışmaları

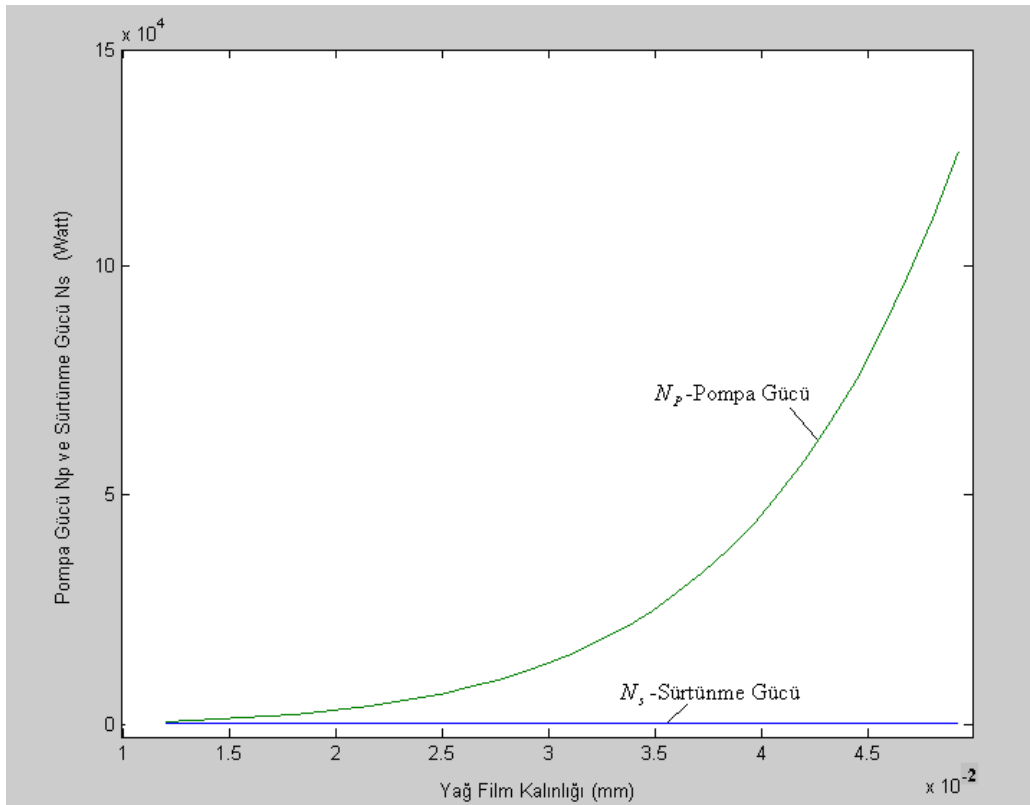
Dairesel-Orifis	Sürtünme Gücü W	Pompa Gücü w	Toplam Güç W	Film Kalınlığı h μm
1. Optimizasyon	205,663	264,628	470,291	16
2. Optimizasyon	171,865	455,264	627,129	19
3. Optimizasyon	218,962	219,139	438,101	15



Şekil 5.7 Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik eksenel yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi

Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik eksenel kaymalı yataklarda, sürtünme gücü ve pompa gücünün, film kalınlığına bağlı değişimi Şekil 5.7 de görüldüğü gibidir. Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik eksenel kaymalı yatak minimum güç ve yatak katsayısı optimizasyon kriteri sonuçlarından da görüldüğü gibi sürtünme için harcanan güç değeri kapileri kontrollü dairesel eksenel kaymalı yatak ile kıyaslandığında hemen hemen yarı miktarı kadar azalmıştır. Yatak için elde edilen optimum film kalınlığı değeri de kapileri

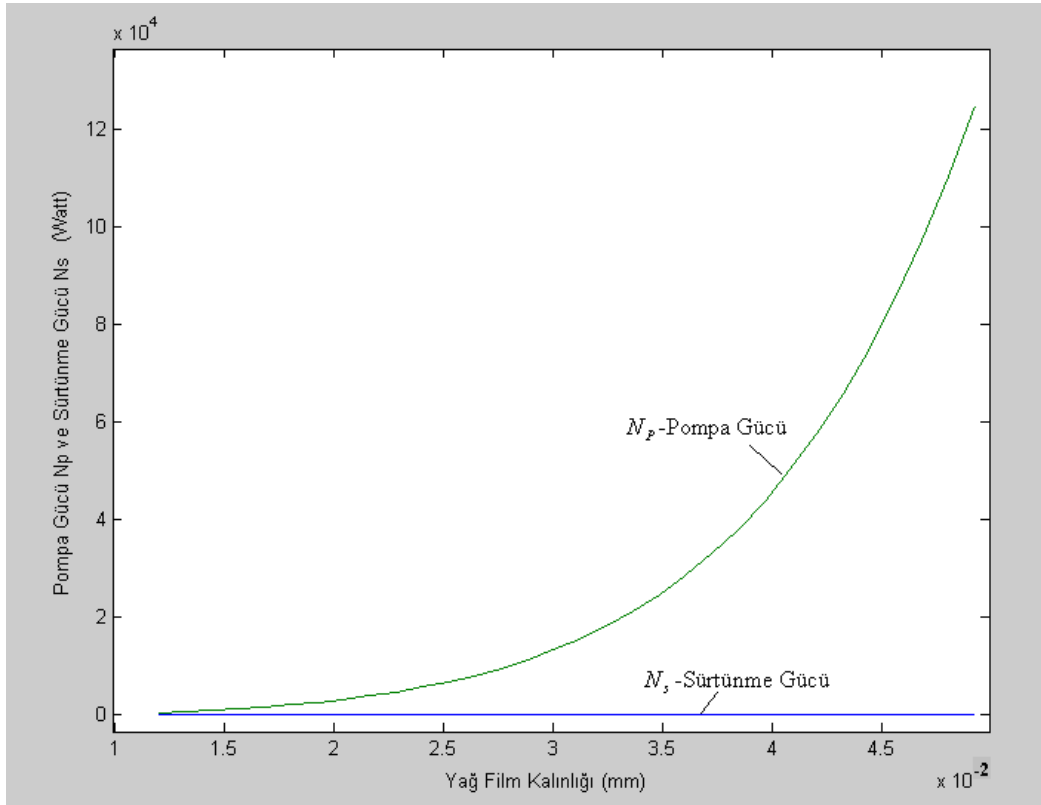
kontrollü dairesel aksenal yatak için elde edilen optimum film kalınlığı değerinden daha düşük bir değerdir ancak film kalınlığındaki azalma sürtünme için harcanan güçte olduğu gibi yarı yarıya bir azalma değildir. Grafikten okunan değerlerden de görüldüğü gibi halka yuvalı yatakta pompa gücü için film kalınlığına bağlı artış, dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak için elde edilen artış değerlerinden oldukça fazladır.



