

Hidrodinamik Kaymalı Yataklara ait Tasarım Parametrelerinin Yatak
Performansına Etkilerinin Araştırılması

Merve Sayar

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık 2022

Research of the Effects of Design Parameters of Hydrodynamic Journal Bearing on
Bearing Performance

Merve Sayar

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Mechanical Engineering

December 2022

Hidrodinamik Kaymalı Yataklara ait Tasarım Parametrelerinin Yatak
Performansına Etkilerinin Araştırılması

Merve Sayar

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim Öğretim Yönetmeliği Uyarınca
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji-Termodinamik Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Doç. Dr. M. Ertunç TAT

Aralık 2022

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Mustafa Ertunç TAT danışmanlığında hazırlamış olduğum “Hidrodinamik Kaymalı Yataklara ait Tasarım Parametrelerinin Yatak Performansına Etkilerinin Araştırılması” başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 22/12/2022.

MERVE SAYAR

ÖZET

Dönen makine parçalarının hareket etmesini ve pozisyonunu korumasını sağlayan ve geniş bir kullanım alanına sahip olan muylu yataklar, mil üzerindeki radyal ve eksenel yüklere karşı dayanıklıdır. Endüstride sıklıkla kullanılan kaymalı yatak tiplerinden biri de yüke radyal doğrultuda karşı koyan hidrodinamik radyal yataklardır.

Bu çalışmada, Ansys Fluent programı kullanılarak hidrodinamik radyal kaymalı yatakların yağlama analizleri yapılmıştır. Çalışmanın öncelikli amacı, yatak ile mil arasında oluşan yağ filminin yatağın iç yüzeyinde oluşturduğu basınç gradyanlarını belirlemek ve bu basıncın çubuk veya yatağın yüzey dokusuna göre nasıl değiştiğini incelemektir.

Bu çalışma sonucunda, yüzey deseninin oluşturduğu yağ hacminin artmasıyla muylu yatağına etki eden basınç azalmaktadır. Şaftın hızı 1000 RPM ve 5000 RPM'den yükseldikçe maksimum basınç artar ve viskozite azaldıkça basınç düşer. Ek olarak, standart dokusuz muylulu yatak-şaft tasarımı için, yağlayıcıların yük taşıma kapasitesi, artan hız ve yağ viskozitesi ile artar.

Anahtar Kelimeler: Hidrodinamik Kaymalı Yatak, Ansys, Doku Tasarımı, Yağ Basınç Dağılımı

SUMMARY

Journal bearings, which enable rotating machine parts to move and maintain their positions and have a wide range of uses, resist radial and axial loads on the shaft. One of the plain bearing types frequently used in industry is hydrodynamic radial bearings, which oppose the load in the radial direction.

In this study, lubrication analyses of hydrodynamic radial journal bearings were performed using Ansys Fluent program. The study's primary purpose is to determine the pressure gradients created by the oil film formed between the bearing and the shaft on the inner surface of the bearing and to examine how this pressure changes according to the surface texture of the rod or bearing.

As a result of this study, the pressure acting on the journal bearing decreases with the increase in the oil volume formed by the surface pattern. The maximum pressure increases as the speed of the shaft increase from 1000 RPM and 5000 RPM, and the pressure decreases with a decrease in viscosity. In addition, for the standard no-texture journal bearing-shaft design, the load-carrying capacity of the lubricants o increases with increasing speed and oil viscosity.

Keywords: Hydrodynamic Journal Bearing, ANSYS, Pattern Design, Oil Pressure Distribution

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. KAYMALI YATAKLAR.....	4
3. YAĞLAYICILAR.....	7
4. MATEMATİKSEL MODEL	9
5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	11
6. MATERYAL VE YÖNTEM	16
6.1. Mesh Bağımsızlaştırma	16
6.2. Tasarım Geometrilerinin Oluşturulması.....	18
6.3. Fluent Basınç Dağılım Analizi	19
6.4. Modelin Doğrulanması.....	21
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	22
7.1. Standart SAE-30, SAE-40, ve SAE-50 Yağlarla Yapılan Analizler	22
7.2. Yeni Kullanılmamış ve Yeni kullanılmış SAE-40 yağları ile yapılan analizler.....	37
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	44

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Yatak sarması sonucu hasar almış yağ pompası ekipmanları.....	1
1.2. Kaymalı yataklarda arıza sınıflandırması.....	2
2.1. Stribeck Eğrisi.....	5
2.2. Yağ filmi oluşumunda muylunun konumu.....	6
3.1. Viskozite Sınıflandırma Sistemleri.....	7
4.1. Hidrodinamik kaymalı yatakta oluşan yağ filmi.....	9
4.2. Sommerfeld sayısına karşı sürtünme değişkeninin katsayısı değişimi.....	10
4.3. Sommerfeld sayısına karşı film kalınlığı değişkeninin değişimi.....	10
6.1 Sonlu Elemanlar modeli elemanları.....	16
6.2.(a) Tetrahedron element (b) Quadratic element (c) Triangle Element.....	17
6.3. Değişen mesh boyutlarında maksimum yağ film basıncının değişimi.....	17
6.4. Yağlayıcı kanal ölçüleri.....	18
6.5. Akışkan analizinde kullanılan sınır koşul bölgeleri.....	19
7.1. SAE-30 yağı için hız ve basınç değişim grafiği.....	29
7.2. SAE-40 yağı için hız ve basınç değişim grafiği.....	29
7.3. SAE-50 yağı için hız ve basınç değişim grafiği.....	29
7.4. Yapılan tasarımlarda hız ve yağlayıcı değişimine göre yük taşıma kapasitesi değişimi.....	31
7.5. Düz, 0,1 mm kanallı ve 0,05 mm kanallı yataklarda en yüksek basınç değerlerinin karşılaştırılması.....	36
7.6. Düz, 0,1 mm kesit ve 0,05 mm kesit kanallı yataklarda yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması.....	36
7.7. (0,05x0,05); (0,1x0,1); (0,2x0,2) 100 saat kullanılmış ve düz yatakta temiz yağlayıcı analizlerinin karşılaştırılması.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Yağlayıcı Özellikleri.....	8
6.1. Tasarımda kullanılan yatak parametreleri.....	18
6.2. Analizde kullanılan yağlayıcı özellikleri.....	19
6.3. Analizin yapılış Adımları.....	20
6.4. Makale ve doğrulama çalışması basınç karşılaştırılması.....	21
7.1. Standart yağlar için farklı devirlerde düz desensiz standart yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	23
7.2. (0,2x0,2) mm kesitinde 5 sıra kanal desene sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	24
7.3. (0,2x0,2) mm kesitinde 10 sıra kanal desene sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	25
7.4. (0,2x0,2) mm kesitinde 15 sıra kanal desene sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	26
7.5. (0,2x0,2) mm kesitinde 20 sıra kanal desene sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	27
7.6. Standart yağlar için farklı devirlerde yük taşıma kapasiteleri ($Pa\ m^2$).....	30
7.7. (0,2x0,3) mm kesitinde 20 sıra kanal desenine sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	32
7.8. (0,3x0,2) mm kesitinde 20 sıra kanal desenine sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	32
7.9. (0,3x0,2) mm ve (0,2x0,3) mm 20 sıra yatak tasarımı için 1500-3000-4500 rpm hızlarda SAE 30-40-50 için yük taşıma kapasiteleri.....	33
7.10. (0,1x0,1) mm kesitinde 20 sıra kanal desenine sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	35
7.11. (0,05x0,05) mm kesitinde 20 sıra kanal desenine sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	35
7.12. (0,05x0,05) ve (0,1x0,1) mm 20 sıra yatak tasarımı için 1500-3000-4500 rpm hızlarda SAE 40 için yük taşıma kapasiteleri.....	36

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

Çizelge

Sayfa

7.13. SAE-40 için temiz yağlayıcı (0 saat kullanım) ve kirli yağlayıcı (100 saat kullanım) özellikleri.....	37
7.14. Düz yatak tasarımında SAE-40 yeni kullanılmamış ve kullanılmış yağlar için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	38
7.15. (0,2x0,2) mm kesitli 20 sıra desenli yatak tasarımında SAE-40 kullanılmamış ve kullanılmış yağlar için yağ basınç dağılımları (P) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	39
7.16. (0,1x0,1) mm kesitli 20 sıra desenli yatak tasarımında SAE-40 kullanılmamış ve kullanılmış yağlar için yağ basınç dağılımları (P) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	40
7.17. (0,05x0,05) mm kesitli 20 sıra desenli yatak tasarımında SAE-40 kullanılmamış ve kullanılmış yağlar için yağ basınç dağılımları (P) ve kayma gerilmeleri (N/m^2).....	41
7.18. 1500-3000-4500 rpm hızlarda SAE-40 temiz ve kullanılmış yağlayıcılar için yük taşıma kapasiteleri.....	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

c	Radyal boşluk
°C	Celsius
D	Çap
e	Eksantriklik
f	Sürtünme Katsayısı
F	Kuvvet
h ₀	Minimum yağ filmi kalınlığı
kPa	Kilopaskal
L	Yatak uzunluğu
mm	Milimetre
mm ³	Milimetreküp
N	Newton
P	Basınç
R	Yarıçap
S	Sommerfeld Sayısı
w	Açısal Hız

Kisaltmalar

Açıklama

ANSYS	Swanson Analysis Systems
API	American Petroleum Institute
FSI	Fluid Structure Interaction
KG	Kayma Gerilmesi
P	Basınç
RPM	Revolution per minute
SAE	Society of Automobile Engineers
vb	Ve benzeri
vd	Ve diğerleri
YTK	Yük Taşıma Kapasitesi

1. GİRİŞ VE AMAÇ

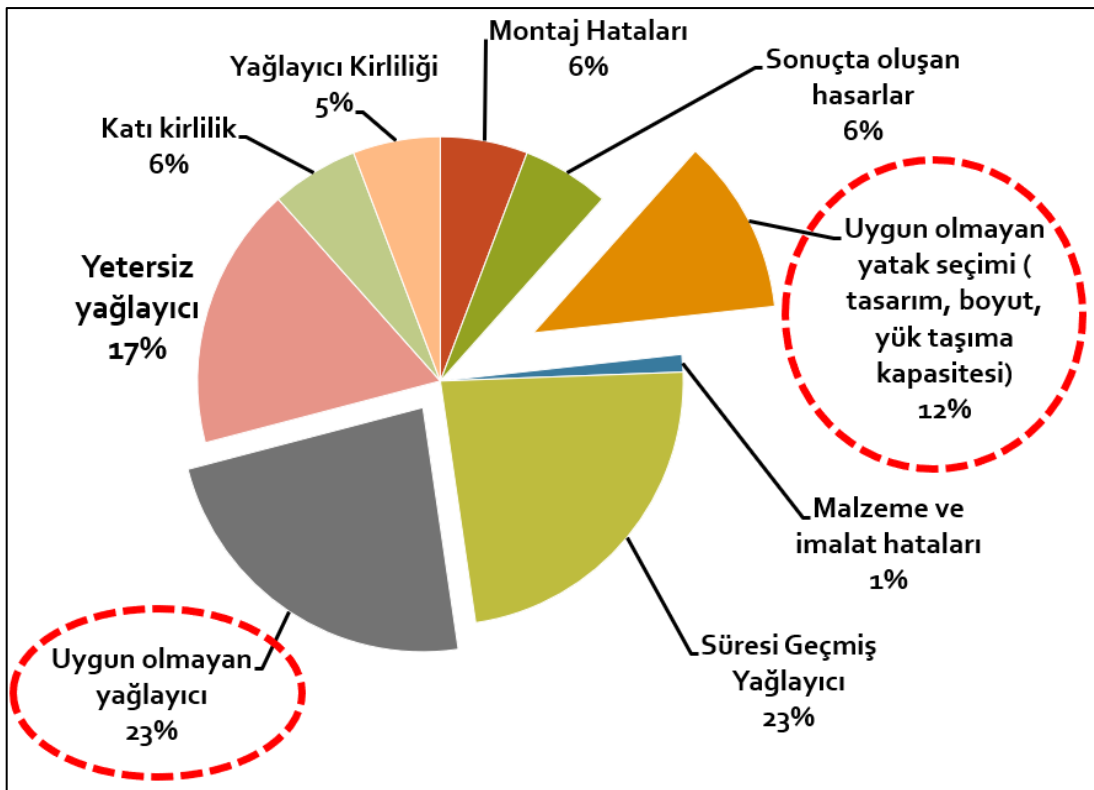
Hidrodinamik kaymalı yataklar, özellikle basit olmaları ve büyük hız ve yüklerde çalışabilmeleri nedeniyle araç motorları, türbinler, jeneratörler ve pompalar gibi her türlü motor ve makine elemanında yük destekleme ve yük taşıma ana elemanı olarak kullanılmaktadırlar. Bu yatakların yağlanması, makine sisteminin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Mil hareketi ile yağlamayı sağlayarak yatak ve mil arasındaki metal-metal sürtünmeleri önleyen hidrodinamik kaymalı yataklarda oluşabilecek küçük bir hata veya hasar yatağın işlevini yerine getirememesi, çalışma sırasında aşınma mekanizması oluşması ve ısının makine elemanından uzaklaştırılamaması gibi durumlara neden olabilmektedir. Kaymalı yatakların şartlarının optimize edilerek en uygun tasarımda çalışılmasını sağlamak, sistemin performans ve verimliliğini artıracak, aşınma ile oluşacak tanımsız arıza oluşumunu önleyecek ve gerek can gerek mal ve zaman kaybını en aza indirecektir. Şekil 1.1'de yataklarda oluşan hasar sonucu demontajı yapılmış bir yağ pompası görülmektedir.



Şekil 1.1. Yatak sarması sonucu hasar almış yağ pompası ekipmanları (Sayar, 2017)

Resimlerden de görüldüğü üzere yağlayıcıda kirlilik ve yatak-mil yüzeyindeki aşınma mekanizması sonucu mil yatağa sarmış, pompa ve dolayısıyla motor çalışmasının arızalanmasına neden olmuştur.

Şekil 1.2’de hidrodinamik kaymalı yataklarda görülen arıza nedenleri ve yaklaşık yüzdeleri yer almaktadır. Çizelge incelendiğinde en fazla hasar sırasıyla uygun olmayan yağlayıcı (%23), süresi geçmiş yağlayıcı (%23), yetersiz yağlayıcı (%17) ve uygun olmayan yatak seçimi (%12) nedeniyle olmaktadır. Buradan da görüldüğü üzere yataklardaki hasar, yağlayıcı kaynaklı olmakla beraber bunu yatak seçimi takip etmektedir.



Şekil 1.2. Kaymalı yataklarda arıza sınıflandırması

Çalışmanın yapılmasındaki temel amaç, yatak ve mil arasında oluşan yağ filminin yatak iç yüzeyinde oluşturduğu basıncın tespit edilmesi ve kayma gerilmesi ve yük taşıma kapasitesinin yağlayıcı doku profili ile oluşan yağ basıncına göre nasıl değişim gösterdiğinin incelenmesidir.

Bu çalışmada, hidrodinamik radyal hidrodinamik kaymalı yatakların Ansys Fluent programı kullanılarak yağlayıcı analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında SAE-30, SAE-40 ve SAE-50 olmak üzere 3 farklı yağlayıcı ve 1500-3000-4500 RPM aralığında hızlar ile yatak uzunluğu/çap oranı 1 olan yataklarda yağ basınç analizleri yapılmıştır. Analizler sırasında aynı boyuttaki yataklara farklı kanallar verilerek hız ve yağlayıcı girdileri ile analizler tamamlanmıştır.

Bu çalışma ile yatak hasarlarına neden olan yetersiz yağlayıcı, uygun olmayan yağlayıcı ve uygun olmayan yatak seçimi problemlerine çözüm bulunması, böylece kaymalı yataklardaki hasar nedenlerinin büyük bir bölümü için önlem alınmasını hedeflenmiştir.



2. KAYMALI YATAKLAR

Bir yatağın amacı, kuvvetleri bir parçadan diğerine aktarmak, mile gelen yükleri desteklemek ve milin, uygulanan yük yönünde hareket etmesini engelleyerek, sınırlar içinde hareket etmesini sağlamaktır. Kaymalı yataklar motor krank mili yataklamasında, teleskopların ve radyo antenlerinin hareket ettirilmesinde, buhar türbinlerinde vb. çok çeşitli kullanım alanlarına sahiptir.

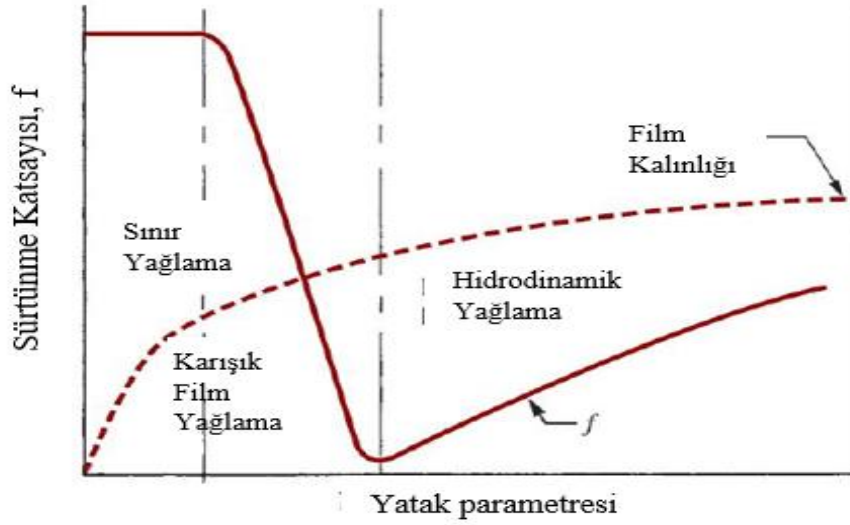
Kaymalı yataklar rulmanlara göre; daha düşük imalat maliyeti, basit tasarım, sessiz çalışma, çevre kirliliğine daha duyarlı olma, daha az yorulma hasarları ve demontajlarının kolay olması özelliklerinden dolayı daha avantajlıdır.

