



**SÜRTÜNME MOMENTİ AZALTILMIŞ,
SIZDIRMAZLIĞI GELİŞTİRİLMİŞ RULMAN
TASARIMI**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Sami YURTAŞAN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Okan ÜNAL**

**SÜRTÜNME MOMENTİ AZALTILMIŞ, SIZDIRMAZLIĞI
GELİŞTİRİLMİŞ RULMAN TASARIMI**

Sami YURTAŞAN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Okan ÜNAL**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ekim 2024**

Sami YURTAŞAN tarafından hazırlanan “SÜRTÜNME MOMENTİ AZALTILMIŞ, SIZDIRMAZLIĞI GELİŞTİRİLMİŞ RULMAN TASARIMI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Okan ÜNAL

.....

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 04/10/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Okan ÜNAL (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KARADEMİR (BARÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Sami YURTAŞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SÜRTÜNME MOMENTİ AZALTILMIŞ, SIZDIRMAZLIĞI GELİŞTİRİLMİŞ RULMAN TASARIMI

Sami YURTAŞAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Okan ÜNAL

Ekim 2024, 34 sayfa

Bu çalışmada, rulmanda kullanılan lastik ve sac kapak bileşenlerinde yapılan tasarım değişiklikleri / iyileştirmeler çerçevesinde rulman kalitesinde (sürtünme momenti, çalışma sıcaklığı, sızdırmazlık, montaj, çalışma ömrü) tespit edilen gelişmeler anlatılmıştır.

Lastik kapak iç dudaklarının, iç bilezik omuzuna bastığı kısımda yapılan optimizasyon ile sürtünme yüzeyi azaltılarak rulmanın çalışma sıcaklığı düşürülmüş, sürtünme momenti azaltılmış, çalışma sıcaklığının azaltılması ile rulman içerisindeki bileşenlerin (gres, lastik kapak vb) daha az ısınması sağlanmış bu sayede rulman çalışma ömrünün ve gres sızdırmazlığı açısından da iyileştirme sağlanmıştır.

Sac kapak dış çapına açılan yarıklar sayesinde sac kapağın dış bilezik kapak yuvasına daha homojen montajı sağlanmıştır. Böylelikle sac kapaklı rulmanlarda dış çap ovallik değeri düşürülmüştür. Ayrıca sac kapak iç çapında yapılan 90° lik bükümle gresin rulman dışına akması önlenmiş, gresin rulman içerisinde sirkülasyonu sağlanmış, dolayısıyla rulman çalışma ömrü artırılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Rulman, sürtünme, moment, sıcaklık, sızdırmazlık, lastik kapak, sac kapak, gres

Bilim Kodu : 91416



ABSTRACT

Master Thesis

BEARING DESIGN WITH REDUCED FRICTION MOMENT, IMPROVED SEALING

Sami YURTAŞAN

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Energy Systems Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Okan ÜNAL

October 2024, 34 pages

In this study, the improvements detected in the bearing quality (friction moment, operating temperature, sealing, assembly, operating life) within the framework of the design changes/improvements made in the rubber seal and shield components used in the bearing are explained.

With the optimization made in the part where the inner lip of the rubber seal interacted on the inner ring shoulder thanks to that the friction surface was reduced, the operating temperature of the bearing was reduced, the friction moment was reduced and by lowering the operating temperature, the components inside the bearing (grease, rubber seal, etc.) became less heated, thus increasing the operating life of the bearing and grease life increased. Improvements were also made in sealing.

Thanks to the notches opened in the outer diameter of the sheet metal cover, a more homogeneous installation of the sheet metal cover into the outer ring shield groove is ensured. Thus, the outer diameter ovality value in shielded bearings has been reduced. In addition, with the 90° bending made in the inner diameter of the sheet metal cover, the grease is prevented from leakage out of the bearing and the grease is ensured circulating within the bearing, thus increasing the service life of the bearing.

Key Word : Bearing, friction, moment, temperature, leakage, rubber seal, shield, grease

Science Code : 91416



TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının oluőumunda, araőtırılmasında, planlanmasında ve yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temellere oturmasını sağlayan Sayın Prof. Dr. Okan ÜNAL hocama teőekkürlerimi sunarım.

Rulman bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Mamul Dizayn ve Uygulama Müdürüm Sn. Tahir YILDIRIM'a; testlerin organizasyonu + yapılması, kayıtların alınması ve paylaşılması konusunda yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaőım Test Dizayn Şefi Sn. İbrahim TEMİZBAŐ' a, sonuçların derlenmesinde yardımcı olan çalışma arkadaőlarım Mamul Dizayn Mühendisi Sn. Ali Uęur ÖZÇINAR ve Sn. Bilal PEKDEMİR' e teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalıőmamda kurum imkanlarının kullanımını sağlayan Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ő. üst yönetimine teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	1
RULMAN ve ÇEŞİTLERİ.....	1
1.1. RULMAN TEMEL KOMPONENTLERİ	2
1.1.1. Dış Bilezik	2
1.1.2. İç Bilezik.....	2
1.1.3. Yuvarlanma Elemanları	3
1.1.4. Kafes	3
1.1.4.1. Sac Kafes	4
1.1.4.2. Plastik Kafes	4
1.1.4.3. Sac ve Plastik Kafesli Rulmanların Birbirlerine Üstünlükleri	5
1.1.4.4. Masif Kafes	6
1.1.5. Yağlama.....	6
1.1.5.1. Gres ile Yağlama.....	7
1.1.5.2. Sıvı Yağ ile Yağlama	7
1.1.5.3. Gres ve Sıvı Yağ ile Yağlamanın Karşılaştırması	8
1.2. RULMAN ÇEŞİTLERİ.....	8
1.2.1. Bilyalı ve Makaralı Rulmanların Birbirlerine Göre Üstünlükleri.....	10
1.3. BİLYALI RULMANLAR.....	10