Şekil 5.8 Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi

Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatakta, yatak katsayısı ve minimum sıcaklık için elde edilen optimizasyon sonuçlarına bağlı sürtünme gücü ve pompa gücünün, film kalınlığına bağlı değişimi Şekil 5.8 de görüldüğü gibidir. Yatak katsayısı ve minimum sıcaklık için elde edilen sonuçların, minimum güç ve yatak katsayısı kriteri için elde edilen sonuçlarla kıyaslanmasıyla film kalınlığının az da olsa bir miktar arttığı buna bağlı olarak sürtünme gücünün azaldığı dolayısıyla da pompa gücünün arttığı görülür.

Aynı optimizasyon kriteri için kapileri kontrollü dairesel yatak ile kıyaslandığında ise kapileri kontrollü halka yuvalı yatak pompa gücündeki artışın oldukça fazla olduğu tesbit edilir.



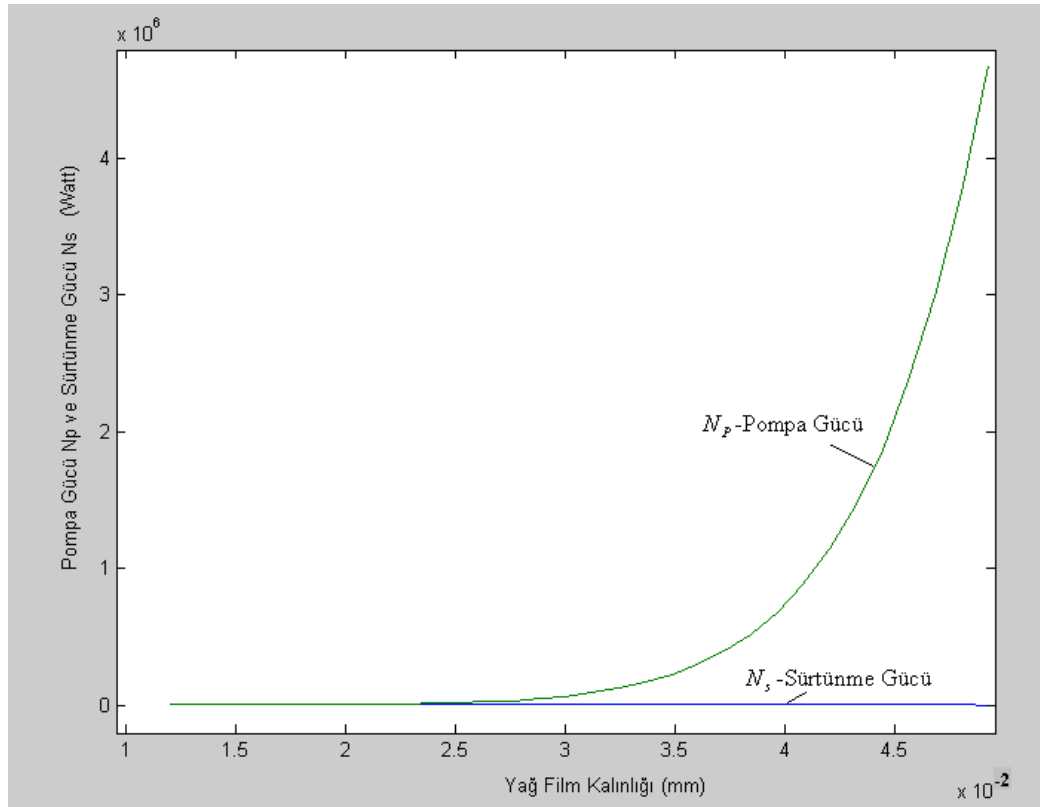
Şekil 5.9 Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksel yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi

Şekil 5.9 da görüldüğü gibi kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksel kaymalı yataklarda minimum güç ve minimum sıcaklık kriterine göre pompa gücü ve sürtünme gücünün film kalınlığına bağlı değişimi birinci optimizasyon kriteri olan minimum güç ve yatak katsayısı için elde edilen değerlere oldukça yakın paralel değerlerdir. Her iki kriterde de minimum güç ifadesinin değerlendirilmesi ve öncelikli olarak güç ifadesini optimize eden film kalınlığı değerinin optimum film kalınlığı olarak değerlendirilmesi buna etkindir. Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksel kaymalı yatak için optimizasyon sonuçları; minimum güç ve yatak katsayısı, minimum sıcaklık

ve yatak katsayısı, minimum güç ve minimum sıcaklık için çizelge 5.3 de belirtilmiştir.