Yatak tasarımı yapılırken, karşımıza çok fazla tasarım parametresi çıkmaktadır. Bu parametrelerin her birini içeren tek bir tasarım yöntemi bulunmamaktadır. Tasarım yapılırken tasarımda kullanılacak olan yatak gereksinimleri (radyal kuvvetin büyüklüğü, mil hızı, yükün büyüklüğü, çalışma ortamı vb.), tasarım kriterleri (mil-yatak malzemeleri, çap-uzunluk ölçüleri, yüzey kaplaması, yağlayıcı seçimi vb.) ve analizler (yağlama türü, sürtünme katsayısı, sürtünme güç kaybı vb.) belirlenmelidir.

Kaymalı yataklar, çalışırken hiçbir pürüz temasının olmaması yani mil ve yatak yüzeylerinin temas etmemesi için ara yüzeyler birbirinden yağlayıcı ile ayrılır. Yağlamanın esas nedeni, sistemdeki sürtünme, aşınma ve ısınmanın azaltılmasıdır. Bir yatağın çalışma esnasında uygun bir yağ filmi oluşturması ve filmin korunması ile metal-metal temasları önlenerek sistemde aşınma mekanizmalarının oluşmaması beklenmektedir.

Bir yatak-mil sisteminde 3 ana yağlama sisteminden söz edilebilir. Bunlar sınır yağlama, karışık film yağlama ve tam film yağlamadır. Sınır yağlamada yağ filmi olmasına rağmen yüzeyler arası temas bulunur. Karışık yağlama sınır ve tam film yağlama arasındaki geçiş bölgesini içerir. Tam film yağlamada ise, sistem yükü destekleyen tam bir yağ filmi ile birbirinden ayrılır. Bu tür bir yağlama sistemi hidrodinamik yağlama olarak da adlandırılmaktadır.

Bir yatağın performansı sistemin yağlama türüne göre değişiklik göstermektedir. Yağlama türünün belirlenmesi yük, hız ve viskozite değerlerine bağlı olarak değişir. Bu parametrelerin ölçütü $\left(\frac{m \cdot n}{p}\right)$ formülü ile belirlenir. Yatak parametresinin sürtünme katsayısı ile kıyaslanarak yağlama türünün belirlenmesi Stribeck Eğrisi ile gösterilir. Stribeck eğrisi Şekil 2.1 ile gösterilmiştir. Bu kıyaslama ile yağlama türü sınır, karışık ya da tam film yağlama olarak belirlenir.

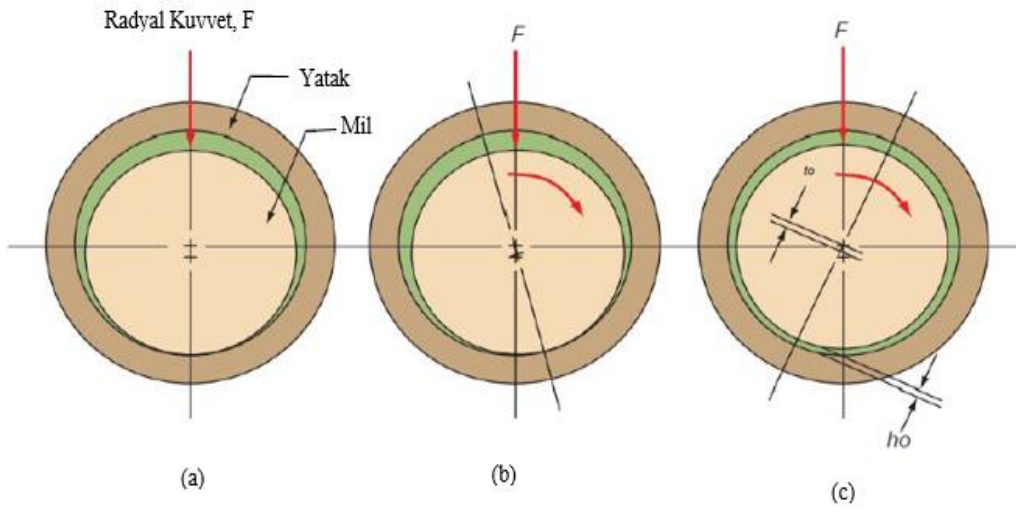


Şekil 2.1. Stribeck Eğrisi (Mott, Vavrek, & Wang, 2018)

Yatak malzemeleri bronz, babbitt, alüminyum, çelik, plastik gibi çok çeşitli malzemelerden üretilebilmektedir. Kaymalı yataklar için malzeme seçimi yapılırken mukavemet, korozyon direnci ve maliyet gibi faktörler ayrıca dikkate alınmalıdır.

Tam film yağlamalı hidrokinamik kaymalı yataklardaki yük, sürekli bir yağ filmi ile desteklenir. Yağda oluşan basınç ile yatağa gelen yük taşınabilmektedir. Mil dönüşü başladığında yatağa gelen radyal yük, mili yük yönünde merkezden uzak bölgeye harekete zorlayarak tüm boşluğu kaplar. Başlangıçta yavaş dönme hızlarında mil ile yatak arasındaki sürtünme, milin yatak duvarını tırmanmasına neden olur ve yağda oluşan kayma gerilmeleri nedeniyle hareket eden mil, yağı temas bölgesinin üzerindeki yakınsak alana çeker. Ortaya çıkan yağ basıncı ile mil yataktan kaldırılır. Bu durumun oluşmasıyla sürtünme kuvvetleri azalır ve mil sonunda kararlı duruma geçer. Şekil 2.2.'de bu durumun oluşum mekanizması

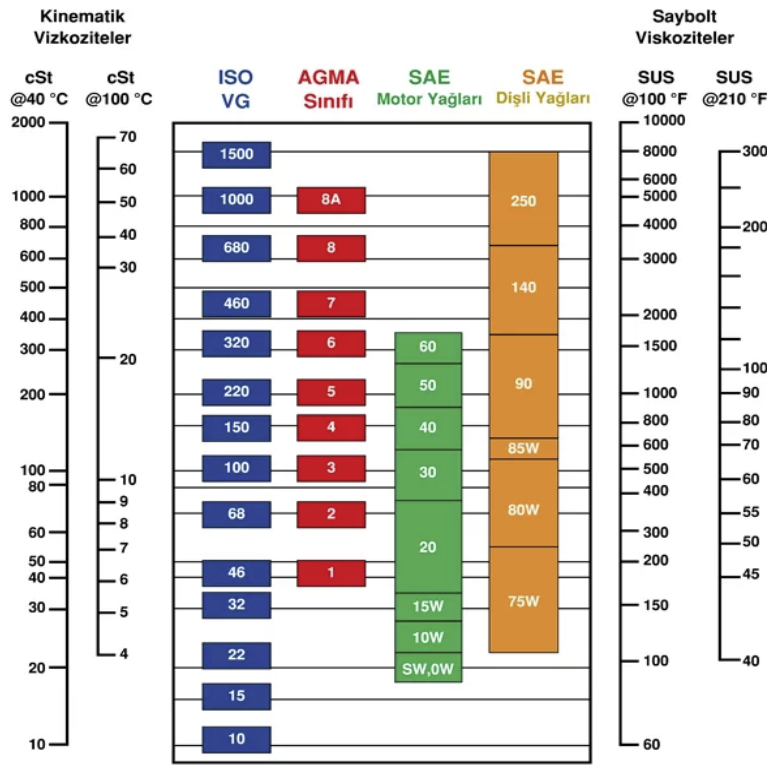
gösterilmiştir (Collins, Busby, & Staab, 2003); (Mott, Vavrek, & Wang, 2018); (Yazıcıoğlu & Yazıcıoğlu, 2020).



Şekil 2.2. Yağ filmi oluşumunda muylunun konumu (Mott, Vavrek, & Wang, 2018)

3. YAĞLAYICILAR

Yağlayıcılar, ham petrolün bulunmasıyla 1800'lü yıllara kadar kullanılmış, ham petrolün işlenmesi ve gelişen teknolojiyle birlikte sanayinin ihtiyaçlarına yönelik kaliteli yağ eldesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. 1993 yılına gelindiğinde geliştirilen rafinasyon yöntemleri, yağlayıcılara katkı maddesi eklenmesi gibi gelişmelerle birlikte yüksek saflık, yüksek viskozite, düşük uçuculuk, uzun süre dayanıklılık özelliklerini hedefleyen yağların eldesi üzerine çalışmalar ile geliştirilen yağlayıcılarla API yağ sınıflandırması güncellenmiştir. Şekil 3.1'de birbirine karşılık gelen yağlayıcıların standartlara göre sınıflandırması yer almaktadır. (Beşergil, Erişim Tarihi: 10.12.2022)



Şekil 3.1. Viskozite Sınıflandırma Sistemleri

Yağların sınıflandırmasında temel olarak SAE ve API sınıfı esas alınmaktadır. SAE sınıfı yağların viskozite ölçümlerine dayanmaktadır ve tek dereceli ve çok dereceli olarak ayrılmaktadır. Tek dereceli olanlar SAE 30, SAE 60 gibi sınıflandırılırken çok dereceli (multigrade) olanlar SAE5W-10 gibi sınıflandırılmaktadır. SAE derecesinin küçülmesi veya

büyümesi farklı sıcaklıklarda ve yüklerdeki etkin performansını tanımlamaktadır. (Beşergil, Erişim Tarihi: 10.12.2022)

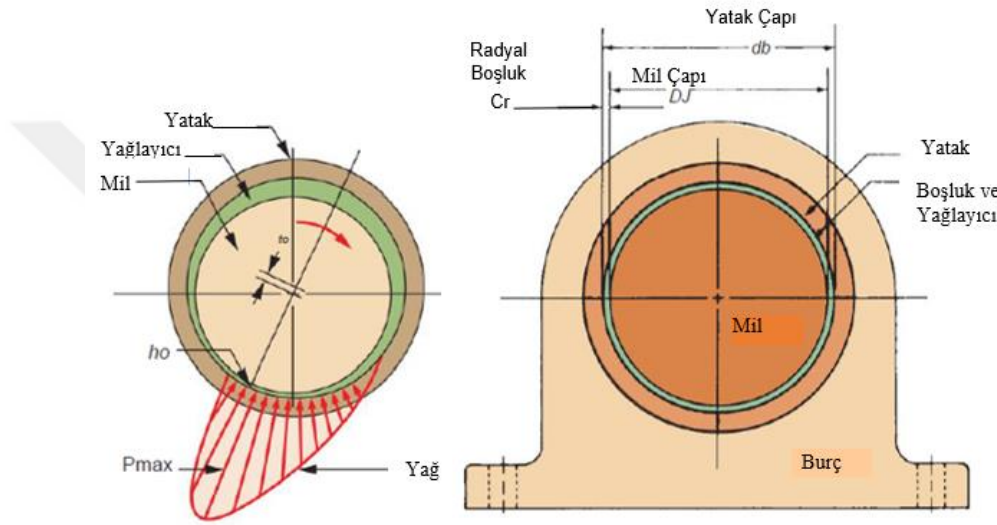
Çizelge 3.1’de yer alan SAE yağlarının viskozite ve yoğunluk değerleri baz alınarak bu çalışmadaki analizler yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Yağlayıcı Özellikleri

	Viskozite		Yoğunluk
	Centistokes		g/cc
	40° C	100° C	40° C
ISO (SAE)			
32 (10W)	32.0	5.36	0.857
46 (20)	46.0	6.76	0.861
68 (20W)	68.0	8.73	0.865
100 (30)	100.0	11.4	0.869
150 (40)	150.0	15.0	0.872
220 (50)	220.0	19.4	0.875

4. MATEMATİKSEL MODEL

Yatak-mil sistemi kararlı duruma geçtiğinde oluşan hidrodinamik yağlamada, mil ile yatak merkezleri arasında eksantriklik (e), mil ve yatağın birbirine en yakın konumunda minimum yağ filmi kalınlığı (h_0) oluşur. Tipik bir hidrodinamik kaymalı yatak sisteminin gösterimi Şekil 4.1’de yer almaktadır.



Şekil 4.1. Hidrodinamik kaymalı yatakta oluşan yağ filmi

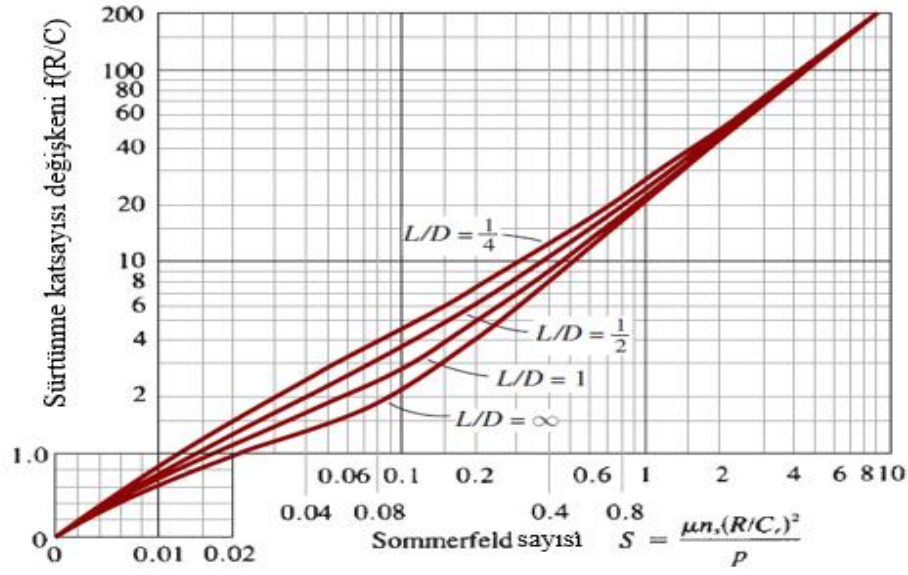
Yatak tasarımında hesaplamaların yapılabilmesi için sırasıyla şu adımlar izlenmelidir:

$$\text{Yatağa gelen basınç: } P = \frac{F}{D \cdot L} \quad (4.1)$$

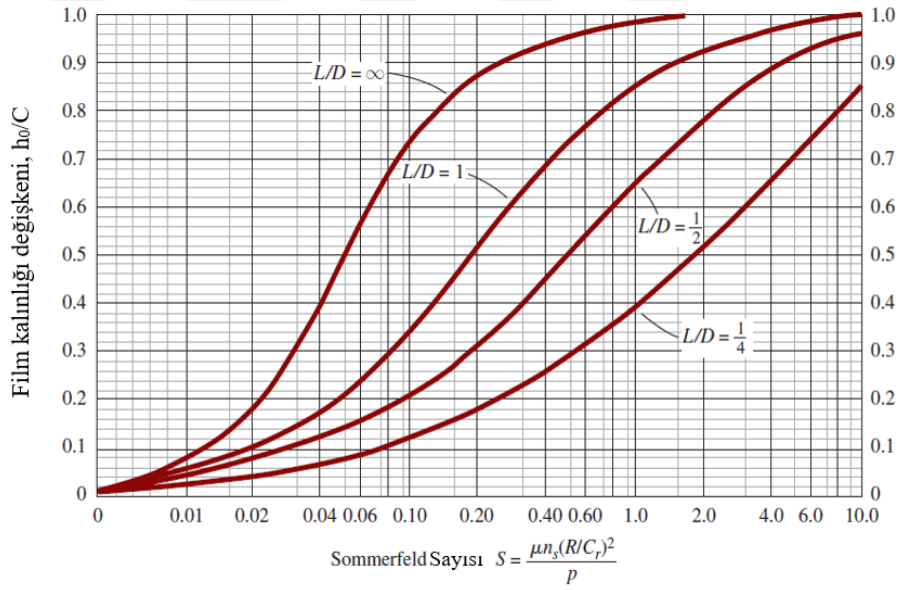
$$\text{Radyal boşluk: } c = \frac{D_{yatak} - D_{mil}}{2} \quad (4.2)$$

$$\text{Sommerfeld sayısı: } S = \left(\frac{R}{c}\right)^2 * \frac{\mu * w}{P} \quad (4.3)$$

Burada 1,2 ve 3 numaralı formüller sonucunda elde edilen So sommerfeld sayısı ve L/D (yatak uzunluğu/çap) oranları kullanılarak sürtünme katsayısı değişkeni $\left(f * \frac{R}{c}\right)$, Şekil 4.2’den okunur. Okunan değer eşitlikte yazılarak sürtünme katsayısının sayısal değeri (f) elde edilir.



Şekil 4.2. Sommerfeld sayısına karşı sürtünme değişkeninin katsayısı değişimi



Şekil 4.3. Sommerfeld sayısına karşı film kalınlığı değişkeninin değişimi

L/D oranı ve formül (3)'e elde edilen Sommerfeld sayısı kullanılarak Şekil 4.3'ten film kalınlık değişkeni $\left(\frac{h_0}{C}\right)$ okunur. Okunan bu değer üzerinden minimum yağ filmi kalınlığı (h_0) elde edilir.

5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ulusal ve uluslararası yapılan çalışmalar incelendiğinde kaymalı yataklar hakkında yapılan çalışmaların her geçen yıl arttığı görülmektedir. Bu çalışmaları incelenme şekline göre nümerik analiz ile sayısal hesaplama, paket programlar kullanılarak yapılan analizler ve deney düzeneği ile yapılan analizler olarak sınıflandırılabilir. Kaymalı yataklar ile ilgili yapılan bu çalışmalar genel olarak yağ basınç dağılımı, sürtünme kat sayısı, mil hızı, eksantriklik oranı ve yağ viskozitesinin araştırılması üzerine yoğunlaşmıştır. Bu bölümde kaymalı yataklar ile ilgili yapılan bu çalışmalar özetlenmiştir.