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 2	11
LASTİK KAPAKLI BİLYALI RULMANLAR.....	11
2.1. ORS DİZAYNI LASTİK KAPAK.....	12
2.1.1. Lastik Kapaklı Rulmanlarda Gres Sızdırmazlık Testi	16
2.1.2. Dış Bilezikte Sıcaklık Değişimi Testi.....	17
2.1.3. Sürtünme Momenti Testi	18
BÖLÜM 3	21
SAC KAPAKLI BİLYALI RULMANLAR	21
3.1 ORS DİZAYNI.....	23
3.1.1. Sac Kapaklı Rulmanlarda Gres Sızdırmazlık Testi	27
3.1.2. Dış Bilezikte Sıcaklık Değişimi Testi.....	28
3.1.3. Sürtünme Momenti Testi	28
BÖLÜM 4	29
SONUÇLAR	29
KAYNAKLAR	32
ÖZGEÇMİŞ	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Rulman Komponentleri [1], [8]	2
Şekil 1.2. Rulmanlarda kullanılan yuvarlanma elemanları [1]	3
Şekil 1.3. Perçin bağlantılı sac kafes.....	4
Şekil 1.4. Plastik kafes örnekleri [1]	4
Şekil 1.5. Masif kafes örneği [1].....	6
Şekil 1.6. Rulman Çeşitleri [1].....	9
Şekil 1.7. Açık, Sac - Lastik Kapaklı Bilyalı Rulman Görselleri	10
Şekil 2.1. Lastik kapak kesit görünüş çizim örneği	11
Şekil 2.2. Lastik Kapak RSR ve RSR/1 kesit çizim görünüşü.....	13
Şekil 2.3. 6007 RSR ve 6007 RSR/1 dizayn lastik kapakların rulmandaki montaj pozisyonları	14
Şekil 2.4. 6007 RSR ve 6007 RSR/1 dizayn lastik kapak görseli.....	15
Şekil 2.5. 6007 RSR ve 6007 RSR/1 dizayn lastik kapaklara ait kesit görseli	15
Şekil 2.6. Rulman Universal Test Aparatı Görseli.....	16
Şekil 3.1. 6007 Z tipi sac kapak kesit çizim görünüşü.....	22
Şekil 3.2. 6007 Z ve 6007 ZR tipi sac kapak önden görünüş ve kesit çizim görünüşleri	24
Şekil 3.3. 6007 Z ve 6007 ZR dizayn sacların rulmandaki montaj pozisyonları	25
Şekil 3.4. 6007 Z ve 6007 ZR dizayn sac kapak görseli	26
Şekil 3.5. 6007 Z ve 6007 ZR dizayn sac kapaklara ait kesit görseli	26

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Gres ve sıvı yağ ile yağlama karşılaştırma çizelgesi [1].....	8
Çizelge 2.1. 6007 2RSR ve 6007 2RSR/1 rulmanlarda gres atma sonuç çizelgesi ...	17
Çizelge 2.2. 6007 2RSR ve 6007 2RSR/1 rulmanlarda dış bilezikte zaman-sıcaklık değişim çizelgesi	18
Çizelge 2.3. 6007 2RSR ve 6007 2RSR/1 rulmanlarda dış bilezikte zaman-sürtünme momenti değişim çizelgesi.....	19
Çizelge 3.1. 6007 ZZ ve 6007 2ZR rulmanlarda gres atma sonuç çizelgesi.....	27
Çizelge 3.2. 6007 ZZ ve 6007 2ZR rulmanlarda dış bilezikte zaman-sıcaklık değişim çizelgesi.....	28

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Nm : Newtonmetre

sn : Saniye

dak : Dakika

°C : Derece Santigrat

gr : Gram

dev : Devir

dak : Dakika

rpm : Devir/Dakika

μ : Mikron

KISALTMALAR

Z : Mevcut dizayn sac kapak

ZZ : Her iki tarafı mevcut dizayn sac kapaklı rulman

ZR : Geliştirilmiş dizayn sac kapak

2ZR : Her iki tarafı geliştirilmiş dizayn sac kapaklı rulman

RSR : Mevcut dizayn lastik kapak

2RSR : Her iki taraf mevcut dizayn lastik kapaklı rulman

RSR/1 : Geliştirilmiş dizayn lastik kapak

2RSR/1 : Her iki tarafı geliştirilmiş dizayn lastik kapaklı rulman

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASTM : American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