Çizelge 5.3 Kapileri kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatak için optimizasyon çalışmaları

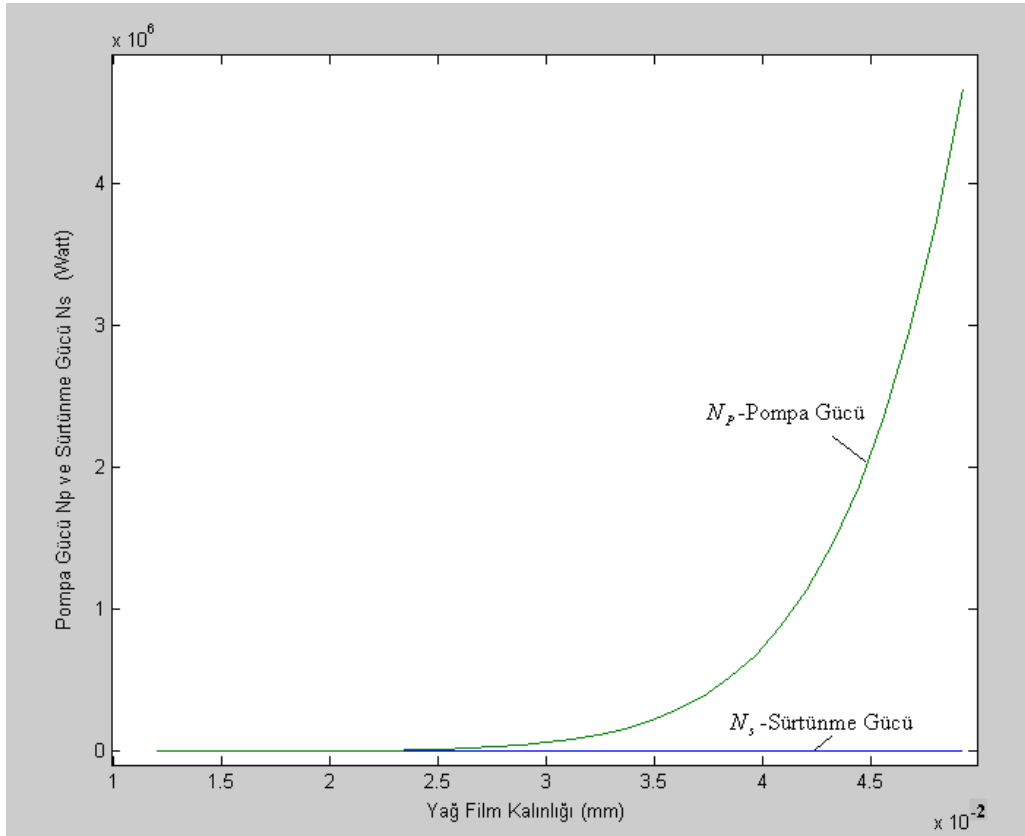
Halka yuvalı-Kapileri Tüp	Sürtünme Gücü W	Pompa Gücü w	Toplam Güç W	Film Kalınlığı h μm
1. Optimizasyon	183,006	855,414	1038	11,8
2. Optimizasyon	181,540	870,500	1052	11,9
3. Optimizasyon	182,845	857,083	1039,9	11,8



Şekil 5.10 Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi

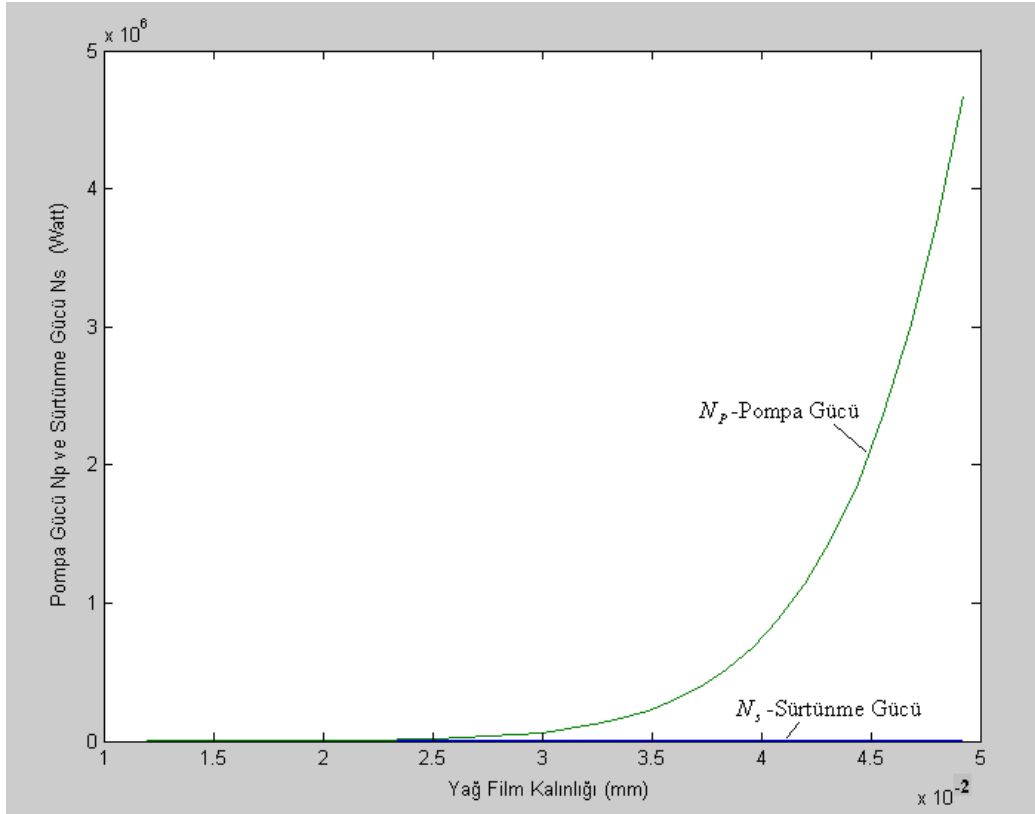
Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yataklarda, minimum güç ve yatak katsayısı kriteri için film kalınlığına bağlı sürtünme gücü ve pompa gücündeki artış Şekil 5.10 da görüldüğü gibidir. Orifis kontrollü yatak'ta sürtünme için harcanan güç kapileri kontrollü yatak için elde edilen

değere oldukça yakındır ve pompa gücünde bir miktar azalma görülür ancak pompa gücü için harcanan değer orifis kontrollü dairesel yatağa göre oldukça fazladır yaklaşık 4 katı kadar bir değere ulaşmıştır.