Shinde vd. (2018), çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak düz desensiz mil, çap ekseninde dikdörtgen, üçgen, dairesel kesitli kaburga yüzeyli mil ve dikdörtgen, üçgen, daire kesitli oluk dokulu mil tasarımları yaparak 7 farklı tasarımda analizler gerçekleştirmişlerdir. İlk olarak, düz desensiz mil tasarımında Reynolds Denklemleri kullanılarak elde edilen analitik sonuçlar ve simülasyon ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve çalışmanın doğrulaması yapılmıştır. Analitik ve simülasyon sonuçları sommerfeld sayısı, maksimum basınç, sürtünme güç kaybı ve minimum yağ filmi kalınlıkları bakımından karşılaştırılmış ve sırasıyla 0, 2.01, 2.16, 0 yüzde hatalar elde edilmiştir. Karşılaştırma sonucu elde edilen veriler kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu için yapılan mil tasarımlarının simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda maksimum yağ basınçları hız, eksantriklik oranı, viskozite, açıklık özellikleri ile karşılaştırıldığında oluşan maksimum basınçlar sırasıyla dikdörtgen kaburga, dairesel kaburga, üçgensel kaburga, düz yüzey, üçgensel oluk, dairesel oluk, dikdörtgen oluk şeklindedir. Burada maksimum basınç dikdörtgen kaburgada oluşurken minimum basınç dikdörtgen olukta oluşmaktadır. Yine sürtünme güç kayıpları için sıralama yapıldığında aynı sonuçlar çıkmaktadır. Elde edilen sonuçlarda oluk tasarımlarının daha küçük basınçlar ve sürtünme güç kaybı oluşturmalarının nedeni minimum film kalınlığının geliştirilmiş olmasıdır.

Shinde ve Pawar (2017), Taguchi yöntemini kullanarak yüzey dokusunun optimizasyonu üzerine çalışmışlar ve kaymalı yatak performansını geliştirmek için tasarım parametrelerini belirlemeye çalışmışlardır. 90-165/175/185° aralığında yatak iç yüzeyinde çap yönünde dikdörtgen oluklar ile oluşan yatak tasarımlarında oluk genişliği, yüksekliği,

sayısı ve oluklar arası mesafeler değiştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde yük taşıma kapasitesi en fazla 90-175° aralığında oluşmuştur. Yük taşıma kapasitesini en çok etkileyen faktör ise yiv yüksekliği ve konumu olurken diğer tasarım parametreleri daha az etkilemiştir.

Rao vd (2012), boyutsuz basınç ve kayma gerilimlerini klasik Reynolds Denkleminin tek boyutlu analizinden türeterek kaymalı yatakların yük taşıma kapasitelerini ve sürtünme katsayılarını incelemiştir. Analizde kısmen dokulu yakınsak rulmanlı yatak, kısmen dokulu paralel rulmanlı yatak, kısmen dokulu yakınsak kaymalı yatak, kısmen dokulu eş merkezli kaymalı yatak için boyutsuz basınç ve kayma gerilmeleri türetilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde kısmen dokulu rulmanlı yatak ve kısmen dokulu eş merkezli kaymalı yatakta, kayma bölgesinden hemen sonra gelen dokulu bölge yük taşıma kapasitesinde artış ve sürtünme katsayısında azalma sağlamıştır.

Petterson ve Jacobson (2004) yaptıkları çalışmalarında sınır yağlamalı dokulu yüzeylerin desen, boyut ve desen yöneliminin sürtünme ve aşınma mekanizmalarını incelemiştir. Elmas benzeri karbon ile kaplı yüzeylerin elde edilmesi için fotolitograf adı verilen bir teknik kullanılmış ve 5 µm, 20 µm genişlikte ve 5 µm derinlikte; 50 µm genişlikte ve 3.5 µm derinlikte kare desen ve oluklar elde edilmiştir. Ayrıca analizde yetersiz yağ kaynağı ve fazla yağlı ortam koşulları incelenmiştir. Yetersiz sınır yağlama koşullarında analizi yapılan en küçük oluk/kare düzenindeki kayma yönüne dik oluşturulan tasarımlarda, dokusuz yüzeylere ve kayma yönünde desenli ve kaba desenli dokulara göre çok daha düşük ve kararlı sürtünme ve çok daha iyi aşınma direnci elde edilmiştir. Bu kararlılığı sağlayamayan yüzeyler temas bölgesi içinde yeterli yağlayıcı sağlayamamışlardır. Yağ beslemeli sınır yağlama koşullarında sürtünme seviyesinin dokuya karşı oldukça duyarsız olduğu görülmüştür. Bununla birlikte yüzeyde desen olmadığı düz desensiz durumda analiz sürecinde, yüzey kaplamaları aşınarak parçalanmıştır. Yatağın üst yüzeyinde sabit basınçlı yağ temini sağlayan yağ kanalının steady-state ve dinamik davranışları teorik olarak incelenmiştir.

Roy ve Laha(2009) çalışmalarında Reynolds denklemlerini sonlu farklar yöntemi ile yağlayıcının rijitliği ve sönümlenme katsayısını pertürbasyon yöntemi kullanılarak çözümünü elde etmişlerdir. Çözümlemeye sıkıştırılamaz bir akışkan için 2 boyutlu Reynolds denklemi

boyutsuz yazılarak başlanmış, bu denklem steady-state koşullarda indirgenmiş ve denklem sonlu elemanlar yöntemiyle çözülerek yağlayıcı film kalınlığı için denklem elde edilmiştir. Daha sonra yük bileşen denklemleri yazılmış, yük kapasite ve davranış açılarının denklemleri elde edilmiştir. l/d oranı 1 için basınç dağılım grafiği çizilmiştir ve basınç dağılımından akışın hacim oranı ve sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre; yağ besleme kanalının 12 derecede olduğu konumda yük kapasitesi maksimum ve daha yüksek eksantriklik oranında debi de artmakta ve daha düşük sürtünme değeri elde edilmektedir. 0'dan 85 dereceye doğru besleme konumuna hareket ettikçe, kanalın konum açısının artmasıyla akışkan hızı azalmakta ve sürtünme artmaktadır. 12 derecelik konumda rijitlik ve sönüm katsayılarında hafif değişiklikler gözlenmiş ve stabilitede iyileşme görülmüştür. Kanal açıları küçüldükçe, yüksek hızda ve daha yüksek eksantriklik oranında kullanıldığında stabilite de artmaktadır.

Hidrodinamik yağlama sistemlerinde, tam hidrodinamik yağlama bölgesindeki ana denklemler Reynolds denklemi ile tanımlanmaktadır. Tala-Ighıl vd (2007) çalışmalarında küresel, silindirik ve dikdörtgen doku yüzeyleri yatak yüzeyinde oluşturmuş, Christopherson yöntemini kullanarak sonlu farklar metodu ve Gauss-Seidal yöntemi ile yağlayıcı basınç alanını belirlemişler. Yapılan analizler oluşturulan silindirik doku yüzeylerinin uygun seçilen boyut, derinlik ve doku geometrisi ile yatağın yük taşıma kabiliyetini etkilediğini ve muylu performansını geliştirerek sistemin en önemli özelliklerini olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

Singh vd (2018) yatak yüzeyinde 360, 270, 180, 90 derece daire açılarındaki yüzey dokuları oluşturularak yapılan çalışmada yük taşıma kapasitesi ile sürtünme katsayısı hesaplanmıştır. Çalışma göstermiştir ki, yüzey dokusu yağ filmi üzerinde basınç gelişimi ve yük taşıma kapasitesinde gelişme göstermiştir. En iyi performans 360° tam daire deseninde oluşmuştur. Ayrıca, daha geniş ve derin doku oluşumu sürtünme katsayısını azaltmıştır.

Bhasker vd (2020) yüzey dokusunun etkisini araştırmak için bir test düzeneği hazırlayarak deneysel çalışmışlardır. Doku verdikleri yatak iç yüzeyinde yağ film basıncını ve sıcaklığını ölçmek için eşit aralıklarla kılavuzlar yerleştirilmiştir. Farklı hız ve dinamik yük altında yapılan deneylerde yağ basıncının ve sıcaklık dağılımının verilen yük ve hızlardan büyük ölçüde etkilendiği görülmüştür.

Yük ve hız artışı; yağ basıncı ve sıcaklığı da arttırmıştır ancak, verilen yatak iç yüzey dokusunun da yatak performansını arttırdığı görülmüştür.

Panthi (2015) yaptığı çalışmada Raimondi ve Boyd yaklaşımını kullanarak Reynolds denklem çözümlemesini yaparak kaymalı yataklara ait basınç profili ve yağ filmi kalınlığının saptanması üzerine çalışmışlardır.

Tala-Ighil vd (2011) yaptıkları çalışmada yatak yüzeyi üzerinde silindirik dokular oluşturarak bu dokuları farklı bölgelerde konumlandırmış ve sayısal olarak çözümlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar dokulama alanının uygun şekilde düzenlenmesi ile yatağın en önemli özelliklerinin geliştirilebileceğini göstermişlerdir.

Dhande ve Pande (2018) yaptıkları çalışmalarında akışkan yapı etkileşimi (FSI) analizini kullanarak kavitasyon etkisini incelemişlerdir. Çalışmada kavitasyon olan ve olmayan yataklar karşılaştırılmış, kavitasyon olan yatakta maksimum basıncın düştüğü, mil hızındaki artışla yağ buhar dağılımının artarak basıncı azalttığı görülmüştür.

Ülkemizde ise kaymalı yataklar ile ilgili yapılan çalışmalar kaymalı yatakların analitik ve deneysel araştırılması üzerine yoğunlaşmıştır.

Öncü ve Durak (2021) radyal kaymalı yataklardaki basınç dağılımının sonlu farklar yönteminin iteratif çözümünü yapmışlar ve muylu hızının değişimi ile basınç değeri, yağlayıcı film kalınlığı, sürtünme katsayısı ve yatak kapasitesini belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları literatürdeki çalışmalar ile kıyaslamış ve benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Ayrıca, yaptıkları denklem çözümlemeleri ile; mil hızı, eksantriklik ve viskozitenin artmasıyla basıncın arttığını gözlemlemişlerdir.

Güllü ve Yılmaz (2018) Sommerfeld, Yarı-Sommerfeld ve Reynolds sınır şartlarındaki kaymalı yatakları sonlu farkla yöntemi ile, Reynolds denklemi boyutsuzlaştırmış ve iteratif çözümü yapmış ve basınç dağılımları ve yük taşıma kapasitelerini elde etmişlerdir. Ayrıca çalışmada eksantriklik arttıkça maksimum basıncın ve yük taşıma kapasitelerinin arttığı gözlenmiştir.

Adatepe (2019) çalışmasında, bir motora ait biyel kolu yatağını 3 bar, 5 bar ve 7 bar yağ basıncında yatak performansının yatak özelliklerine nasıl etki ettiğini teorik olarak ve Orbit programında sonlu hacimler yöntemini kullanarak incelemiştir.

Yürüsoy vd (2000) pertürbasyon tekniğini kullanarak non-newtonyen bir akışkanın hız dağılım ve basınç dağılımını elde etmişlerdir. Bu sonuçlara göre, akışkanın non-newtonyen özelliğinin artmasıyla basıncın arttığı ve yatağın yük taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.

Baş (2022) çalışmasında aynı malzemeden farklı yüzey pürüzlülük değerleri ile üretilmiş yataklar farklı yük ve sıcaklık değerlerinde testleri gerçekleştirilerek pürüzlülüğün yatak performansına etkileri araştırılmıştır. Deney sonucunda yüzey pürüzünün artışı ile sürtünme momenti ve sürtünme katsayısının arttığı gözlenmiştir.

Artun (2020) çalışmasında radyal kısa kaymalı yataklar için Reynolds denklemlerinin analitik çözümü yapılmış ve yataktaki basınç dağılımları Matlab programı kullanılarak 3 farklı eksantriklik oranında elde edilmiştir.

Kaymalı yataklardaki sarma problemlerinin araştırılması için ağır dizel motora ait bir dişli tip yağ pompasının mil yatağının ve yağ filmi oluşumunun analizleri yapılmıştır. Araştırma sırasında fabrikada çekilmiş görüntüler bölüm 1’de verilmiştir. (Sayar, 2017)

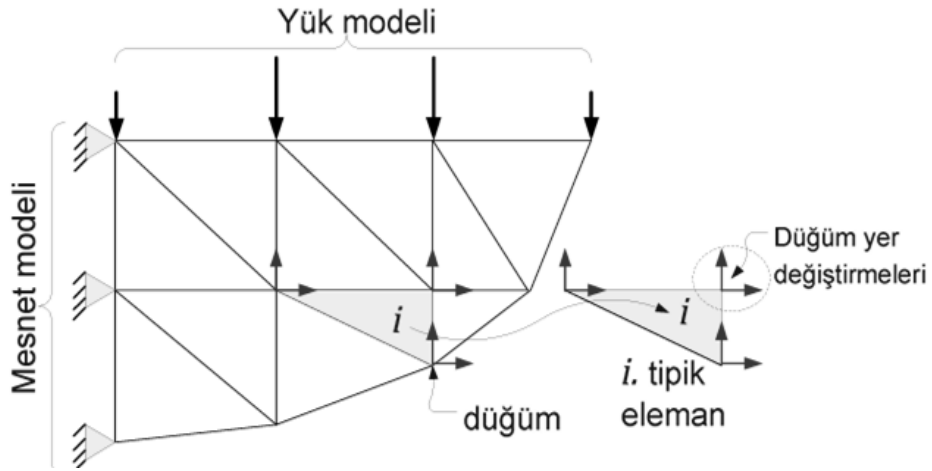
Kaymalı yataklardaki yağlayıcı performansı ve yağ basıncının mil üzerine etkilerinin araştırılması için Ansys programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş ve mil üzerindeki deformasyon bölgeleri karşılaştırılmıştır. (Sayar, 2018)

6. MATERİYAL VE YÖNTEM

6.1. Mesh Bağımsızlaştırma

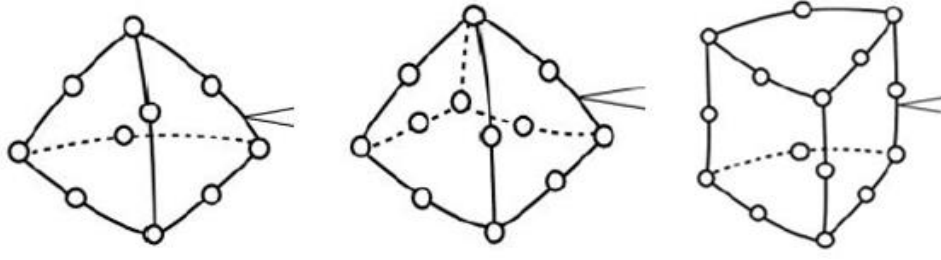
Analizlerde kullanılan ANSYS programı sonlu elemanlar yöntemini kullanarak problem çözümü yapmaktadır. Program oluşturulan geometrileri seçilen boyut ve geometride küçük parçalara ayırmakta, çözümü yapılacak parça bu elde edilen küçük parçaların birbirine bağlı elemanlarından oluşmaktadır. Bu ana parçayı küçük parçalara ayrılmasına mesh, elde edilen her birime eleman, bunların birleşim noktalarına düğüm noktası denmektedir. (Güler & Şen, 2015)

Şekil 6.1’de sonlu elemanlar yönteminin temelinde oluşturulan ağ yapısı, düğüm noktası ve eleman modeli gösterilmiştir.



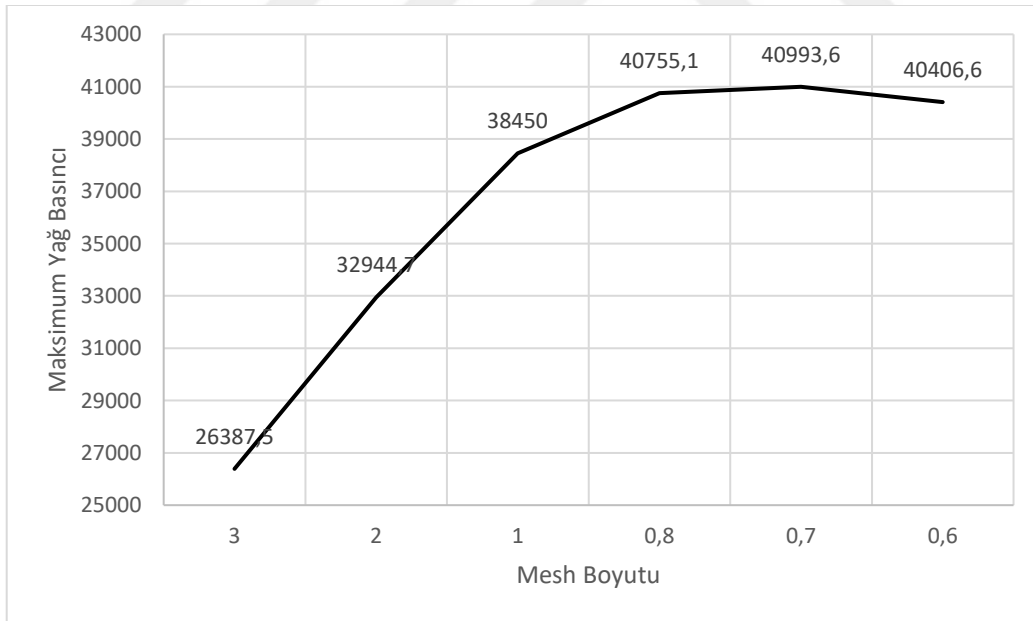
Şekil 6.1 Sonlu Elemanlar modeli elemanları (Topçu, Erişim Tarihi: 11.12.2022)

Şekil 6.2’de 3 boyutlu parçaların çözümü için sonlu elemanlar yönteminde kullanılan eleman şekilleri gösterilmiştir. Mesh oluşturulması analizin ilk ve en önemli adımlarından birisidir, eleman sayısı ve mesh kalitesi ne kadar büyükse problem çözümü de bir o kadar doğru olacaktır. (Güler & Şen, 2015)



Şekil 6.2.(a) Tetrahedron element. (b) Quadratic element. (c) Triangle Element

Analizin doğruluğunun sağlanması için ilk adım meshlerin çözümden bağımsızlaştırılmasıdır. Mesh boyutunun belirlenmesi için 3 mm'den 0.6 mm'ye kadar Ansys parametrik özelliği kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen grafik aracılığıyla mesh boyutunun hangi noktasında elde edilen basıncın mesh kalitesinden bağımsızlaştığı tespit edilmiştir. Analizlerde belirli bir mesh boyutundan sonra elde edilen basınç değerleri birbirine yaklaşmaktadır. Bu yakınsamanın başladığı nokta olan 0.8 mm mesh boyutu olarak seçilmiş ve analizlerde kullanılmıştır. Şekil 6.3'de mesh bağımsızlaştırma için oluşturulan grafik yer almaktadır.