TS : Türk Standardı

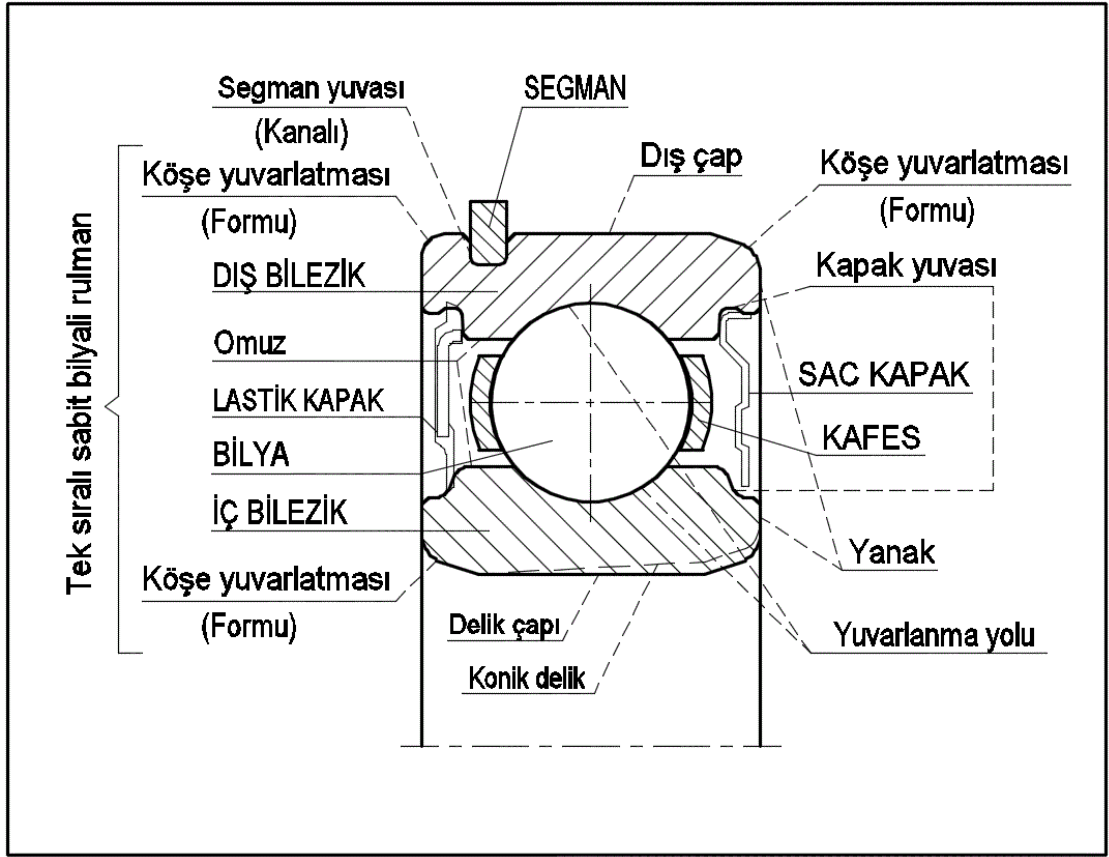
BÖLÜM 1

RULMAN ve ÇEŞİTLERİ

Rulman, birbirine göre farklı yönlerde dönen parçaların bu hareketi minimum sürtünme ile yapmasını sağlayan, daha az güç harcayarak, daha yüksek devirlere çıkabilmesine olanak sağlayan bir makine elemanıdır. Redüktörlerden vantilatörlere, pompalardan takım tezgahları millerine, otomobil sektöründe aks, şanzıman, kayış gergi sistemleri, alternatör ve direksiyon sistemlerinde, her çeşit elektrik motorunda, kısaca endüstriyel alanda rotasyon fonksiyonu olan her mekanik üniteye rulman kullanılır [8]. Rulmanlardan yüksek verim almak için çalışma yerine uygun rulman seçilmesi gerekir. Mükemmel bir rulman, mükemmel bir mekanizma yaratır.

Rulman ölçüleri, standartlar çerçevesinde belirlenmiş olmasına ilaveten çalışacağı yuvalar/yataklar ve miller/şaftlar için de değişik ölçülerde üretilebilir. Rulmanlar hassas makine elemanları oldukları için üretimleri yüksek teknoloji ve hassasiyet gerektirir.

Rulmanlar genellikle iki bilezik (dış – iç), yuvarlanma elemanları ve bir kafesten oluşur. İsteğe göre sac / lastik kapaklı, segmanlı, O-Ringli, muhafazalı vb komponentler de olabilir. Rulman komponentleri Şekil 1-1 de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Rulman Komponentleri [1], [8]

1.1. RULMAN TEMEL KOMPONENTLERİ

1.1.1. Dış Bilezik

Dış bilezik, makinanın yuva kısmına monte edilir ve genel olarak dönmez. Yuvarlanma yüzeyleri farklı formlardaki yuvarlanma elemanları ile beraber çalışırlar. Yuvarlanma elemanlarının çalıştığı bölgeye dış bilezik yuvarlanma yolu denir. Bu bölge yuvarlanma elemanının formuna uygun olarak dizayn edilir.