Şekil 5.11 Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksel yataкта yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi

Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksel kaymalı yataklarda, yatak katsayısı ve minimum sıcaklık kriteri için film kalınlığına bağlı sürtünme gücü ve pompa gücündeki değişim Şekil 5.11 de görüldüğü gibidir. 1. Optimizasyon (minimum güç ve yatak katsayısı) sonuçlarıyla kıyaslandığında optimum film kalınlığı için sürtünme gücünde azalma pompa gücünde ise artış olduğu görülür.

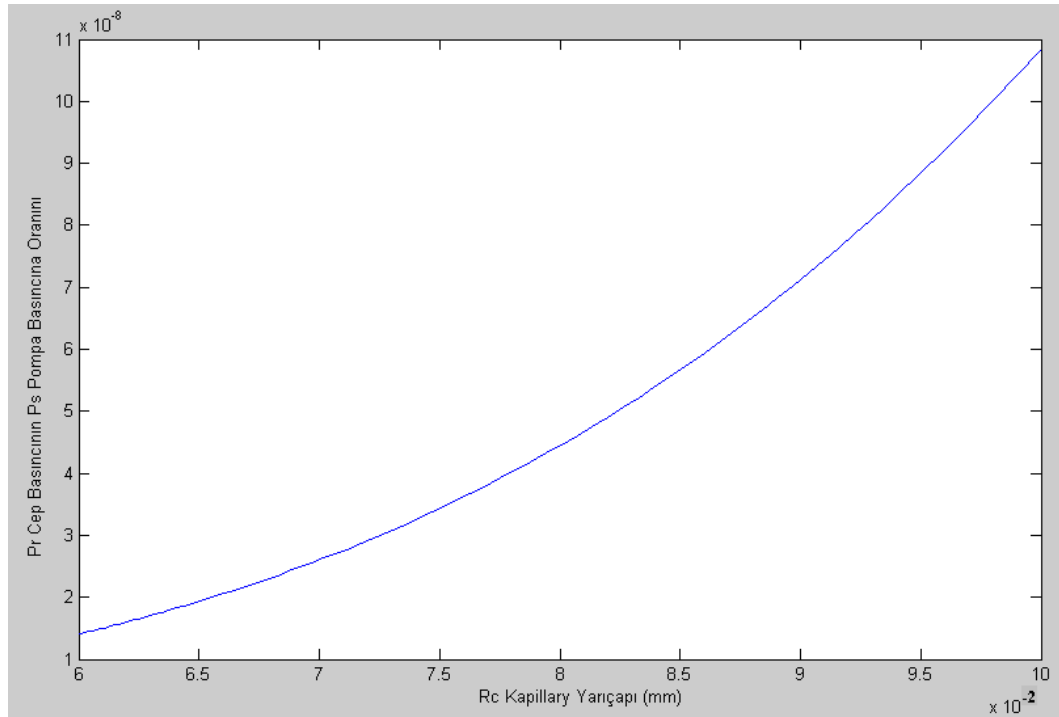


Şekil 5.12 Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal yatakta yağ film kalınlığına bağlı sürtünme ve pompa gücü değişimi

Şekil 5.12 de görüldüğü gibi orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yataklarda pompa gücü ve sürtünme gücünün film kalınlığına bağlı değişimi birinci optimizasyon kriteri olan minimum güç ve yatak katsayısı için elde edilen değerlerle paralel değerlerdir. Kapileri kontrollü halka yuvalı yatak minimum güç minimum sıcaklık kriteri sonuçlarıyla kıyaslandığında optimum yağ film kalınlığında önemsenmeyecek bir değişim meydana gelirken pompa gücünde bir azalma olduğu görülür. Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik aksenal kaymalı yatak için optimizasyon sonuçları; minimum güç ve yatak katsayısı, minimum sıcaklık ve yatak katsayısı, minimum güç ve minimum sıcaklık için çizelge 5.4 de belirtilmiştir.