Şekil 6.3. Değişen mesh boyutlarında maksimum yağ film basıncının değişimi

6.2. Tasarım Geometrilerinin Oluşturulması

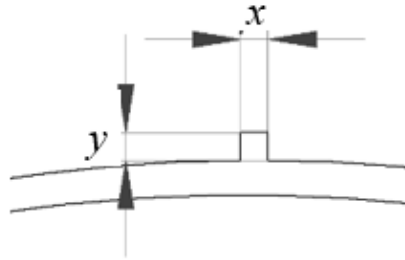
Bu çalışma kapsamında mil ile yatak arasındaki yağ basıncı için oluşturulan geometriler kullanılarak yağ basınç dağılım analizleri gerçekleştirilmiştir. Yağ film analizleri için ANSYS SpaceClaim özelliği kullanılarak, b/d oranı 1 olan tasarımlar oluşturulmuştur. Çizelge 6.1’de kullanılan ana tasarım parametreleri yer almaktadır.

Çizelge 6.1. Tasarımda kullanılan yatak parametreleri

Yatak Çapı (mm)	25
Yatak Uzunluğu (mm)	25
b/d Oranı	1
Boşluk (mm)	0,1

Bu çalışmada yatak uzunluğu boyunca kare kesit kanallar oluşturulmuş ve bu kanalların basınca olan etkileri analiz edilmiştir. Oluşturulan yeni tasarımların karşılaştırılabilmesi için desensiz düz yatak tasarımı ile analizlere başlanmıştır. Analizler için oluşturulan yatak-mil tasarımları (0,2x0,2) mm yatak boyunca, (0,2x0,2) mm 10 sıra yarım oryantasyonda, (0,2x0,3) mm yatak boyunca, (0,3x0,2) yatak boyunca geometriler oluşturulmuştur. Daha sonra kanal ölçülerinde değişiklik yapılarak 0,05 mm ve 0,1 mm ölçüsünde yataklar ile analizler tekrarlanmıştır.

Şekil 6.4’te yapılan çizimlere ait detaylar yer almaktadır. Şekil 6.3.a’da x ve y sırasıyla kanal uzunluğu ve kanal genişliği olarak verilmektedir. x ve y değerleri 0,2mm; 0,3 mm; 0,05 mm ve 0,1 mm değerlerini almaktadır.



Şekil 6.4. Yağlayıcı kanal ölçüleri

Çizimi yapılan düz ve kanallı yatak tasarımlarının 1500-3000-4500 RPM hızlarda ve SAE-30, SAE-40 ve SAE-50 yağlayıcı özelliklerinde analizleri yapılmıştır. Çizelge 3.1’de yer alan kinematik viskozite ve yoğunluk değerlerinden elde edilen 40°C’deki dinamik viskozite ve yağlayıcı yoğunluk değerleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Analizde kullanılan yağlayıcı özellikleri

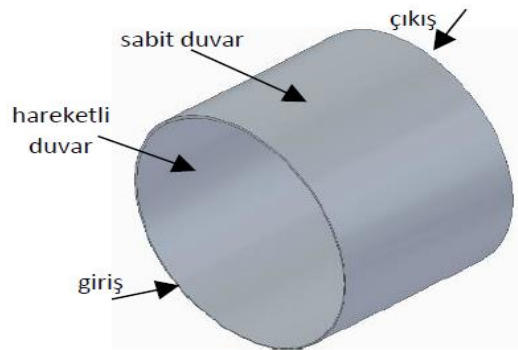
Yağlayıcı (40°C)	SAE 30	SAE 40	SAE 50
Yoğunluk (kg/m ³)	869	872	875
Özgül Isı (j/KgK)	1685	1717	1900
Isı İletkenliği (W/mK)	0,143	0,132	*interpolate
Viskozite (kg/m s)	0,0869	0,1308	0,1925

6.3. Fluent Basınç Dağılım Analizi

Hidrodinamik kaymalı yatakların çalışma prensibi Reynolds denklemlerini temel alan yağlama teorisi ile açıklanmaktadır. Reynolds denklemlerinin tam analitik çözümü olmamakla birlikte, sonlu elemanlar yöntemi gibi nümerik çözümler kullanılarak yaklaşık sonuçlar elde edilebilmektedir. (Güllü & Yılmaz, 2018)

Ansys programı sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analizi yapılacak olan parçayı küçük bölümlere ayırmakta ve analizleri gerçekleştirmektedir. Analizlerin ilk aşaması olan mesh işlemi her analiz öncesinde Bölüm 6.2 ‘de verilen yağlayıcı çizimlerine uygulanmıştır.

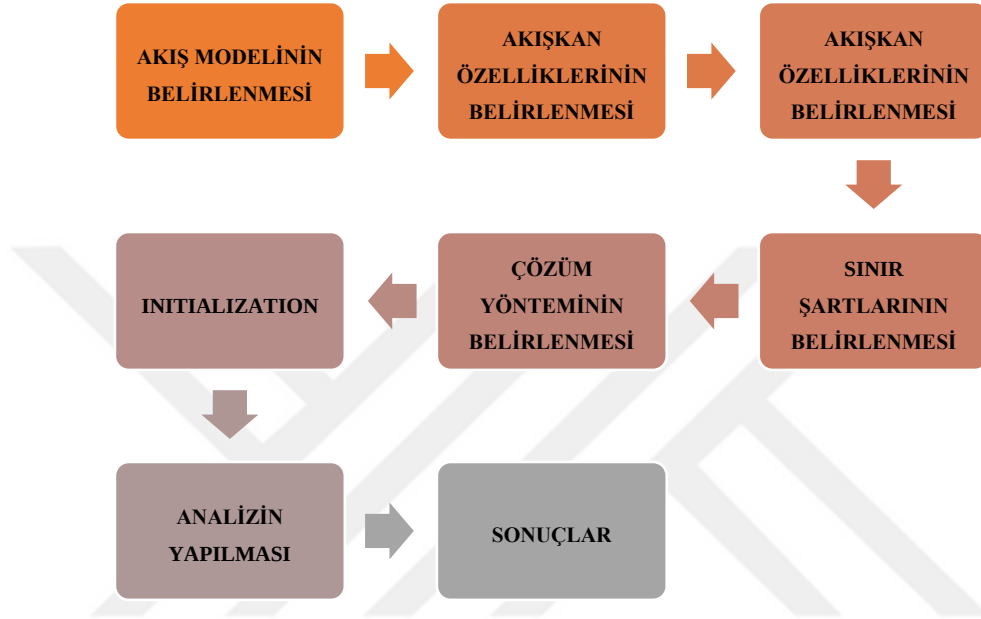
Analiz sırasında kullanılacak sınır koşulları için bölge tanımlamaları “giriş”, “çıkış”, “hareketli duvar” ve sabit duvar” olarak her analizde Şekil 6.5’te gösterildiği gibi programda tasarımlar üzerine tanımlanmıştır.



Şekil 6.5. Akışkan analizinde kullanılan sınır koşul bölgeleri

Analizde akış modeli basınç temelli steady-state ve laminar akış olarak programa tanımlanmıştır. Çizelge 6.2’de verilen yağlayıcı akışkan özellikleri programa tanımlanmıştır. Fluent akışkan analizi, Çizelge 6.3’teki adımlar sırasıyla takip edilerek gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 6.3. Analizin Yapılış Adımları



Yağlayıcı girişi programda basınç girişi (pressure inlet), çıkış alanı basınç çıkışı (pressure outlet), yağın yatak ile temas ettiği kısım sabit duvar (stationary wall) ve mil ile temas ettiği kısım ise hareketli duvar (moving wall) olarak tanımlanmıştır. Sistem sınır koşulları için tanımlanan basınç girişi ve basınç çıkışı alanlarına 0 pa gösterge basıncı verilmiştir. Mil ile temas eden yağlayıcı iç yüzeyinde tanımlanan hareketli duvara 1500, 3000, 4500 RPM dönüş hızı verilmiş ve çözümleme aşamasında 100 iterasyon tanımlanarak analizler gerçekleştirilmiştir.

SAE 50 için elektrik iletkenliği elde edilemediği için SAE-30 ve SAE-40 elektrik iletkenlik değerleri interpolasyon yapılarak elde edilen değer kullanılmıştır. Ayrıca, SAE-30 ve SAE-40 yağları için yoğunluk (kg/m^3), özgül ısı (J/kg K), elektrik iletkenlik (W/m K), viskozite (kg/m s) özelliklerinin her biri değişken alınarak analizler yapılmış ve bu özelliklerin analiz sonuçlarını nasıl etkilediği incelenmiş ve viskozite hariç diğer özelliklerin değişmesi ile yakın sonuçlar elde edildiği için interpolasyon sonucu elde edilen ısı iletkenliği değerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

6.4. Modelin Doğrulanması

Yapılan çalışmanın doğruluğunun sağlanması için Kumar ve Ganapathi'nin (2015) yaptığı çalışmada yer alan yağlayıcı analizi gerçekleştirilmiştir.

Kumar ve Ganapathi (2015) çalışmalarında, farklı b/d oranları ve farklı eksantriklik oranlarında yağlayıcı ve yatak analizleri FSI tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçları eksantriklik, stres ve deformasyon açısından karşılaştırmışlardır. b/d oranı 1 olduğu durumda eksantriklik oranının artmasıyla basınç ve stres artarken bunlara bağlı olarak yatak yüzeyindeki deformasyon da artmaktadır.

Çizelge 6.4'te makalede yaptıkları çalışmada kullanılan özellikler ve b/d oranı 1 iken elde edilen maksimum yağ basıncının değeri ve bunlarla birlikte doğrulama sonucu elde edilen analiz sonucu yer almaktadır. Referans makalede 290300 Pa basınç elde edilirken doğrulama çalışmasında 261400 Pa sonuç elde edilmiştir. Analizlerdeki bu fark, yağlayıcının özgül ısı, elektrik iletkenlik değerlerinin bilinmemesinden, mesh farklılıklarından olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 6.4. Makale ve doğrulama çalışması basınç karşılaştırılması

Analiz	B/D oranı	Eksantriklik Oranı	Yağlayıcı Viskozitesi	Yağlayıcı Yoğunluğu	Analiz Sonucu
S. C. Kumar (2015)	1	0,2	0.4986 Pa.s	860 Kg/m ³	2.903e+5
Doğrulama Çalışması	1	0,2	0.4986 Pa.s	860 Kg/m ³	2.614e+5

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular ve tartışmalar yapılan analizlere bağlı olarak iki adımda sunulacaktır. Birinci adımda SAE-30, SAE-40, ve SAE-50 standart yağları için üç farklı mil dönüş hızlarında (1500, 3000, 4500 RPM) analizler yapılmıştır. İkinci adımda ise temiz kullanılmamış SAE-40 yağına karşılık yüz saat kullanılmış SAE-40 yağı değerleri karşılaştırılmıştır. Yatak çap ve boy (b/d) oranı 1/1 olan yatak tasarımında yüzey dokusu vererek yağ filmlerine ait yağ basınç dağılımı, kayma gerilmesi ve yük taşıma kapasitesi değerleri elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Yüzey dokuları farklı tasarım parametreleri:

a) Düz yatak

b) (0,2 x 0,2) mm 5 sıra / 10 sıra / 15 sıra / 20 sıra kanallı

c) (0,2 x 0,3) mm 20 sıra kanallı

c) (0,3 x 0,2) mm 20 sıra kanallı

d) (0,1 x 0,1) mm 20 sıra kanallı

d) (0,05 x 0,05) mm 20 sıra kanallı

olarak incelenmiştir.

7.1. Standart SAE-30, SAE-40, ve SAE-50 Yağlarla Yapılan Analizler

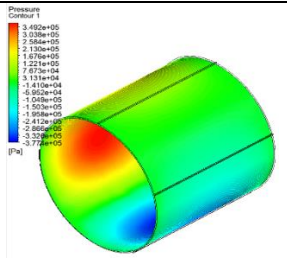
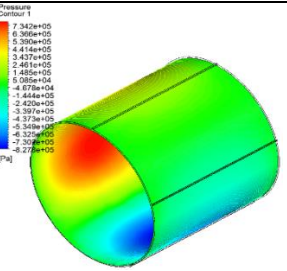
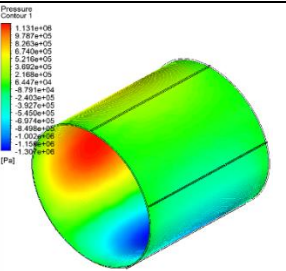
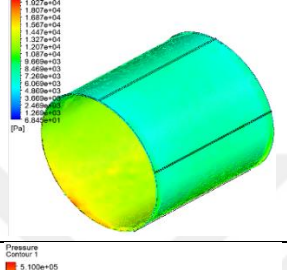
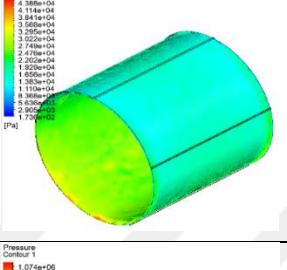
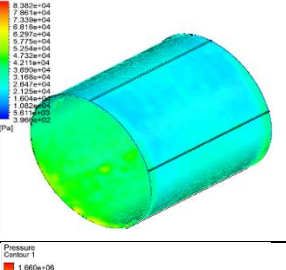
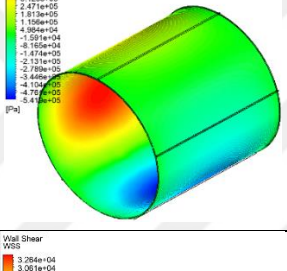
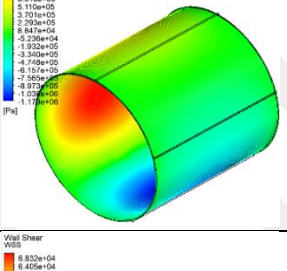
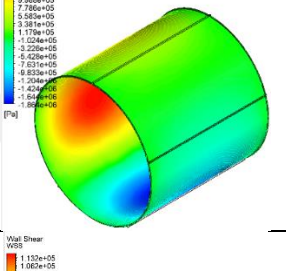
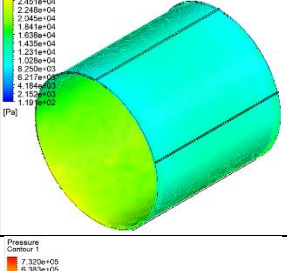
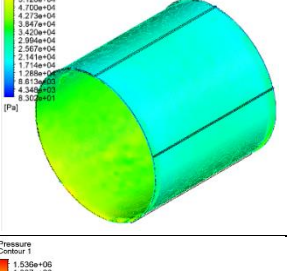
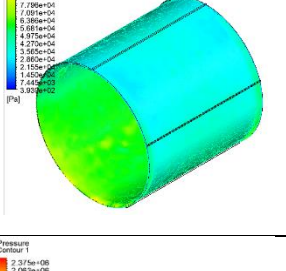
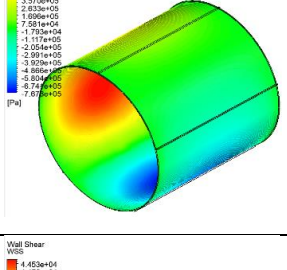
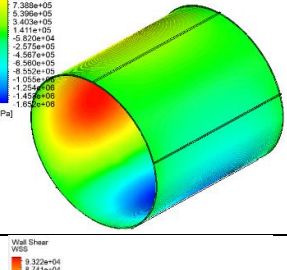
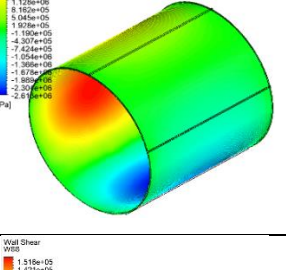
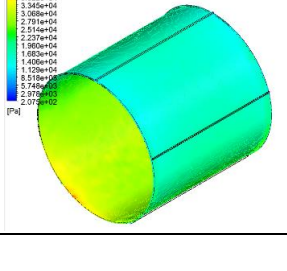
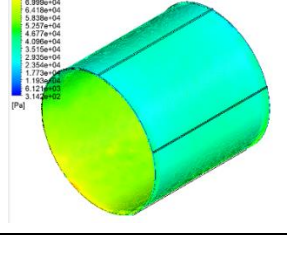
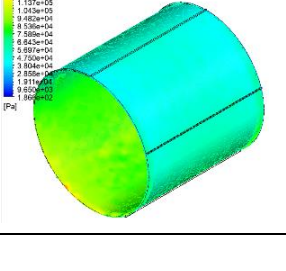
Bu bölümde Çizelge 3.1’de verilen yağlayıcı özelliklerinden (kinematik viskozite, yoğunluk) elde edilen dinamik viskozite ve yoğunluk değerleri kullanılarak standart kullanılmamış motor yağlarının fizikokimyasal karakteristikleri dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yağ filmlerine ait yağ basıncı, yük taşıma kapasitesi ve kayma gerilmesi değerleri analizler ile elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Analizler sonucunda elde edilen yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilim dağılımları (N/m²) elde edilmiş ve yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Yağ basınç dağılımları ve kayma gerilmeleri, düz desensiz standart yatak için Çizelge 7.1’de, (0,2x0,2) mm kesitinde 5 sıra desene sahip yatak için Çizelge 7.2’de, (0,2x0,2) mm kesitinde 10 sıra kanala sahip yatak için Çizelge 7.3’te, (0,2x0,2) mm kesitinde 15 sıra kanala sahip yatak için Çizelge 7.4’te ve (0,2x0,2) mm kesitinde 20 sıra kanala sahip yatak için Çizelge 7.5’te verilmiştir.