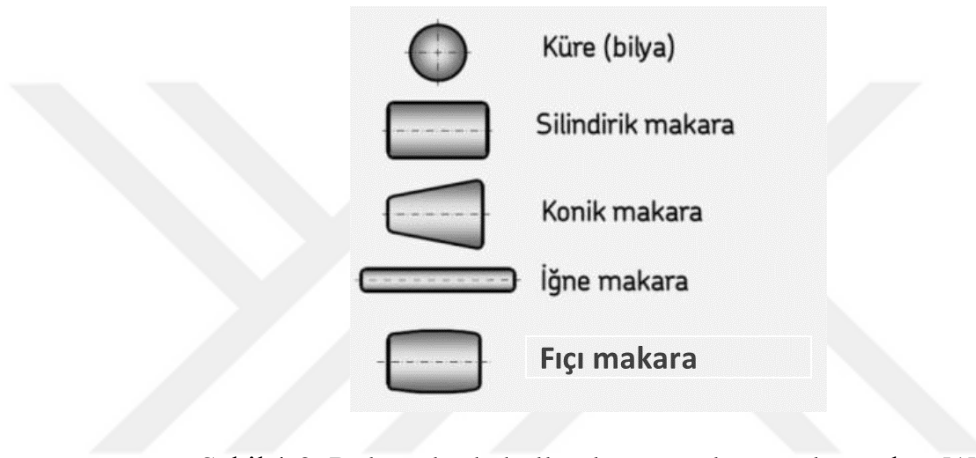
1.1.2. İç Bilezik

İç bilezik, mil üzerine monte edilir ve genel olarak dönen parçadır. İç bilezik deliği takıldığı milin formuna uygun olarak silindirik veya konik olabilir. Yuvarlanma yüzeyleri farklı formlardaki yuvarlanma elemanları ile beraber çalışırlar. Yuvarlanma

elemanlarının çalıştığı bölgeye iç bilezik yuvarlanma yolu denir. Bu bölge yuvarlanma elemanının formuna uygun olarak dizayn edilir.

1.1.3. Yuvarlanma Elemanları

Yuvarlanma elemanları bilya, silindirik makara, konik makara, fiçi makara ve iğne makara olabilir. Yuvarlanma elemanları iç bilezik ile dış bilezik yuvarlanma yolları arasında dönme hareketi yaparlar.



Şekil 1.2. Rulmanlarda kullanılan yuvarlanma elemanları [1]

1.1.4. Kafes

Kafes, dış ve iç bilezik yuvarlanma yolları arasında yuvarlanma elemanlarının eşit aralıklarda aralanmasını ve dönüş esnasında yuvarlanma elemanlarının birbirlerine sürtünmesini önleyen bir komponenttir. Yuvarlanma elemanlarının formlarına uygun olarak dizayn edilir. Kafes kuvvet iletiminde rol almaz.

Kafesler malzemelerine göre aşağıdaki şekillerde gruplandırılırlar:

1.1.4.1. Sac Kafes



Şekil 1.3. Perçin bağlantılı sac kafes

Sac presleme operasyonu ile üretilirler. 1 adet perçin çakılmış sac kafes, 1 adet perçinsiz sac kafes ile eşleştirilip, perçinlerinin bir pres yardımıyla preslenerek montajı yapılan kafes çeşitidir. Rulmanda en çok kullanılan kafes tipidir. Standart kafes malzemesi olarak derin çekme sac (Örnek: DC01-DC03-DC04) kullanılır. İdeal olarak 150°C sıcaklığa kadar kullanılabilir. [1]

1.1.4.2. Plastik Kafes



Şekil 1.4. Plastik kafes örnekleri [1]

Şekil 1-4 'de farklı dizaynlarda rulman plastik kafesleri verilmiştir. Plastik kafesler rulmanın yuvarlanma elemanı geometrisi, rulman devir sayısı, sürtünmeyi azaltıcı etkiler gibi değişkenlere göre dizayn edilirler. Plastik kafesler plastik enjeksiyonla üretilirler.

Rulman çalışma sıcaklığına paralel olarak plastik malzeme kullanılır:

Malzeme genel adı PA6.6 GF0 . Cam yünü takviyesiz plastik kafes (GF0): 115°C sıcaklığa kadar kullanılabilir.

Malzeme genel adı PA6.6 GF25 . Cam yünü takviyeli plastik kafes (GF25): 150°C sıcaklığa kadar kullanılabilir.

Malzeme genel adı PA4.6 GF25 . Cam yünü takviyeli plastik kafes (GF25): 170°C sıcaklığa kadar kullanılabilir.

Malzeme genel adı PA4.6 GF30 . Cam yünü takviyeli plastik kafes (GF30): 170°C sıcaklığa kadar kullanılabilir.

1.1.4.3. Sac ve Plastik Kafesli Rulmanların Birbirlerine Üstünlükleri

Plastik kafesli rulmanlar, sac kafesli rulmanlara göre daha sessiz döner. Ses, titreşim vb sönümleyici özelliği nedeniyle sessizliğin önem arzeden çalışma koşulunda plastik kafes kullanılır.