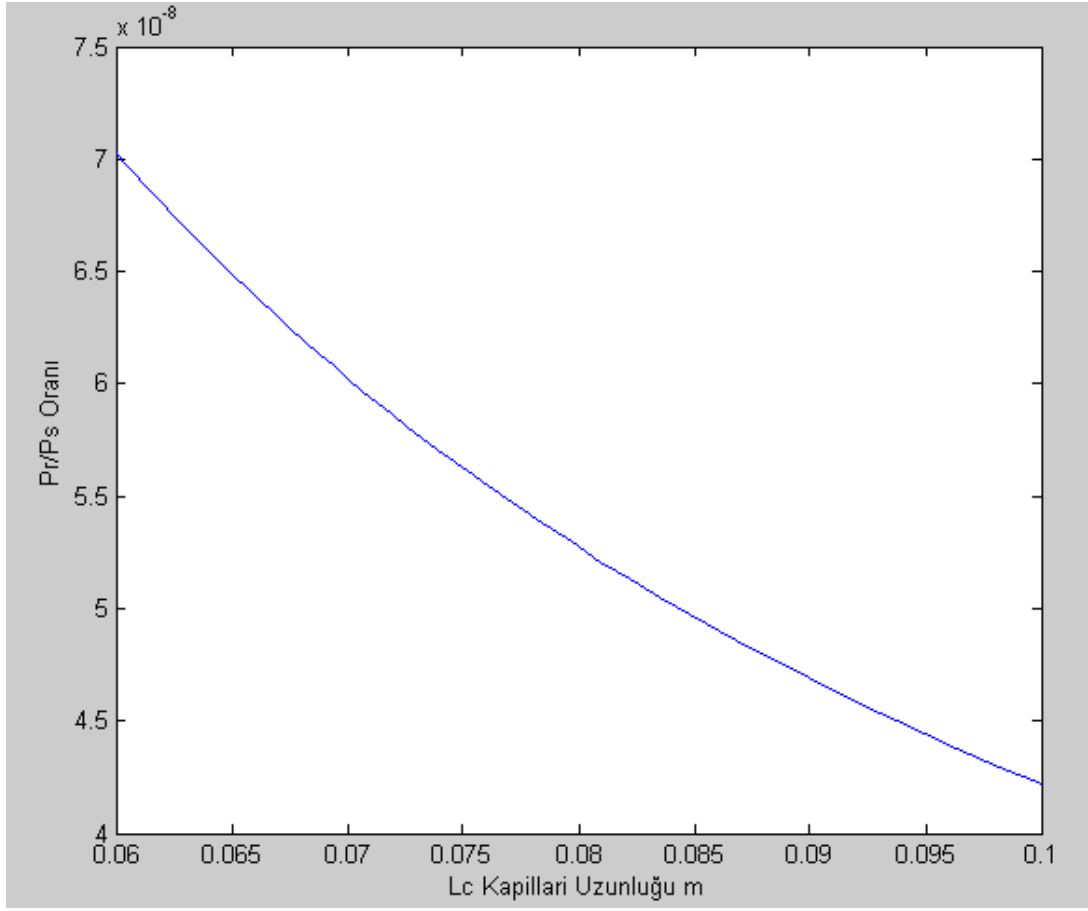
Çizelge 5.4 Orifis kontrollü halka yuvalı hidrostatik eksenel kaymalı yatak için optimizasyon çalışmaları

Halka yuvalı- Orifis	Sürtünme Gücü W	Pompa Gücü w	Toplam Güç W	Film Kalınlığı h μm
1. Optimizasyon	183,006	851,848	1034,85	11,80
2. Optimizasyon	182,098	861,474	1043,60	11,86
3. Optimizasyon	183,003	851,877	1034,90	11,80



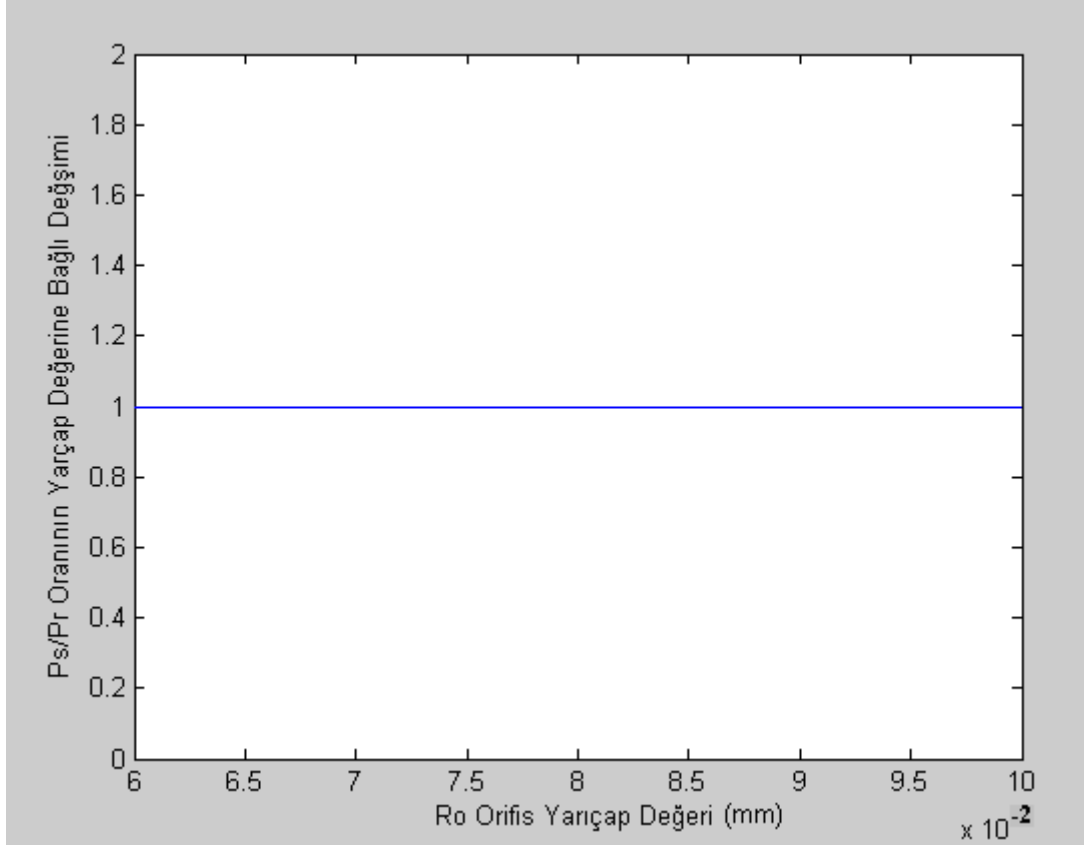
Şekil 5.13 P_r cep basıncının P_s pompa basıncına oranının R_c kapileri yarıçapına göre değişimi

Şekil 5.13 de görüldüğü gibi, cep basıncının pompa basıncına oranı P_r / P_s , kapileri yarıçapı R_c 'nin büyük değerler alması ile artmaktadır. Grafikte kapileri yarıçapı R_c için seçilen en küçük değer, tüpün tıkanmaması için önerilen minimum değerdir. [Rippel 1963].