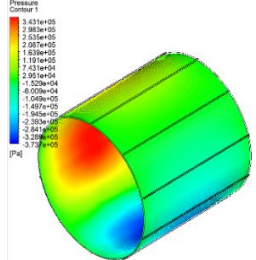
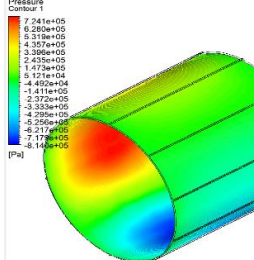
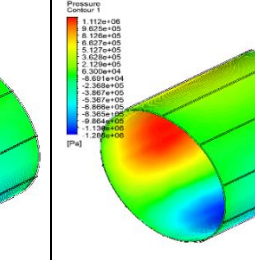
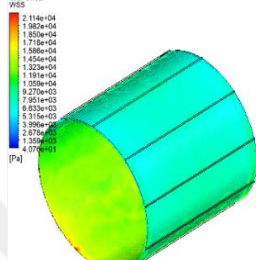
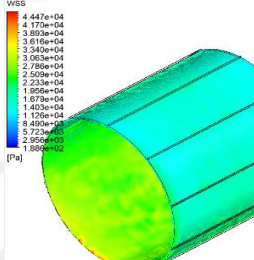
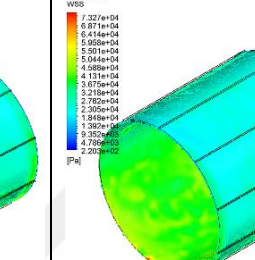
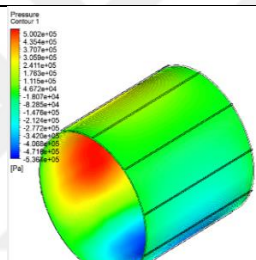
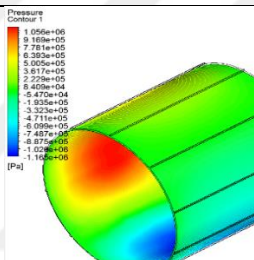
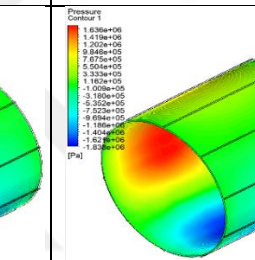
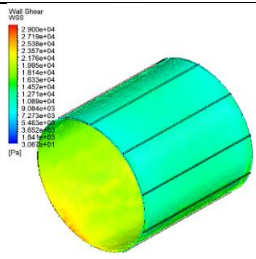
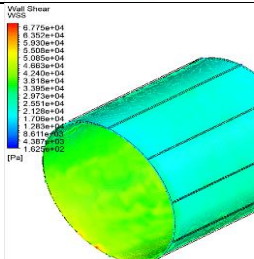
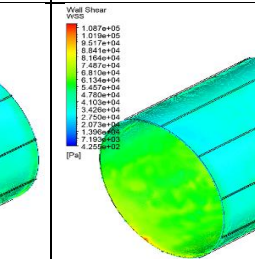
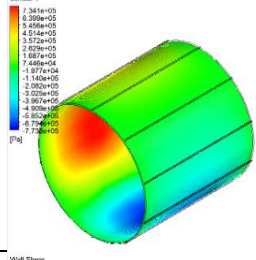
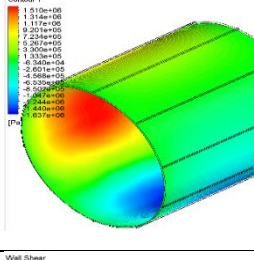
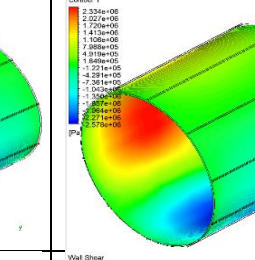
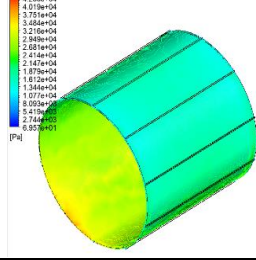
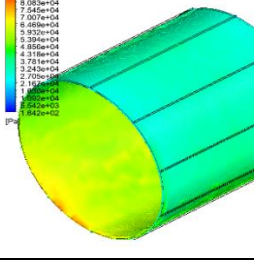
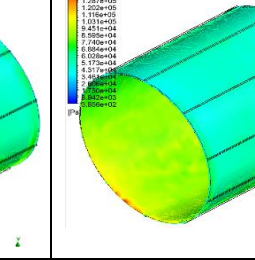
Çizelge 7.1. Standart yağlar için farklı devirlerde düz desensiz standart yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m²)

Düz		1500 RPM	3000 RPM	4500 RPM
SAE-30	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-40	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-50	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			

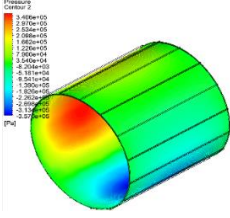
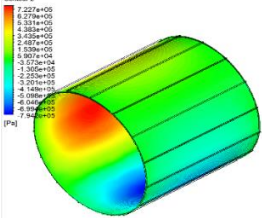
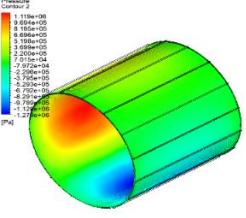
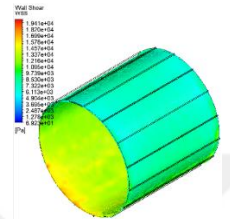
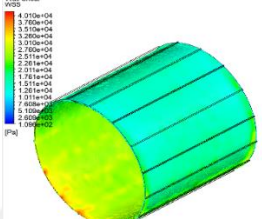
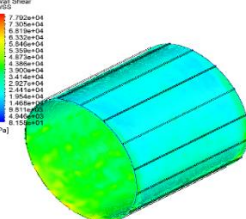
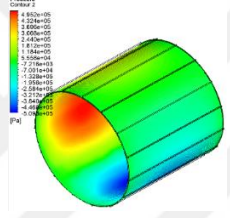
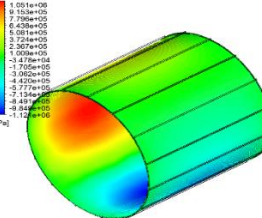
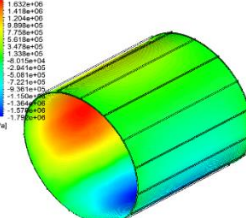
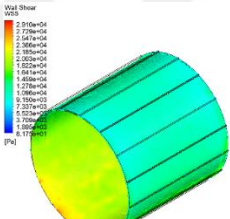
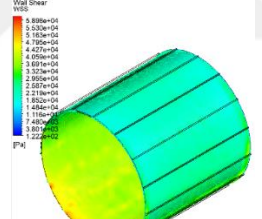
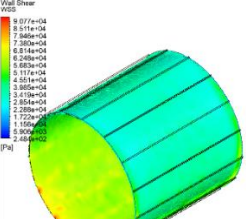
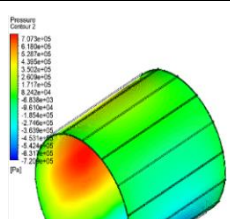
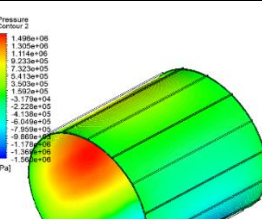
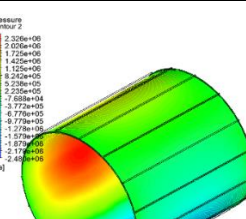
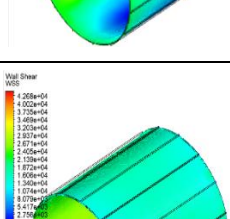
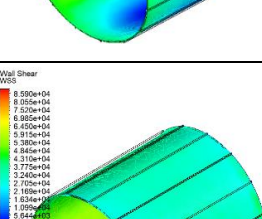
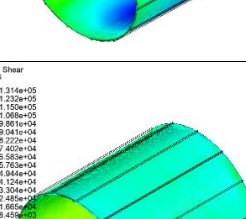
Çizelge 7.2. (0,2x0,2) mm kesitinde 5 sıra kanal desene sahip yatak tasarımında yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m²)

(0,2x0,2) 5 sıra		1500 RPM	3000 RPM	4500 RPM
SAE-30	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-40	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-50	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			

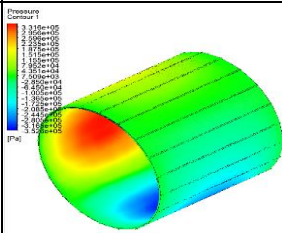
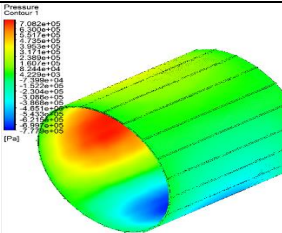
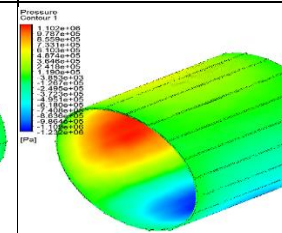
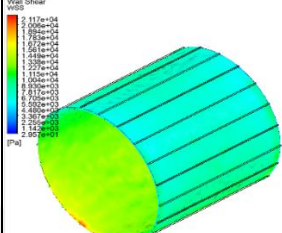
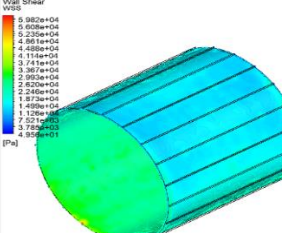
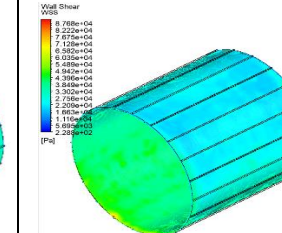
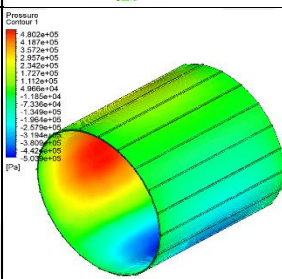
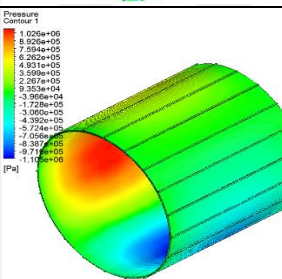
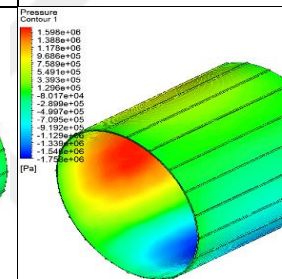
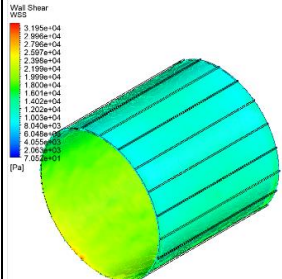
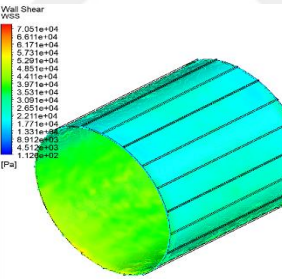
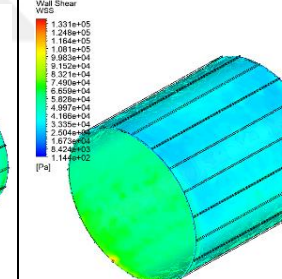
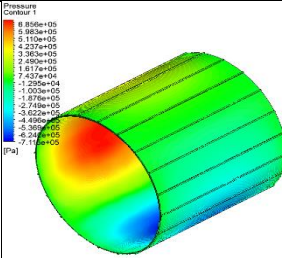
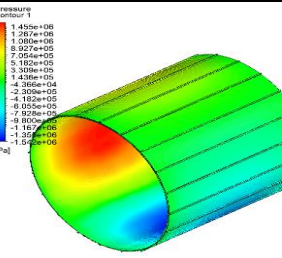
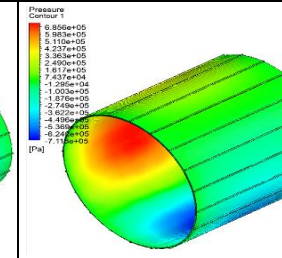
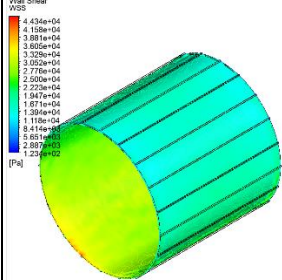
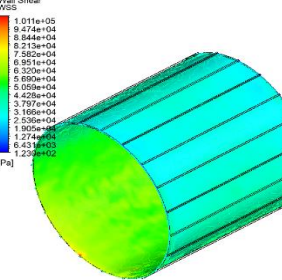
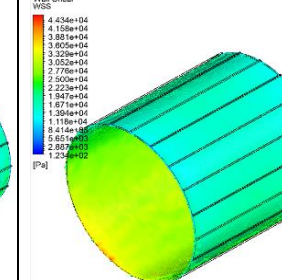
Çizelge 7.3. (0,2x0,2) mm kesitinde 10 sıra kanal desene sahip yatak tasarımında yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m²)

(0,2x0,2) 10 sıra		1500 RPM	3000 RPM	4500 RPM
SAE-30	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-40	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-50	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			

Çizelge 7.4. (0,2x0,2) mm kesitinde 15 sıra kanal desene sahip yatak tasarımında yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m²)

(0,2x0,2) 15 sıra		1500 RPM	3000 RPM	4500 RPM
SAE-30	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-40	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-50	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			

Çizelge 7.5. (0,2x0,2) mm kesitinde 20 sıra kanal desene sahip yatak tasarımında yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m²)

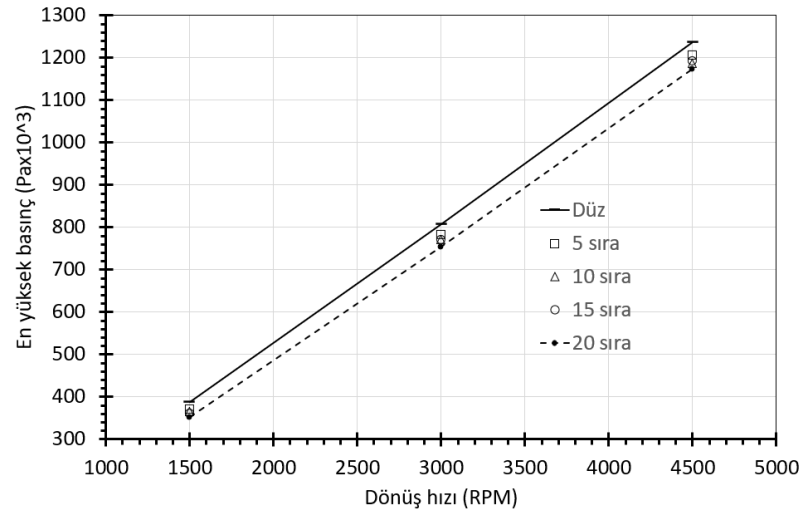
(0,2x0,2) 20 sıra		1500 RPM	3000 RPM	4500 RPM
SAE-30	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-40	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-50	Basınç Dağılımı			
	Kayma Gerilmesi			

Çizelgelerde yer alan basınç dağılım çizimlerinde kırmızı renk basıncın maksimum olduğu bölgeyi gösterirken kırmızıdan koyu maviye doğru değişen skala azalan basıncı göstermektedir. Kayma gerilmeleri çizimlerinde de aynı durum yer almaktadır. Yağ basınç dağılımları incelendiğinde maksimum yağ basıncı, minimum yağ film kalınlığı (h_0) bölgesinde oluşurken, minimum yağ basıncı minimum bölge karşı bölgesinde oluşmaktadır.

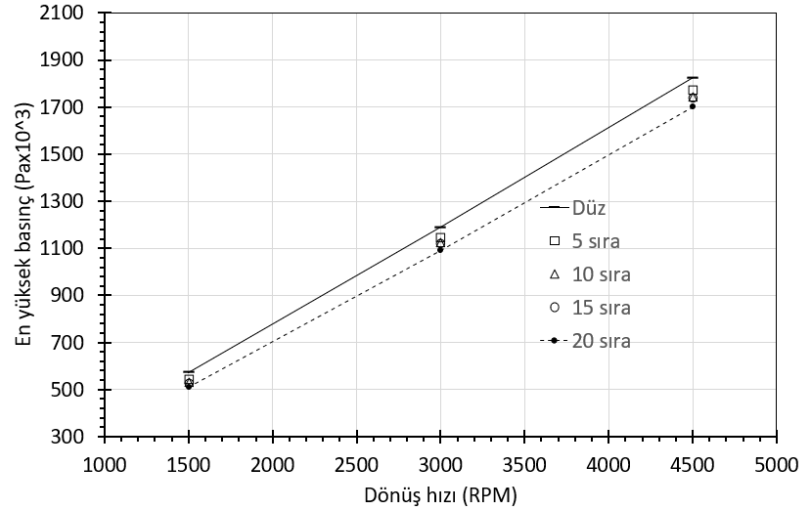
Yağ basınçları incelendiğinde düz desensiz standart yatak tasarımı SAE-30 için 1500 RPM'de 388 kPa, 3000 RPM'de 808 kPa, 4500 RPM'de 1236 kPa yağ basıncı elde edilmiştir. Devir arttıkça en yüksek basınç değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Açılmal hızın 157 rad/s'den 471 rad/s'ye üç kat yükseldiğinde en yüksek basınç değerinin de yaklaşık 3,2 kat arttığı gözlemlenmiştir. Beş sıra kanallı yatak tasarımı 1500 RPM'de SAE 30 için 372 kPa, SAE-40 için 543 kPa, SAE-50 için 779 kPa maksimum yağ basıncı elde edilmiştir. On sıra yatak tasarımı için 1500 RPM'de SAE 30 için 366 kPa, SAE-40 için 533 kPa, SAE-50 için 781 kPa yağ basıncı elde edilmiştir. On beş sıra kanallı yatak tasarımı için 1500 RPM'de SAE 30 için 362 kPa, SAE-40 için 526 kPa, SAE-50 için 751 kPa yağ basıncı elde edilmiştir. Yirmi sıra kanallı yatak tasarımı için 1500 RPM'de SAE 30 için 352 kPa, SAE-40 için 510 kPa, SAE-50 için 729 kPa maksimum yağ basıncı elde edilmiştir. Yağın viskozite seviyesi 100 cSt'dan 220 cSt değerine arttıkça maksimum basınç değeri de 777/372 kadar artmıştır.