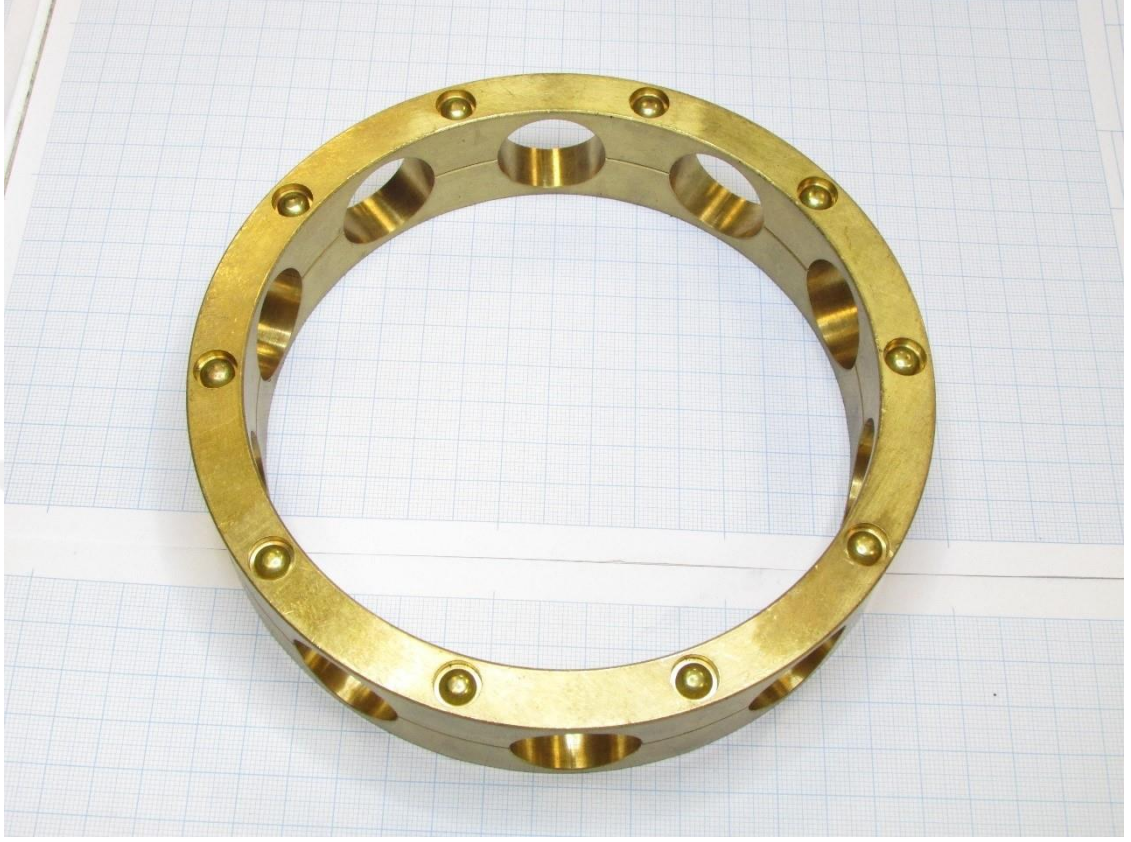
Plastik kafesli rulmanlar, sac kafesli rulmanlara göre daha yüksek devirlere çıkar.

Plastik kafesli rulmanlar, sac kafesli rulmanlara göre daha az ısınır.

Plastik kafes, sac kafese göre daha hafif olduğu için plastik kafesli rulman sac kafesli rulmana göre daha hafiftir.

Plastik kafes montajı el ile yapılabilirken, sac kafes montajı için aparat, pres vb gerekmektedir. Dolayısıyla montaj kolaylığı vardır.

1.1.4.4. Masif Kafes



Şekil 1.5. Masif kafes örneği [1]

Masif kafesler pirinç malzemedен (Ms58) işlenerek imal edilir. Şekil 1-5 de görüldüğü gibi 2 adet simetrik parça, perçinler yardımıyla birleştirilerek kullanıldığı gibi dizaynına göre tek parça olarakta imal edilebilir. Takıldığı cihazın çalışmasının dolayısıyla rulman çalışmasının önem arz eden çalışma durumunda masif kafes kullanılabilir (Örneğin sac kafes kırılma problemi yaşanan durumlarda, tünel havalandırma motorlarında). Diğer kafes çeşitlerine göre daha blok/rijit olduğu için kafes kırılma problem yaşanmaz.

1.1.5. Yağlama

Rulmanların güvenilir çalışması için, bilyalar ve yuvarlanma yolları arasında direkt metal temasını ve yüzeylerin aşınmasını önlemek amacıyla uygun bir şekilde yağlama yapılmalıdır. Bu nedenle uygun yağın seçimi, yağlama metodu vb unsurlar önemlidir.

Rulmanların yağlanması için gresler, sıvı yağlar ve bazı özel durumlarda da katı yağlar kullanılabilir. Yağlama, sürtünmeyi dolayısıyla aşınmayı azaltır ve paslanmayı önler. Yağ, soğutma ve sızdırmazlık görevini de üstlenebilir (dışarıdan kirliliğin girmesini önlemek amacıyla). Taşıyıcı özelliğe sahip bir yağ filminin oluşması genelde rulman yüküne, devir sayısına, yağın çalışma viskozitesine ve rulman büyüklüğüne bağlıdır.