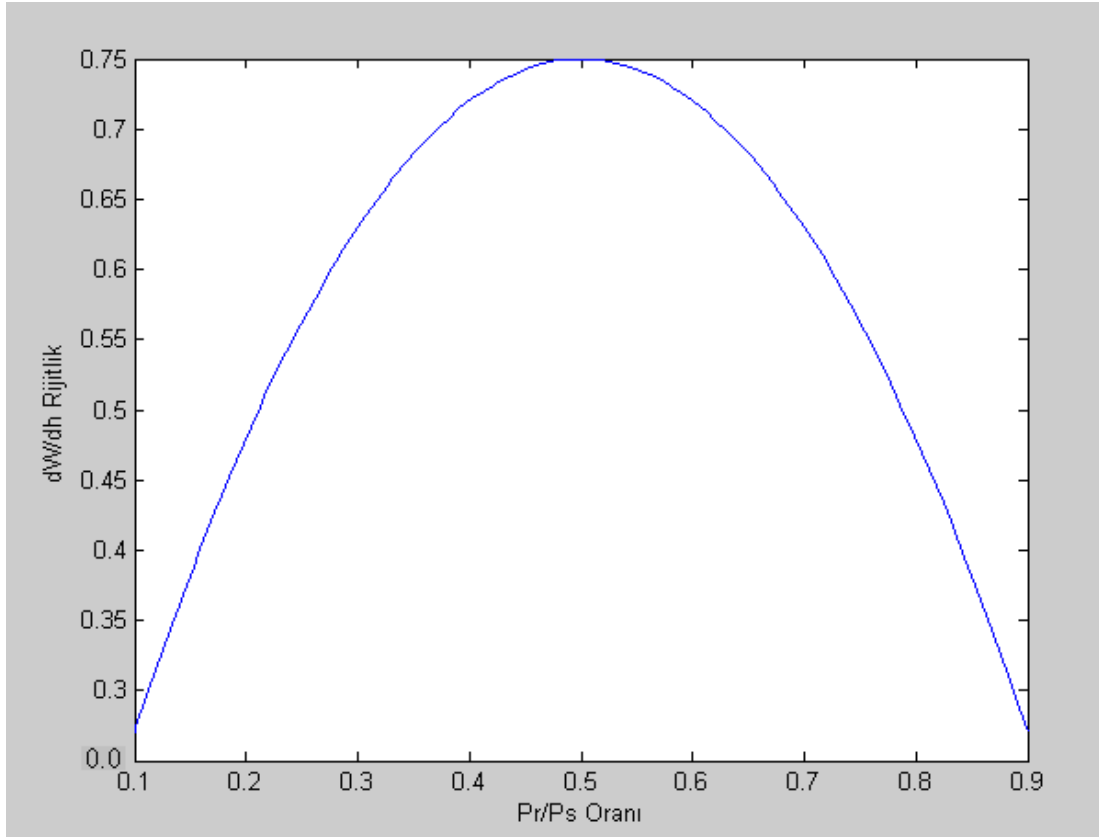
Şekil 5.14 P_r / P_s oranının l_c kapileri uzunluğuna göre değişimi

P_r / P_s oranının kapileri uzunluğuna bağlı değişimi ise şekil 5.14 de görüldüğü gibi ters orantılıdır. Cep basıncının pompa basıncına oranı kapileri uzunluğu l_c 'nin artmasıyla azalmaktadır.



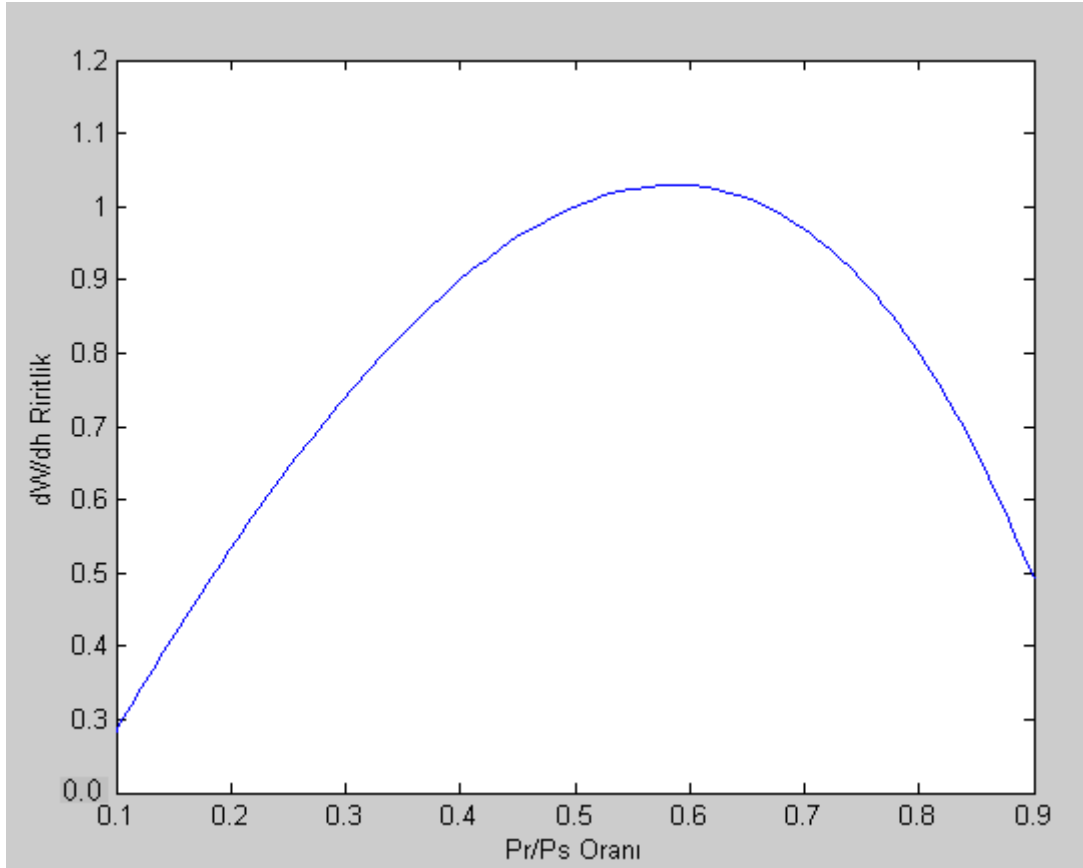
Şekil 5.15 P_s / P_r oranının R_o orifis yarıçapına bağlı değişimi