Düz yatak tasarımı ve (0,2x0,2) mm 5-10-15-20 sıra kanallı yataklardan elde edilen yağ basınçları incelendiğinde yağlayıcı değiştirilip yağ basıncı artışı sağlandığında hız ile birlikte oluşan basınçta artmaktadır. Bununla birlikte hızın artışı ile yağlayıcı basınçları da düzenli artış göstermektedir. Basınç artışı hız artışı ile her yağda lineer olmasına rağmen, SAE-50 yağındaki basınç artışları SAE-40 ve SAE-30'a göre daha fazladır. SAE-50 için basınç artış grafiğinde eğim açısı 30° iken SAE-30'da 15°'lik eğim oluşmaktadır. Viskozite ve hız artışına bağlı olarak yağlayıcıda oluşan basınç oluşum oranı da artmaktadır.

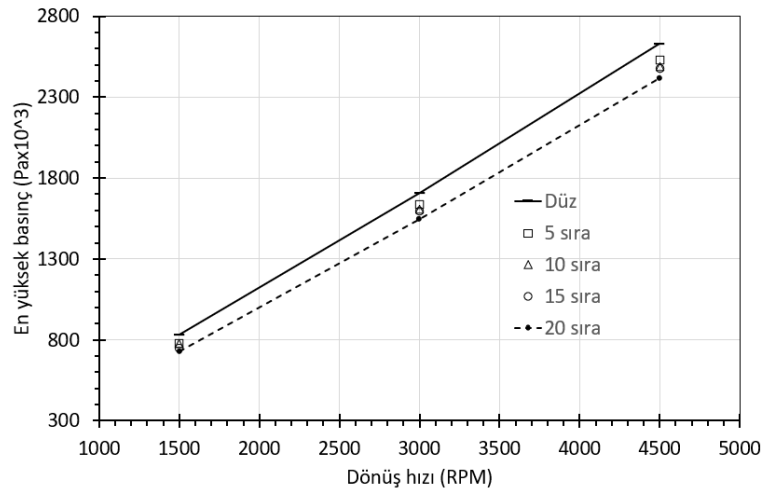
Açılan kanallar ile yağ basıncında düşüş görülmektedir. Basınç dağılımları incelendiğinde $P_{düz} > P_{5 \text{ sıra}} > P_{10 \text{ sıra}} > P_{15 \text{ sıra}} > P_{20 \text{ sıra}}$ şeklinde çıkmaktadır. Şekil 7.1, Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'te tasarımlarda elde edilen en yüksek basınç dağılımları yer almaktadır.



Şekil 7.1. SAE-30 yağı için hız ve basınç değişim grafiği



Şekil 7.2. SAE-40 yağı için hız ve basınç değişim grafiği



Şekil 7.3. SAE-50 yağı için hız ve basınç değişim grafiği

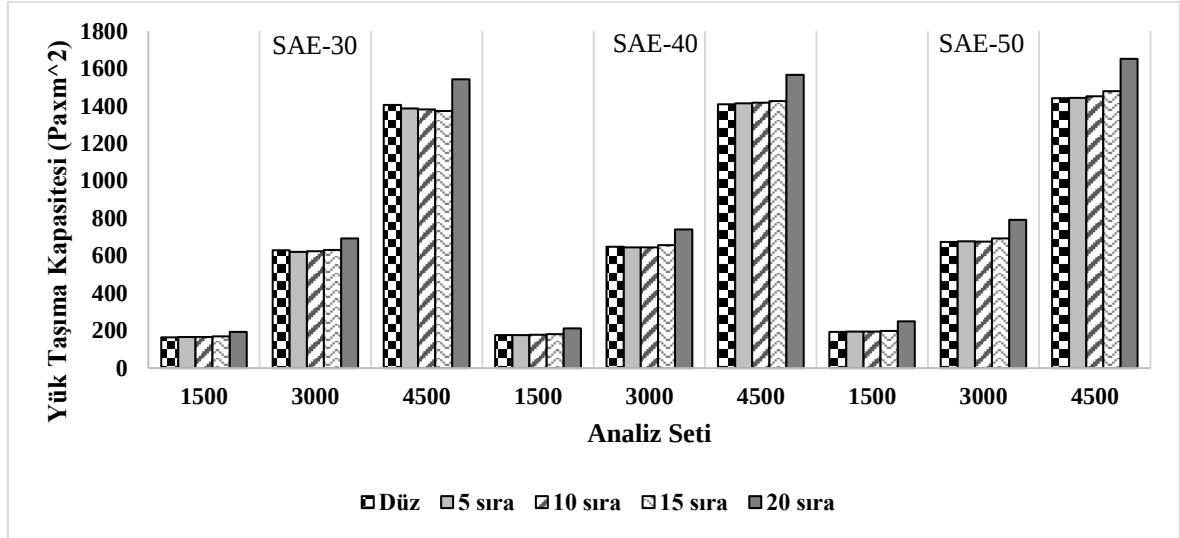
Viskozite, literatürde bir sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç ölçütü olarak tanımlanmakta ve uygulanan kesme gerilimi tarafından üretilen sıvı gerinim oranını belirlemektedir. Kayma gerilimi, bir sıvıda sürekli kayma deformasyonuna neden olmaktadır. SAE 50 için ısı iletkenliği değerinin elde edilmesi için yapılan analizlerde, yağlayıcı seçiminde yağ basıncını etkileyen en önemli faktörlerden birinin yağlayıcı seçimi ile elde edilen yağ viskozitesi olduğu görülmüştür. Analizlerde maksimum kayma gerilmesi, minimum yağ filmi kalınlığı bölgesinde oluşurken; yağ filmi kalınlığı arttıkça kayma gerilmesi küçülmektedir. Kanallı yataklarda maksimum kayma gerilmeleri düz yataktakine benzer şekilde minimum yağ filmi kalınlığı bölgesinde oluşmakta ancak açılan kanallardan dolayı daha fazla çıkmaktadır. Kayma gerilmeleri sıralanmak istendiğinde değişen hız değerleri ile belirgin bir sıralama elde edilememiştir. Genel olarak sonuçlar incelendiğinde $KG_{20\text{sıra}} > KG_{5\text{ sıra}} > KG_{10\text{ sıra}} > KG_{\text{düz}} > KG_{15\text{ sıra}}$ sıralaması yapılabilir ancak, yağlayıcı değişimi ile kayma gerilmeleri düzenli artmamaktadır.

Çizelge 7.6’da yapılan yatak tasarımlarında standart yağlayıcılar için desen tasarımına ve hıza bağlı elde edilen yük taşıma kapasiteleri yer almaktadır. 1500 RPM’ de ile düz yatak için SAE-30 yağlayıcı ile 165 N, SAE-40 için 176 N, SAE-50 için 193 N, 5 sıra kanallı yatak için SAE-30 yağlayıcı ile 166 N, SAE-40 için 177 N, SAE-50 için 195 N, 10 sıra kanallı yatak için SAE-30 yağlayıcı ile 165 N, SAE-40 için 178 N, SAE-50 için 196 N, 15 sıra kanallı yatak için SAE-30 yağlayıcı ile 169 N, SAE-40 için 182 N, SAE-50 için 199 N, 20 sıra kanallı yatak için SAE-30 yağlayıcı ile 193 N, SAE-40 için 213 N, SAE-50 için 246, yük kapasitesi elde edilmiştir.

Çizelge 7.6. Standart yağlar için farklı devirlerde yük taşıma kapasitesiteleri ($\text{Pa}\cdot\text{m}^2$)

Birim: ($\text{Pa}\cdot\text{m}^2$)	SAE-30			SAE-40			SAE-50		
Tasarım	1500 RPM	3000 RPM	4500 RPM	1500 RPM	3000 RPM	4500 RPM	1500 RPM	3000 RPM	4500 RPM
Düz	165	629	1405	176	648	1409	193	673	1442
(0,2x0,2)*5	166	621	1387	177	645	1414	195	677	1444
(0,2x0,2)*10	165	624	1382	178	644	1418	196	676	1451
(0,2x0,2)*15	169	631	1373	182	656	1425	199	693	1479
(0,2x0,2)*20	193	693	1542	213	740	1566	249	791	1652

Yüzey desenlerinin yük taşıma kapasitesindeki değişimi incelemek için kanal sayıları değiştirilerek yapılan analizlerde elde edilen sonuçların karşılaştırılması Şekil 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4. Yapılan tasarımlarda hız ve yağlayıcı değişimine göre yük taşıma kapasitesi değişimi

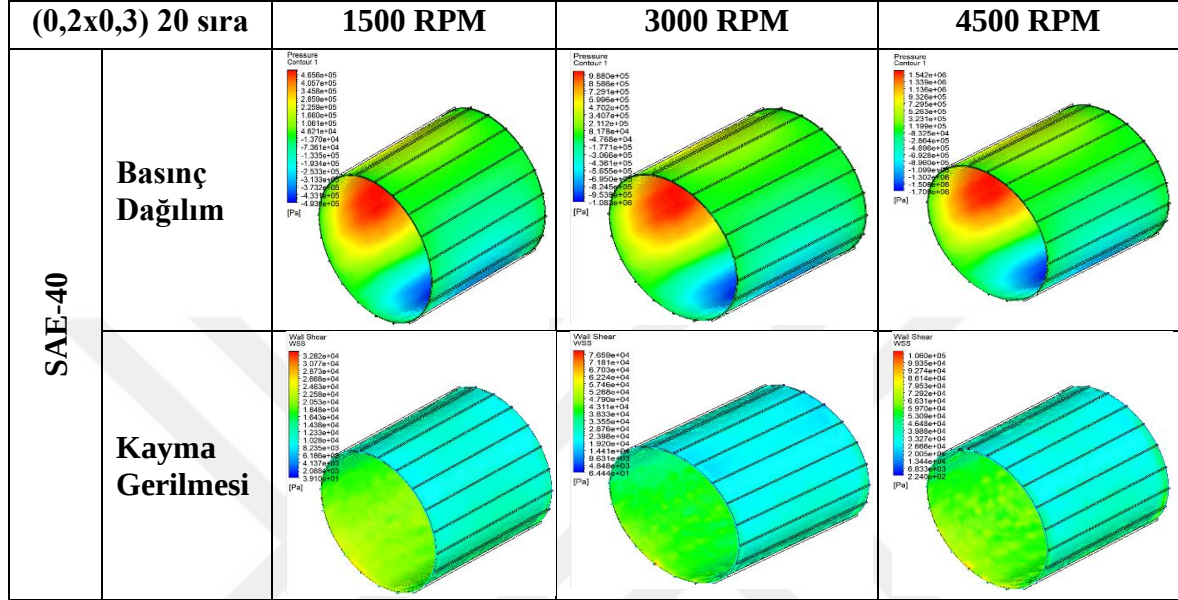
Analizler sonucunda yağ viskozitesinin artışı ile yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır. Sonuçlar genel olarak karşılaştırıldığında 20 sıra yatak için minimum yağ basıncında ve maksimum kayma gerilmesinde, diğer tüm tasarımlara göre maksimum yük taşıma kapasitesi elde edilmektedir. Ancak elde edilen yük taşıma kapasitelerinde belirgin bir değişim gözlenmemekte ve düzenli bir sıralama yapılamamaktadır.

Yük taşıma kapasitesi sıralamasının yapılamamasının kayma gerilmelerindeki düzensizlikten olduğu düşünülmektedir. Sıralamadaki beklenmeyen sonuçların bir diğer nedeni olarak ise yağ filmi kalınlığına eş değer boyutta kanallar oluşturulması ve desen boyutlarının geniş, kanalların derin seçildiği ve bu nedenle hız değişimi ile beklenmeyen sonuçlar elde edildiği düşünülmektedir. Bu nedenle yeni analiz setleri oluşturularak çalışmaya devam edilmiştir.

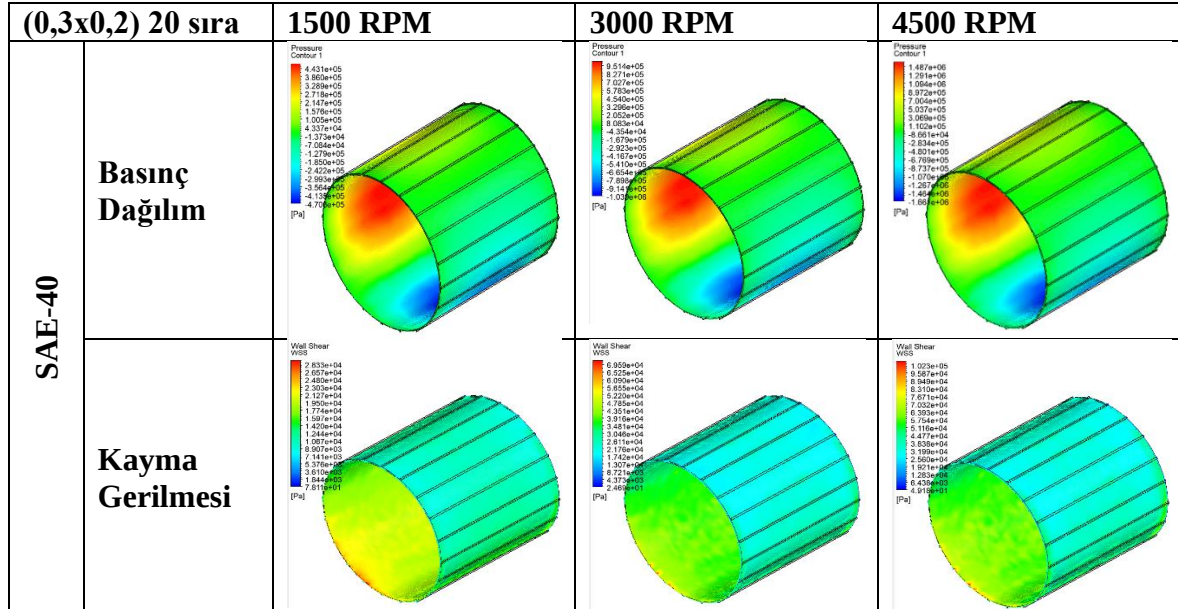
Basınç, kayma gerilmesi ve yük taşıma kapasitesinin kanal derinlik ve genişliğine göre değişimini incelemek için kanal genişlik ve yükseklik kesit ölçülerinde değişiklik yapılarak analizler tekrarlanmıştır. Kanal ölçüleri (0,2x0,3) mm 20 sıra ve (0,3x0,2) mm 20 sıra olarak düzenlenmiş ve elde edilen kayma gerilmesi ve basınç dağılımları Çizelge 7.7 ve

Çizelge 7.8’de verilmiştir. Burada (0,2x0,3) olarak verilen tasarımda 0,2 mm genişlik ve 0,3 mm yükseklik ölçütünü göstermektedir.

Çizelge 7.7. (0,2x0,3) mm kesitinde 20 sıra kanal desenine sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m²)



Çizelge 7.8. (0,3x0,2) mm kesitinde 20 sıra kanal desenine sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m²)



Yağ basınç analizleri sonucunda SAE-40 için 1500 RPM’de kanalsız düz yatak tasarımında 571 894 Pa, 20 sıra kanal desenli tasarımda (0,2x0,3) kesit için 495 545 Pa ve (0,3x0,2) kesit için 471 654 Pa basınç elde edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında düz yatak tasarımına göre her iki kanal tasarımında da yağ basıncı düşmektedir. Kayma gerilmeleri ise düz yatak tasarımı için 30 389 N, (0,2x0,3) 20 sıra kanallı tasarımda 33 848 N ve (0,3x0,2) 20 sıra kanallı tasarımda 29 213 N elde edilmektedir.

Kanal ölçüsü değiştirildiğinde SAE-40 yağlayıcısı için 1500 RPM’de (0,2x0,2) kanallı yatağa göre yatak basınçları (0,2x0,3) kanallı yatak için 15 kPa ve (0,3x0,2) kanallı yatak için 39 kPa; 3000 RPM’de (0,2x0,3) kanallı yatak için 40 kPa ve (0,3x0,2) kanallı yatak için 79 kPa; 4500 RPM’de (0,2x0,3) kanallı yatak için 59 kPa ve (0,3x0,2) kanallı yatak için 117 kPa maksimum yağ basıncında düşüş meydana gelmiştir.

Tasarım ölçülerindeki farklılık ile oluşan basınç farkını incelemek için bu yeni tasarımlardaki yağ hacimleri hesaplanmıştır. 20 sıra kanal desenli (0,2x0,3) ve (0,3x0,2) kesit kanallı tasarımlar için 419 mm³ yağ hacmi hesaplanmıştır. Aynı hacimde olmalarına rağmen bu iki tasarımda yapılan kanal yükseklik ve genişlik ölçülerindeki değişikliklerden dolayı analiz sonuçlarında farklar oluşmaktadır. 0,3 mm genişlik verilen (0,3x0,2) tasarımlı kanalda, aynı yağ hacmine sahip olmasına rağmen (0,2x0,3) tasarımına göre ve düz yatak tasarımına göre artan hız değerlerinde daha düşük yağ film basıncı ve daha yüksek kayma gerilmesi elde edilmiştir.

Çizelge 7.9’de yağlayıcı ve basınç değişimine göre (0,2x0,3) mm 20 sıra ve (0,3x0,2) mm 20 sıra kanallı yatak tasarımları için elde edilen yük taşıma kapasiteleri yer almaktadır.