Yağ seçiminde sadece teorik hesaplarla bulunan değerleri (temas yüzeylerinin mikro ve makro geometrileri, yuvarlanma teması anındaki yağlama durumu gibi) almamak, bunlara ek olarak tecrübe değerlerine de yer vermek gerekir. Özellikle yüksek basınç katkı maddeleri (EP katkıları: Çok ağır yük altında parça (dişli, rulman vb.) yüzeylerinde aşınmayı en aza indiren kimyasal katık.) ihtiva eden yağ kimyevi reaksiyona giriyorsa bu konu daha da önem kazanır.

1.1.5.1. Gres ile Yağlama

Gresler, katkı maddeleri ile kalınlaştırılarak elde edilen madeni veya sentetik yağlardır. Kalınlaştırma maddeleri genellikle lityum, kalsiyum, sodyum bazlı sabunlardır. Gres ile yapılan yağlama, rulmanlarda kullanılan en yaygın yağlama şeklidir ve bu oran tüm uygulamaların %90' ı civarındadır. Bu durumda yatak yeri ve sızdırmazlık tasarımı daha basit ve ekonomiktir. Genel olarak imalat esnasında rulmana konulan gres, rulmanın tüm çalışma ömrü için yeterlidir.

Rulman içerisine konulacak gres miktarı kullanıcı isteğine göre değişmekle beraber genel olarak rulman iç hacminin %20-%30' u arasındadır. Özel uygulamalarda bu değerler değişebilir. Örneğin yüksek hızlarda gres miktarı azaltılır; kirliliğin ve çalışma devrinin düşük olduğu ortamlarda gres miktarı artırılır [1].

1.1.5.2. Sıvı Yağ ile Yağlama

Sıvı yağ ile yağlama genellikle yüksek hız veya çalışma sıcaklığının gres kullanımına uygun olmadığı zamanlarda uygulanır. Ayrıca az sürtünme ve rulmanlardaki sıcaklığın

dışarı atılması, gürültü ve vibrasyon azaltması gerektiğinde sıvı yağ ile yağlama yapılır [1].

1.1.5.3. Gres ve Sıvı Yağ ile Yağlamanın Karşılaştırması

Gres ve sıvı yağ ile yağlamanın, karşılaştırma parametrelerine karşı özellikleri aşağıda Çizelge 1-1 de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Gres ve sıvı yağ ile yağlama karşılaştırma çizelgesi [1].

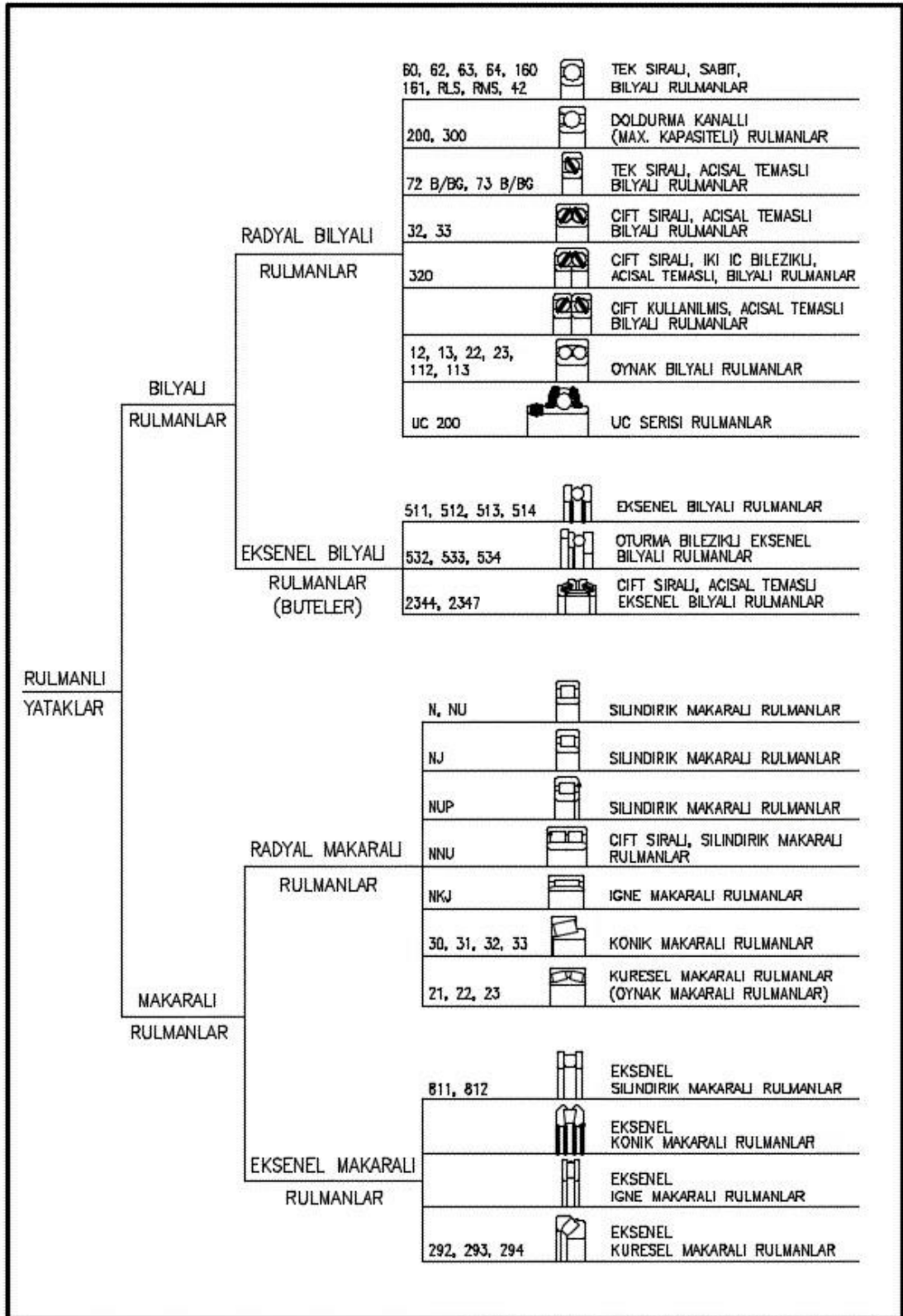
Karşılaştırma Parametreleri	Gres ile Yağlama	Sıvı Yağ ile Yağlama
Sızdırmazlık Elemanı	Kolay	Biraz komplekstir ve bakım önemlidir.
Yağlama Yeteneği	İyi	Mükemmel
Çalışma Devri	Düşük-Orta-Yüksek hızlarda	Çok yüksek hızlarda
Yeniden Yağ Basma Özelliği	Biraz problemlidir	Kolay
Yağlayıcının Ömrü	Kullanıldığı rulmanın ömrü kadar	Uzun
Soğutma Etkisi	Soğutma etkisi yok	Sirkülasyon olması halinde soğutma iyi
Kirliliğin Filtre Edilmesi	Mümkün değil	Kolay