Şekil 5.15 de görüldüğü gibi orifis için durum biraz daha farklıdır orifis yarıçapına bağlı olarak cep basıncının pompa basıncına oranı P_r / P_s değişmemektedir.



Şekil 5.16 Kapileri kontrollü yatak için P_r / P_s oranına bağlı rijitlik değişimi

Kapileri kontrollü hidrostatik aksenal kaymalı yatakların rijitliğinin $\partial W / \partial h$, cep basıncının pompa basıncına oranı P_r / P_s ' e bağlı değişimi Şekil 5.16 da görüldüğü gibi maksimumum değerini 0.5 değeri için almaktadır. Kapileri kontrollü yatak için rijitlik, grafikte görüldüğü gibi P_r / P_s oranının 0.5 olduğu değere kadar artış göstermekte bu değer için maksimum değerini almakta ve tekrar azalmaktadır



Şekil 5.17 Orifis kontrollü yatak için P_r / P_s oranına bağlı rijitlik değişimi

Şekil 5.17' de görüldüğü gibi orifis için rijitlik ifadesi, P_r / P_s oranının artmasıyla önce artmakta belli bir değer için (~ 0.6) maksimum seviyesine ulaşmakta sonra da azalmaktadır. Bu rijitlik artış ve azalış eğrileri kapileri kontrollü yatakta orifis kontrollü yatağa göre daha simetriktir.

6. SONUÇ

Optimizasyon çalışmalarına başlayabilmek için öncelikli olarak: cep basıncı, debi, yük taşıma kapasitesi, sıcaklık, yatak katsayısı, sürtünme gücü ve pompa gücü gibi optimizasyon eşitliklerinde kullanılacak ifadelerin, dirençsiz dairesel cepli ve halka yuvalı yataklara, kapileri tüp ve orifis direnç elemanlarının eklenmesiyle yeniden düzenlendiğinde bazı ifadelerin direnç elemanına bağlı olarak değişirken bazılarının değişmediği görülür. Dirençsiz sistemler için daha önceden yapılan çalışmalarda araştırmacılar tarafından elde edilmiş sürtünme gücü, yatak katsayısı, sıcaklık farkı, debi, yük taşıma kapasitesi gibi eşitliklerin direnç elemanının eklenmesiyle etkilenmediği ancak pompa gücü için tanımlanan eşitliğin direnç elemanı tipine bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Direnç elemanının eklenmesiyle değişen eşitlikler düzenlenerek optimizasyon çalışmalarında kullanılır.

Optimizasyon çalışmaları için: debi, yük taşıma kapasitesi, sürtünme gücü ve pompa gücü eşitlikleri düzenlenirken bu ifadelerin yatak yarıçap oranına bağlı değişimini görmek için elde edilen boyutsuz katsayılara göre pompa gücünü minimize eden yarıçap değeri 0,5252 olarak bulunmuştur. Sürtünme gücü için tanımlanan boyutsuz katsayı ifadesi ise yarıçap oranı arttıkça azalmaktadır. Ancak toplam güç üzerinde pompa gücü etkisi daha fazla olduğundan gücü minimize etmek için öncelikli olarak pompa gücü katsayısını minimize eden yatak yarıçap oran değeri göz önünde bulundurulur.

Dairesel hidrostatik aksenal kaymalı yatak için farklı direnç elemanları; kapileri tüp ve orifisin, boyutsuz pompa gücü katsayısının yarıçap oranına bağlı değişimini aynı şekilde etkilediği, direnç elemanı tipine bağlı olmaksızın pompa gücü katsayısının aynı yarıçap değeri için minimum değeri aldığı görülür.

Direnç elemanlarından kapileri tüp yarıçap ve uzunluğunun, yatak cep basıncı ile pompadan sağlanan basınç üzerindeki etkisi incelendiğinde, kapileri tüp yarıçap değerinin artmasının cep basıncının pompa basıncına oranını artırdığı görülürken, kapileri tüp uzunluğunun artması bu oranı azaltır.