Çizelge 7.9. (0,3x0,2) mm ve (0,2x0,3) mm 20 sıra yatak tasarımında 1500-3000-4500 rpm hızlarda SAE 30-40-50 için yük taşıma kapasiteleri

Pa*m2	SAE-30			SAE-40			SAE-50		
Tasarım	1500	3000	4500	1500	3000	4500	1500	3000	4500
(0,2x0,3)*20	173	640	1406	190	663	1470	211	712	1496
(0,3x0,2)*20	171	645	1415	184	668	1457	202	705	1541

(0,2x0,3) ve (0,3x0,2) 20 sıra kanallı yataklar ve düz yatak tasarım sonuçları basınç (P), kayma gerilmesi (KG) ve yük taşıma kapasiteleri (YTK) karşılaştırıldığında aşağıdaki sıralama yapılmaktadır. Yapılan sıralama ile basıncın artışı ile kayma gerilmesi ve yük taşıma kapasiteleri düşmektedir. Ayrıca ölçüler değiştirilerek yapılan analizlerde, kanal derinliğinin kanal genişliğine göre analiz sonuçlarında daha etkili olduğu görülmektedir.

$$P_{\text{düz}} > P_{0,3 \times 0,2} > P_{0,2 \times 0,3}$$

$$KG_{\text{düz}} < KG_{0,3 \times 0,2} < KG_{0,2 \times 0,3}$$

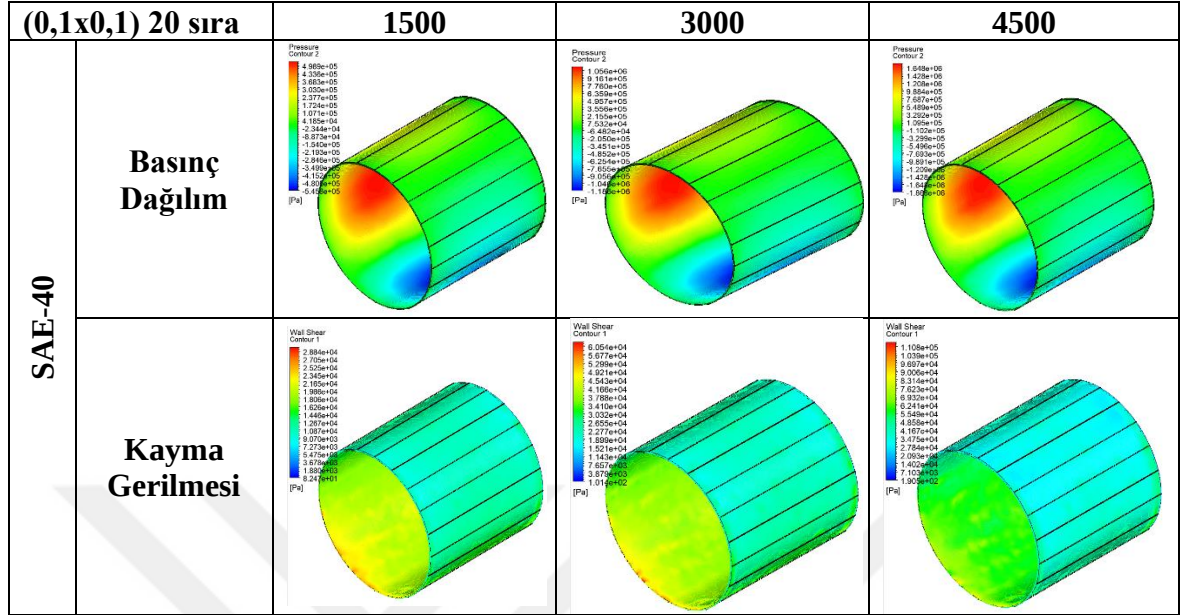
$$YTK_{\text{düz}} < YTK_{0,3 \times 0,2} < YTK_{0,2 \times 0,3}$$

Kayma gerilmelerindeki dengesiz dağılım, yük taşıma kapasitesinde istenen belirgin değişim sağlanamaması ve aynı hacimde farklı sonuçlar elde edilmesinden dolayı kanal ölçülerinde değişikliğe gidilmiş ve aynı sayıda daha küçük en ve boy oranında kanallar ile tasarımlar oluşturulmuştur.

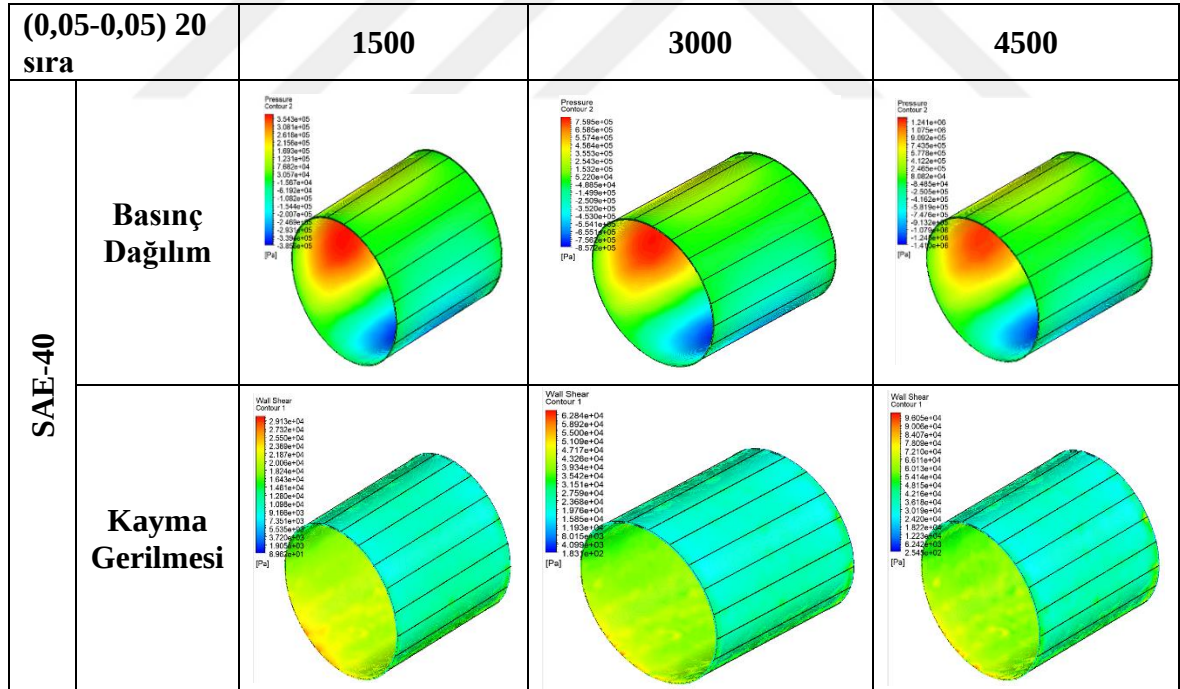
SAE-40 yağlayıcı ile 1500 RPM, 3000 RPM, 4500 RPM'de (0,05x0,05) mm ve (0,1x0,1) mm 20 sıra kanallı yeni yatak tasarımları için analizler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 7.10 ve Çizelge 7.11'de (0,1x0,1) ve (0,05x0,05) mm 20 sıra kanallı yatak tasarımları ile elde edilen maksimum yağlayıcı basınçları ve kayma gerilmeleri yer almaktadır.

Yeni tasarımlar ile küçültülen kanal ölçüleri sonucunda 1500 RPM'de SAE40 yağlayıcısı için (0,05x0,05) mm 20 sıra yatak tasarımında 377 421 Pa yağ basıncı ve 20 611 N kayma gerilmesi elde edilirken (0,1x0,1) mm 20 sıra yatak tasarımında 365 093 Pa yağ basıncı ve 20 508 N kayma gerilmesi elde edilmiştir.

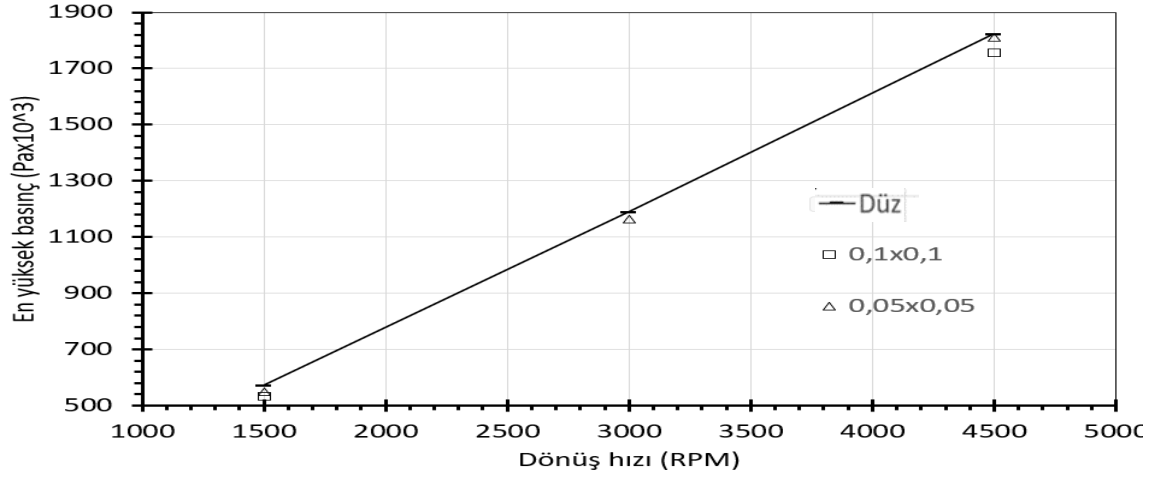
Çizelge 7.10. (0,1x0,1) mm kesitinde 20 sıra kanal desenine sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m²)



Çizelge 7.11. (0,05x0,05) mm kesitinde 20 sıra kanal desenine sahip yatak tasarımı için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m²)



Yeni kanal ölçüleriyle yapılan analizlerde yağ basınçları incelendiğinde 0,1mm kanal ve 0,05 mm kanallar 1500-3000-4500 RPM'de düz yataktan daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 7.5'te bu durumun karşılaştırılması yer almaktadır.



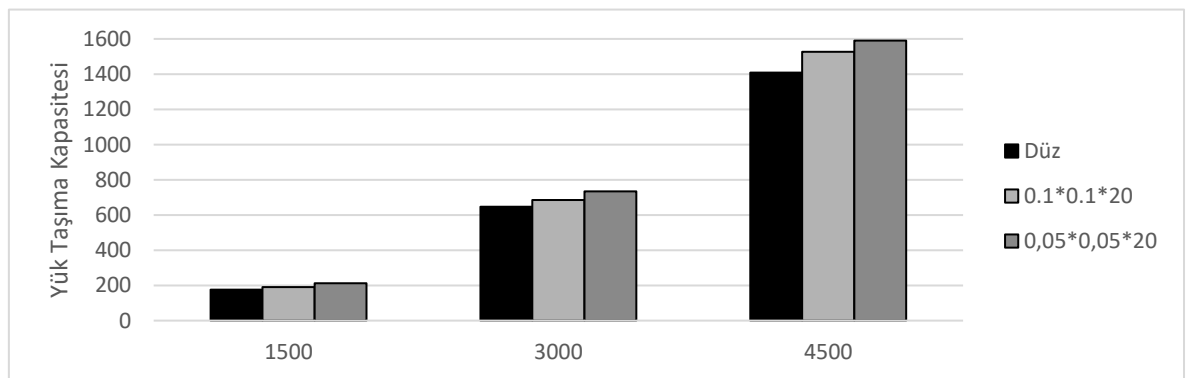
Şekil 7.5. Düz, 0,1 mm kanallı ve 0,05 mm kanallı yataklarda en yüksek basınç değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 7.12’te hız ve basınç değişimine göre (0,1x0,1) mm ve (0,05x0,05) mm 20 sıra kanallı yatak tasarımları için elde edilen yük taşıma kapasiteleri yer almaktadır.

Çizelge 7.12. (0,05x0,05) ve (0,1x0,1) mm 20 sıra yatak tasarımında 1500-3000-4500 rpm hızlarda SAE 40 için yük taşıma kapasiteleri

Pa*m2	SAE-40		
Tasarım	1500	3000	4500
(0,1x0,1)*20	191	685	1526
(0,05x0,05)*20	213	734	1590

Yeni kanal ölçüleriyle yapılan çalışmada yük taşıma kapasiteleri karşılaştırıldığında ise Şekil 7.6’daki gibi bir durum söz konusudur. SAE-40 yağı ile yapılan analizlerde 0,05 mm kanal için 4500 RPM’de yük taşıması 1590 N’ a kadar gelişirken düz yatakta 1409 N’luk bir kapasite oluşmaktadır.



Şekil 7.6. Düz, 0,1 mm kesit ve 0,05 mm kesit kanallı yataklarda yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması

Yük taşıma kapasiteleri karşılaştırıldığında; $YTK_{düz} < YTK_{0,3 \times 0,2} < YTK_{0,2 \times 0,3} < YTK_{0,1 \times 0,1} < YTK_{0,05 \times 0,05}$ kapasite sıralaması yapılmaktadır. Kanal ölçülerinin küçülmesi ile yük taşıma kapasitesinde artış gözlenmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar, kanal tasarımında kanal boyutlarının büyük seçilerek yağ hacmini maksimum seviyeye çıkartmanın yük taşıma kapasitesinin geliştirilmesinde her zaman en doğru yöntem olmadığını göstermektedir. 5, 10, 15 sıra kanallı yataklarda yağ basıncı değişirken kayma gerilmesi ve yük taşıma kapasitesi için anlamlı sonuçlar oluşturmamaktadır. Kanal ölçülerinin küçültülerek aynı sayıda kanal açılması ile de yük taşıma kapasitesinde belirgin sonuçlar elde edilebilmektedir.

7.2. Yeni Kullanılmamış ve Yeni kullanılmış SAE-40 yağları ile yapılan analizler

Bu bölümde kanalların yağ kullanımı ile değişen etkisini incelemek için yeni ve kullanılmış SAE-40 yağlayıcı özellikleri referans alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımlarda düz yatağa göre (0,2x0,2) mm 20 sıra, (0,1x0,1) mm 20 sıra ve (0,05x0,05) mm 20 kanallı yataklarda belirgin sonuçlar elde edilmesi nedeniyle, Inayatullah vd (2009) çalışmalarında SAE-40 yağlayıcı için elde ettikleri veriler kullanılarak analizler yapılmıştır.

Tasarımsal analizler için kullanılan viskozite özellikleri ve makalede kullanılan özellikler farklı olduğundan net bir karşılaştırma yapılabilmesi için yeni yağlayıcı için de ayrıca analizler referans yağlayıcı özellikleri ile tekrarlanmıştır. Çizelge 7.13'te makalede yer alan SAE-40 için temiz/kullanılmamış (0 saat) ve kullanılmış (100 saat) yağ özellikleri yer almaktadır. Çizelge 7.14, 7.15, 7.16 ve 7.17'de seçilen tasarımlar için kullanılmamış ve 100 saat kullanılmış yağlar için basınç dağılımları yer almaktadır.

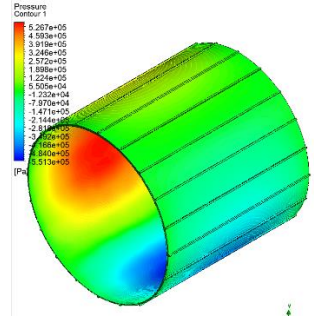
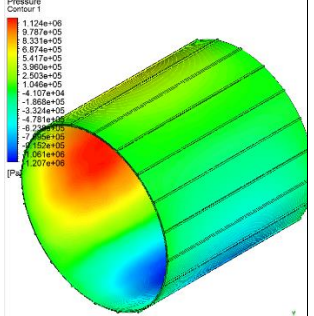
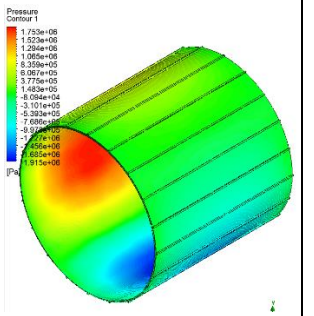
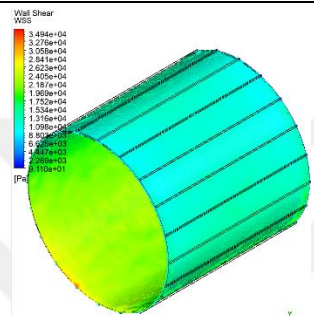
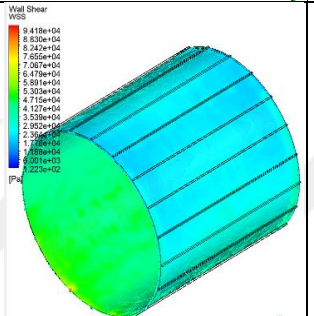
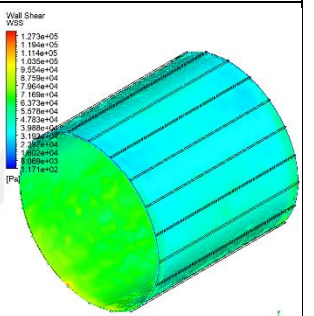
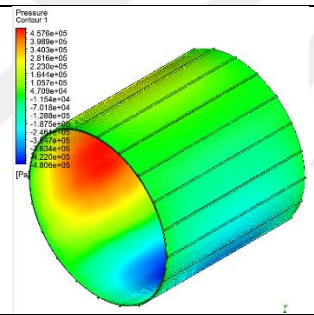
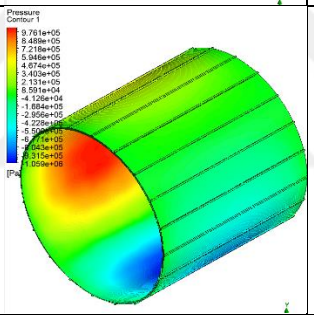
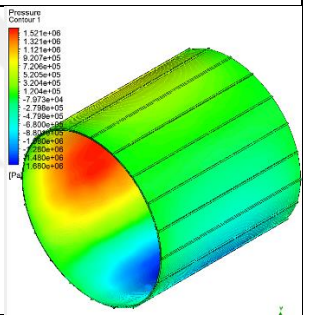
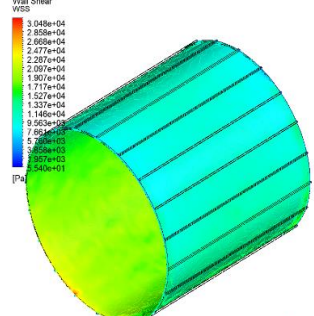
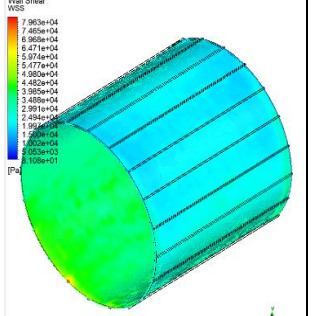
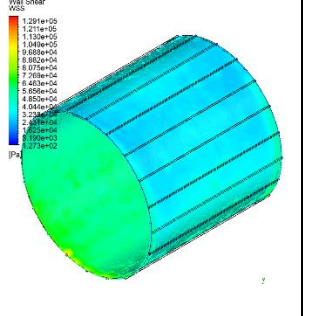
Çizelge 7.13. SAE-40 için temiz yağlayıcı (0 saat kullanım) ve kirli yağlayıcı (100 saat kullanım) özellikleri (Inayatullah, Jamaludin, Nor, & Mat, 2009)