1.2. RULMAN ÇEŞİTLERİ

Rulmanlar, yuvarlanma elemanlarının tipine bağlı olarak, bilyalı rulmanlar ve makaralı rulmanlar olarak iki ana gruba ayrılır.

Her iki grup içerisinde de ana yükün yönüne bağlı olarak radyal ve aksiyel bilyalı rulmanlar; radyal ve aksiyel makaralı rulmanlar olarak sınıflandırılır.

Bu ayırım Şekil 1-6 da Rulman Çeşitleri olarak verilmiştir.



Şekil 1.6. Rulman Çeşitleri [1].

1.2.1. Bilyalı ve Makaralı Rulmanların Birbirlerine Göre Üstünlükleri

1. Bilyalı rulmanda bilya yuvarlanma yollarına noktasal, makaralı rulmanda makara yuvarlanma yoluna çizgisel temas eder.
2. Temas farkı nedeniyle bilyalı rulman, makaralı rulmana göre daha yüksek devirlerde çalışır.
3. Temas farkı nedeniyle bilyalı rulman, makaralı rulmana göre daha sessiz çalışır.
4. Makaralı rulmanın yük taşıma kapasiteleri (Coiso: Statik , Ciso: Dinamik) , bilyalı rulman yük taşıma kapasitelerinden yüksektir.

1.3. BİLYALI RULMANLAR



Şekil 1.7. Açık, Sac - Lastik Kapaklı Bilyalı Rulman Görselleri

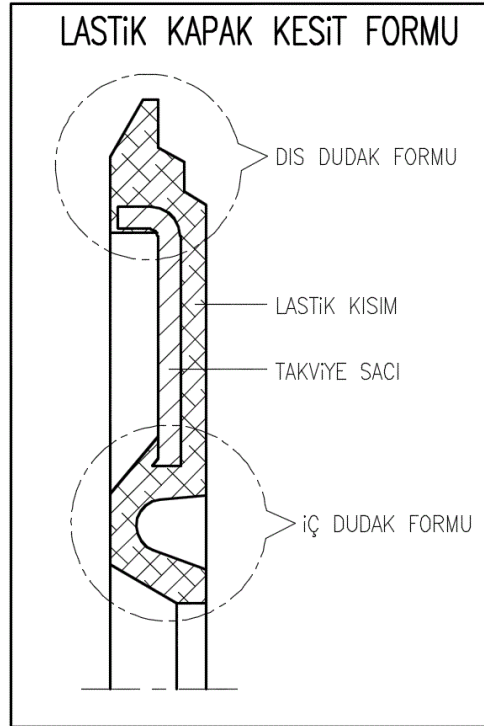
Bilyalı rulmanlar kullanım yerine göre açık, lastik kapaklı (tek veya çift lastik kapaklı), sac kapaklı (tek veya çift sac kapaklı), bir tarafı açık diğer tarafı lastik / sac kapaklı ve bir tarafı lastik kapaklı diğer tarafı sac kapaklı olarak kullanılabilir [1]

BÖLÜM 2

LASTİK KAPAKLI BİLYALI RULMANLAR

Lastik kapaklı rulmanlar, sızdırmazlığın önem arz eden yerlerde kullanılır. Rulman içerisindeki gresin dışarı kaçmasını ve rulman içine dışarıdan gelebilecek toz veya yabancı maddelerin girmesini önlemek için kullanılır.