Kapileri tüp kontrollü yatak için cep basıncının pompa basıncı P_r / P_s oranına bağlı rijitlik değişimi incelendiğinde, bu oran ifadesinin belli bir oran değerine kadar arttığı daha sonra hemen hemen aynı eğrisellikle azaldığı görülür. Orifis için cep basıncının pompa basıncı P_r / P_s oranına bakıldığında bu değer yaklaşık 0,6 olduğu durumda rijitlik maksimum değer almaktadır, maksimum değerden sonra ise azalmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, kapileri ve orifis gibi direnç elemanlarının dairesel cepli ve halka yuvalı yataklara eklenmesiyle; minimum güç ve yatak katsayısı (1. optimizasyon), minimum sıcaklık ve yatak katsayısı (2. optimizasyon), minimum güç ve minimum sıcaklık (3. optimizasyon) gibi çoklu kriterli optimizasyon sonuçları elde edilmiştir. Optimizasyon sonuçlarından da görüldüğü üzere minimum güç kriterinin bulunduğu minimum güç ve yatak katsayısı (1. optimizasyon) ve minimum güç ve minimum sıcaklık (3. optimizasyon) çalışmalarının sonucu aynı tip yatak için genelde birbirine çok yakın değerlerdir. Bunun nedeni optimizasyon çalışmalarında öncelikli olarak güç kriterinin ele alınmasıdır. Optimum sonucu veren film kalınlığı değerinin dairesel yatakta direnç elemanına bağlı olarak değişiminin halka yuvalı yatağa göre daha fazla olduğu görülür.

KAYNAKLAR

1. Raynor, S., Charnes, A., "Flow Parameters in Hydrostatic Lubrication for Several Bearing Shapes" Journal of Basic Engineering, Page 257-264 Transactions of The ASME (1960)
2. Koç, E., Canbulut, F., Canbulut, F., "Dairesel Cepli Hidrostatik Kaymalı Yatakların Teorik Analizi Pistonlu Pompa Pabuç Örneği", Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt No:6, Sayı:2, Page 127-138 (1991)
3. Solmaz, E., Öztürk, F., "Dairesel Hidrostatik Eksenel Kaymalı Yatakların Yatak Katsayısı Açısından İncelenmesi" Yağlama ve Triboloji 54, (2002)
4. Ling, M., T., S., "On The Optimization of the Stiffness of Externally Pressurized Bearings" Journal of Basic Engineering, Page 119-122 Transactions of The ASME (1962)
5. Bassani, R., Piccigallo, B., "The Dynamic Performance of the Self Regulated Hydrostatic Opposed Pad Bearing", Accademia Navale 21 Italy
6. Malanoski, S., B., Loeb, A., M., "The Effect of the Method of Compensation on Hydrostatic Bearing Stiffness", Journal of Basic Engineering, Page 179-187, Transactions of The ASME (1961)
7. Kunkel, H., Hallstedt, G., Köktürk, U., "Hidrostatik Yataklar", Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 18, Sayı 209, Sayfa 220-225 (1974)
8. Lin, J., R., "Static and Dynamic Characteristics of externally Pressurized Circular Step Thrust Bearings Lubricated with Couple Stress Fluids", Dep. of Mec. Engineering, Nanya Collage, P.O., Box 267, Taiwan (1999)
9. Canbulut, F., Sinanoğlu, C., Yıldırım, Ş., "Analysis of Effects of Sizes of Orifice and Pockets on the Rigidity of Hydrostatic Bearing Using Network Predictor System", KSME International Journal, Vol. 18, No. 3, P. 432-442 (2004)
10. Sharma, S., C., Jain, S., C., Bharuka, D., K., "Influence of Recess Shape on the Performance of a Capillary Compensated Circular Thrust Pad Hydrostatic Bearing", Tribology International 35, p. 347-356 Indian Ins. of Techn. Roorke (2002)
11. Koç, E., "An Experimental Investigation into the Performance of offset Loaded Hydrostatic Slipper in Axial Piston Pumps the effect of Over. Ratio, Journal of Engineering, P. 333-352, (1989)

12. Raimondi, A., A., Boynd, J., “An Analysis of Orifice and Capillary Compansated Hydrostatic Journal Bearings” Lubrication Engineering Vol. 13, No. 1, (1957)
13. Manring, N., D., Johnson, R., E., Cherukuri, H., P., “The Impact of Linear Deformations on Stationary Hydrostatic Thrust Bearings”, ASME J. Tribol. 115, p. 686-691 (2002)
14. Elwell, R., C., Sternlicht, B., “Theoretical and Experimental Analysis of Hydrostatic Thrust Bearings”, Trans. ASME, Series D., Journal of Basic Engineering, Vol. 82, p. 505, (1960)
15. Solmaz, E., Babalık, F.,C., Öztürk, F., “Multicriteria Optimization Approach for Hydrostatic Bearing Design” Journal of Engineering Tribology, 217(j3) Page 235-241 (2003)
16. Hamrock, B. “Fundamentals of Fluid Film Lubrication”, McGraw-Hill Book, Newyork (1994)
17. Malanoski, S., B., Loeb, A.,M., “The effect of the Method of Compensation on Hydrostatic Bearing Stiffness”, ASME, 60, Lub-12 (1960)
18. Akkurt, M., “Makine Elemanları”, Birsen Yayınevi, Cilt No:1, İstanbul Sayfa 263-334 (1990)
19. Arora J. S., “Introduction To Optimum Design”, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, United States of America, P. 78-183 (1989)
20. Stolarski T. A., “Tribology in Machine Design”, Butterworth-Heinemann, (1990)
21. Sherbiny, M., E., Salem, F., Hefnawy, N., E., “Optimum Design of Hydrostatic Journal Bearings”, (2003)
22. Koç, E., Ünver, E., “Dairesel Ceppli Dirençsiz Hidrostatik Yatakların Tasarım İlkeleri ve Performans Araştırması”, Doğa T. Müh. ve Çevre Dergisi, Sayfa 101-113 (1991)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERTÜRK, Fidan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 04.05.1985 Ankara
Telefon : 0 (312) 378 89 95
Cep tel : 0 505 390 79 41
e-mail : fidanerturk@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Mühendisliği Bölümü	2007
Lise	Çağrıbey Anadolu Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2010	Özel sektör	Tasarım Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Bir Binanın Isıtma Sisteminin Bilgisayar Destekli Tasarımı, 2007