SAE 40	Temiz	Kullanılmış
Yoğunluk (kg/m ³)	897,1	897,1
Özgül Isı (j/KgK)	1717*	1717*
Isı İletkenliği (W/mK)	0,132*	0,132*
Viskozite (kg/m s)	0,1405	0,1236

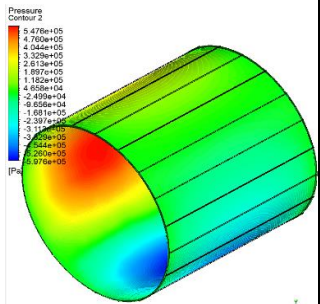
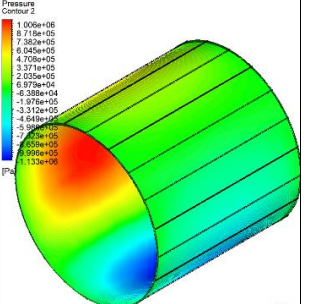
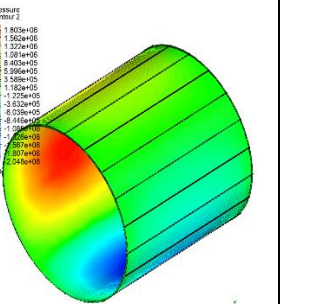
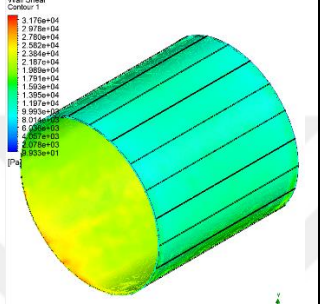
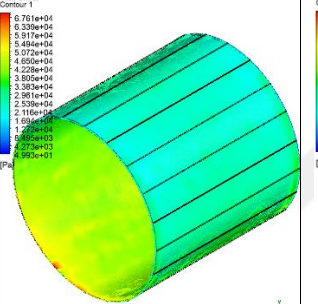
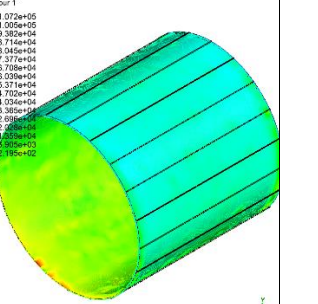
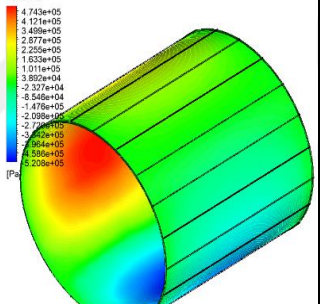
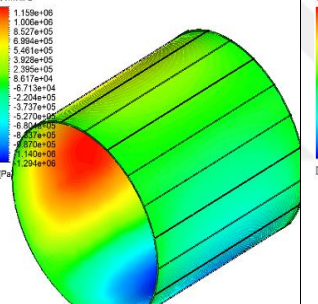
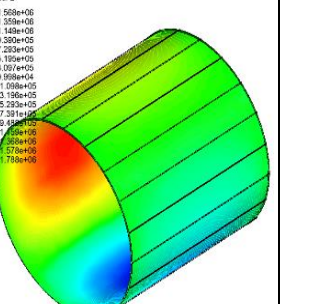
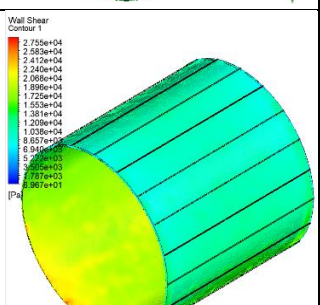
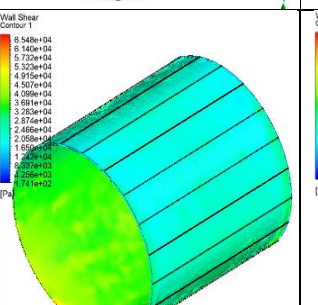
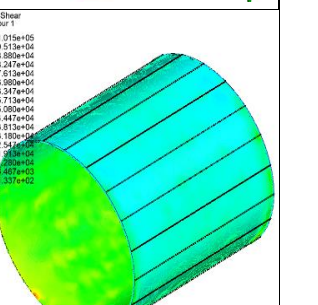
Çizelge 7.14. Düz yatak tasarımında SAE-40 yeni kullanılmamış ve kullanılmış yağlar için yağ basınç dağılımları (Pa) ve kayma gerilmeleri (N/m²)

Düz		1500	3000	4500
SAE-40- Temiz Yağlayıcı	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-40- Kullanılmış Yağlayıcı	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			

Çizelge 7.15. (0,2x0,2) mm kesitli 20 sıra desenli yatak tasarımında SAE-40 kullanılmamış ve kullanılmış yağlar için yağ basınç dağılımları (P) ve kayma gerilmeleri (N/m²)

(0,2x0,2)*20		1500	3000	4500
SAE-40- Temiz Yağlayıcı	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-40- Kullanılmış Yağlayıcı	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			

Çizelge 7.16. (0,1x0,1) mm kesitli 20 sıra desenli yatak tasarımında SAE-40 kullanılmamış ve kullanılmış yağlar için yağ basınç dağılımları (P) ve kayma gerilmeleri (N/m²)

(0,1x0,1)*20		1500	3000	4500
SAE-40- Temiz Yağlayıcı	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-40- Kullanılmış Yağlayıcı	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			

Çizelge 7.17. (0,05x0,05) mm kesitli 20 sıra desenli yatak tasarımında SAE-40 kullanılmamış ve kullanılmış yağlar için yağ basınç dağılımları (P) ve kayma gerilmeleri (N/m²)

(0,05x0,05)*20		1500	3000	4500
SAE-40- Temiz Yağlayıcı	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			
SAE-40- Kullanılmış Yağlayıcı	Basınç Dağılım			
	Kayma Gerilmesi			

Çizelge 7.18’da yatak tasarımları için temiz ve 100 saat kullanılmış yağlar için elde edilen yük taşıma kapasiteleri yer almaktadır.

Çizelge 7.18. 1500-3000-4500 rpm hızlarda SAE-40 temiz ve kullanılmış yağlayıcılar için yük taşıma kapasiteleri

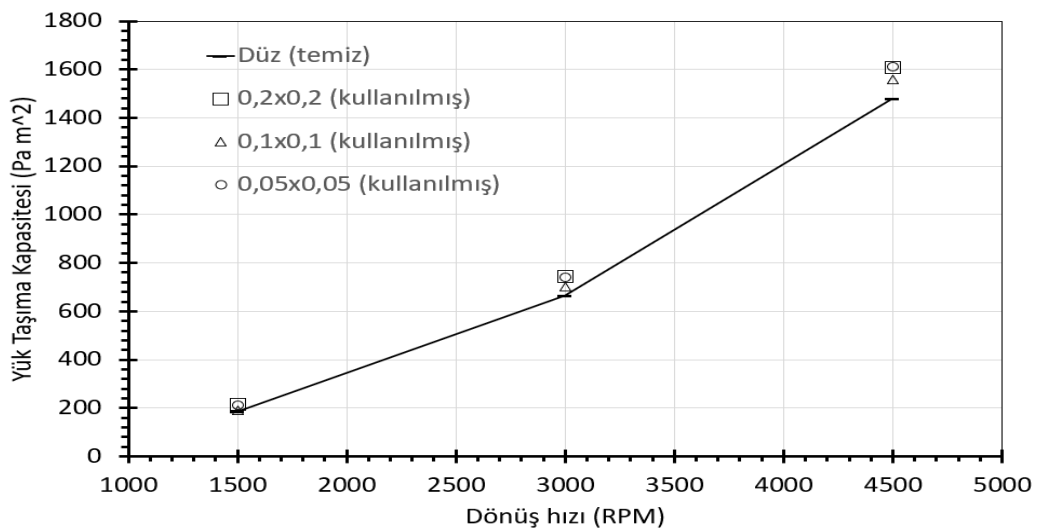
Pa*m2	(Temiz) SAE-40			(100 Saat) SAE-40		
Tasarım	1500	3000	4500	1500	3000	4500
Düz	185	666	1478	176	662	1462
(0,2x0,2)*20	225	774	1639	217	743	1607
(0,1x0,1)*20	201	723	1548	192	702	1557
(0,05x0,05)*20	224	766	1643	211	740	1612

Temiz ve kullanılmış yağlayıcılar için yapılan analizlerde 100 saat kullanım sonrası viskozite düşüşü ile tasarımların her birinde basınç, kayma gerilmesi ve yük taşıma kapasitelerinde düşüş görülmüştür. Tasarımlar karşılaştırıldığında kullanılmamış ve kullanılmış yağlayıcılar için yük taşıma kapasiteleri (YTK) ve basınçlar (P) sırasıyla;

$$P_{\text{düz}} > P_{(0,05 \times 0,05)} > P_{(0,1 \times 0,1)} > P_{(0,2 \times 0,2)}$$

$$YTK_{(0,2 \times 0,2)} > YTK_{(0,05 \times 0,05)} > YTK_{(0,1 \times 0,1)} > YTK_{\text{düz}}$$

Şekil 7.7’de temiz yağlayıcı ile düz yatak yük taşıma kapasiteleri ve 100 saat kullanılmış kirli yağlayıcıda (0,2x0,2); (0,1x0,1) ve (0,05x0,05) mm yatakların karşılaştırmaları yer almaktadır. Temiz ve yarı ömrünü tamamlamış yağlayıcılar için tasarımlar karşılaştırıldığında; kanal açılmış yataklarda yarı ömrünü tamamlamış yağlayıcı analizi ile elde edilen yük taşıma kapasiteleri düz yataktaki temiz yağlayıcı ile elde edilen yük taşıma kapasitesine göre daha yüksek verim elde edilmiştir.



Şekil 7.7. (0,05x0,05); (0,1x0,1); (0,2x0,2) 100 saat kullanılmış ve düz yataкта temiz yağlayıcı analizlerinin karşılaştırılması

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatür araştırması ve analizler ile yapılan sonuçlar göstermiştir ki yağ kanalı uygulaması yağ basıncını azaltırken yatak performansında iyileşme sağlayabilmektedir. Bu çalışmada çeşitli kanal ölçülerinde kanallar açılmış yataklar ve kanalsız/düz yatak tasarımını kullanarak SAE30, SAE40 ve SAE50 yağlayıcıları ile 1500-3000-4500 RPM hızlarda analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ile şu sonuçlara varılmıştır:

1. Hızın artışı ile yağlayıcının oluşturduğu basınç artmaktadır. Benzer şekilde yağ viskozitesinin artması ile yağ basıncı, kayma gerilmesi ve yük taşıma kapasitesi artış göstermektedir.
2. Yağlayıcı analizinde kullanılan yoğunluk, özgül ısı, termal iletkenlik ve viskozite özellikleri incelendiğinde bu parametreler içinde basıncı etkileyen en önemli faktör viskozitedir. Tasarımda kullanılacak yağlayıcının seçimi önemli bir faktör haline gelmektedir.
3. Kanal sayısının artmasıyla yağ basıncı azalmakta ve yük taşıma kapasitesi artmaktadır.
4. Kanal sayısının değişmesiyle yatak performansında iyileşme görülebilmektedir. Ancak optimum kanal ölçüleri ve kanal sayısına ulaşılmalıdır.
5. Kanal genişliği ve kanal yüksekliği karşılaştırıldığında kanal genişliğinin artışı, kanal derinlik artışına göre basıncın düşmesinde daha etkili bir faktördür.
6. Aynı sayıda kanal açılmasına rağmen kanal ölçülerinin küçülmesiyle yük taşıma kapasitelerinde artış gözlenmiştir. Bu değişimin kayma gerilmelerinin dolayısıyla sürtünmenin değişmesinden olduğu düşünülmektedir.
7. Temiz ve kullanılmış yağlayıcılarla yapılan analizler karşılaştırıldığında yağ kullanımı ile viskozitenin düşmesine dolayısıyla yağ basınçlarının ve yük taşıma kapasitelerinin düşmesine neden olmuştur.
8. Kanallı yataklardaki kullanılmış yağlayıcı ile elde edilen yük taşıma kapasiteleri, düz yataktaki temiz yağlayıcı ile elde edilen yük taşıma kapasitesine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Analizler göstermiştir ki; kanal açılması ile düz yatağa göre çok daha iyi yağlayıcı performansları elde edilebilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adatepe, H. (2019). Farklı Yağ Besleme Basıncının Kaymalı Yatak Performansına Etkisi. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 9, s. 212-222.
- Artun, Y. (2020). Hidrokinamik Radyal Kaymalı Yataklarda Basınç Dağılımının İncelenmesi. Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, s. 30-36.
- Baş, H. (2022). Hidrokinamik radyal kaymalı yataklarda yüzey pürüzlülüğünün sürtünme davranışları üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, s. 877-887.
- Beşergil, B. (Erişim Tarihi: 10.12.2022). Yağlama Yağları. <https://bilsenbesergil.blogspot.com/> adresinden alındı
- Bhasker, B., Seetharamaiah, N., & Babu, R. P. (2020). Experimental investigation of hydrodynamic pressure and oil film temperature of surface textured offset halves journal bearing. Materials Today: Proceedings.
- Collins, J. A., Busby, H., & Staab, G. (2003). Mechanical Design of Machine Elements and Machines (2nd ed.). Wiley Global Education US.
- Dhande, D., & Pande, D. (2018). Multiphase flow analysis of hydrodynamic journal bearing using CFD coupled Fluid Structure Interaction considering cavitation. Journal of King Saud University – Engineering Sciences(30), s. 345-354.
- Güler, M. S., & Şen, S. (2015). Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Genel Bilgiler. Ordu Üniversitesi Bilim Teknoloji Dergisi, 5(1), s. 56-66.
- Güllü, E., & Yılmaz, T. F. (2018). Hidrokinamik Radyal Kaymalı Yatak Performansının Farklı Sınır Şartları İçin İncelenmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 23(3), s. 37-48.
- Inayatullah, O., Jamaludin, N., Nor, J. M., & Mat, F. (2009). New Method Estimate Diesel Engine Oil Viscosity: Acoustic Emission Viscosity., (s. 9D 1-5).
- Kumar, C., & Ganapathi, R. (2015). CFD Analysis on Hydrodynamic Plain Journal Bearing using Fluid Structure Interaction Technique. International Journal of Engineering Research & Technology, 7(4).
- Maspeyrot, P., Tala-Ighil, N., Fillon, M., & Bounif, A. (2007). Hydrodynamic Effects of Texture Geometries on Journal Bearing Surfaces. The Annals of University Dunarea De Jos Of Galati Fascicle VII, ISSN 1221-4590, s. 47-52.
- Mott, R. L., Vavrek, E. M., & Wang, J. (2018). Machine Elements in Mechanical Design (8th ed.). Pearson Education.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Nagarajan, T., Hashi, F., Rao, T., & Rani, A. (2012). Analysis of slider and journal bearing using partially textured slip surface. *Tribology International*(56), s. 121-128.
- Öncü, G., & Durak, E. (2021). Statik Yüklü Radyal Kaymalı Yataklarda Hidrodinamik Yağlamanın Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, s. 167-175.
- Panthi, A. (2015). Design and Analysis of Hydrodynamic Journal Bearing using Raimondi and Boyd Chart. *International Journal Of Core Engineering & Management (IJCEM)*, 2(3).
- Petterson, U., & Jacobson, S. (2004). Friction and wear properties of micro textured DLC coated surfaces in boundary lubricated sliding. *Tribology Letters*, 17(3), s. 553-559.
- Roy, L., & Laha, S. (2009). Steady state and dynamic characteristics of axial grooved journal bearings. *Tribology International*(42), s. 754-761.
- Sayar, M. (2017). Bir Dişi Tipi Yağ Pompasına Ait Mil Yatağında Oluşan Sarma Probleminin Araştırılması. Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Sayar, M. (2018). Ağır Hizmet dizel Motorlara Ait Bir Kaymalı Yatağın Çalışma Analizi. 4. Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE'18).
- Shinde, A., & Pawar, P. (2017). Multi-objective optimization of surface textured journal bearing by Taguchi based Grey relational analysis. *Tribology International*(114), s. 349-357.
- Shinde, A., Pawar, P., Gaikwad, S., Kapurkar, R., & Parkhe, A. (2018). Numerical Analysis of Deterministic Micro-Textures on the Performance of Hydrodynamic Journal Bearing. *Materials Today: Proceedings*(5), s. 5999-6008.
- Singh, D., Singh, N., & Awasthia, R. (2018). Effect of surface texture parameters on the performance of finite. *Materials Today: Proceedings*(5), s. 19349-19358.
- Tala-Ighil, N., Fillon, M., & Maspeyrot, P. (2011). Effect of textured area on the performances of a hydrodynamic journal bearing. *Tribology International*(44), s. 211-219.
- Topçu, A. (Erişim Tarihi: 11.12.2022). Sonlu Elemanlar Metodu. http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/sonluelemanlarmetodu.htm adresinden alındı
- Yazıcıoğlu, O., & Yazıcıoğlu, M. B. (2020). Makine Elemanları. Seçkin Yayıncılık.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yürüsoy, M., Akgün, S., & Pakdemirli, M. (2000). Power-Law Akışkanı İle Yağlanmış Eksenel Kaymalı Yatakta Basınç ve Hız Dağılımı. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2-3), s. 161-166.