Lastik kapak, rulman performansını etkileyen önemli komponentlerden birisidir. Lastik kapak genellikle dış bilezik kapak yuvasına yatakları / sabitlenir, dizayna göre iç bileziğe veya iç bileziğe açılan kapak yuvasına sürtünme uygulanır (Özel dizaynlarda bunun tam terside olabilmektedir.). Lastik kapağın dış bileziğe yuvalanan / sabitlenen kısmı dış dudak formu , iç bileziğe sürtünen kısmı lastik kapak iç dudak formu olarak isimlendirilmektedir. Lastik kapak montajı kalıp veya elle yapılabilir .



Şekil 2.1. Lastik kapak kesit görünüş çizim örneği

Lastik kapak Şekil 2-1 de görüldüğü gibi 2 kısımdan oluşur:

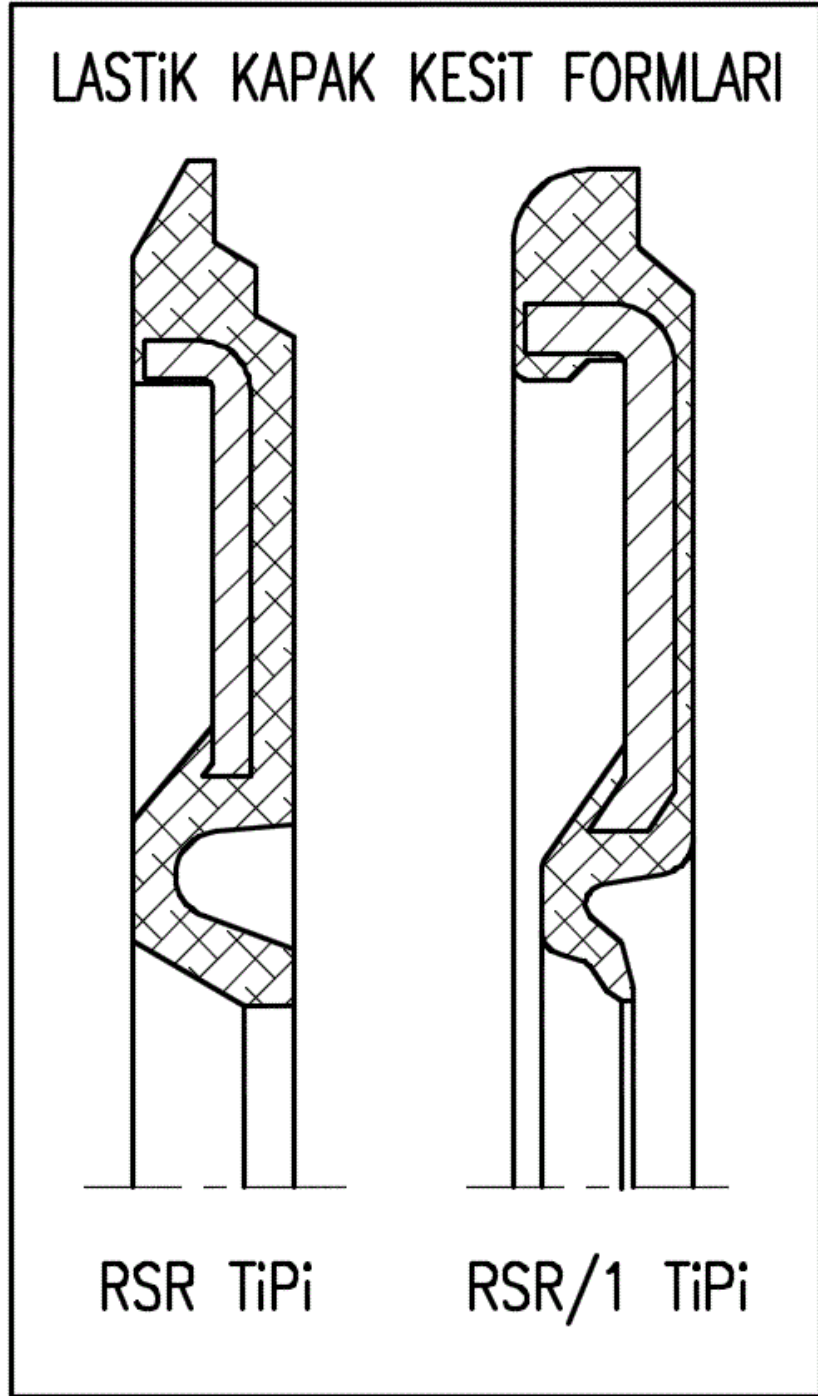
1. Takviye Sacı Lastik kapakta gövde vazifesi gören derin çekilebilir sac dan yapılmış iskelet kısımdır.
2. Lastik Kısım Takviye sacına sıvanmış, elastomer malzemeden oluşan, elastik kısımdır. Rulman çalışma sıcaklığına bağlı olarak farklı lastik malzemeleri mevcuttur.

Lastik kapak iç dudak formu, rulman performansına etki eden en önemli kısımdır. Bu performans içinde rulman gres sızdırmazlığı, rulman ısınması, rulman sürtünme momenti yer almaktadır. Rulman imalatçıları bazında çok çeşitli iç dudak formları kullanılmakta olup, bu sayede birbirlerine göre üstünlük sağlamaktadırlar.

2.1. ORS DİZAYNI LASTİK KAPAK

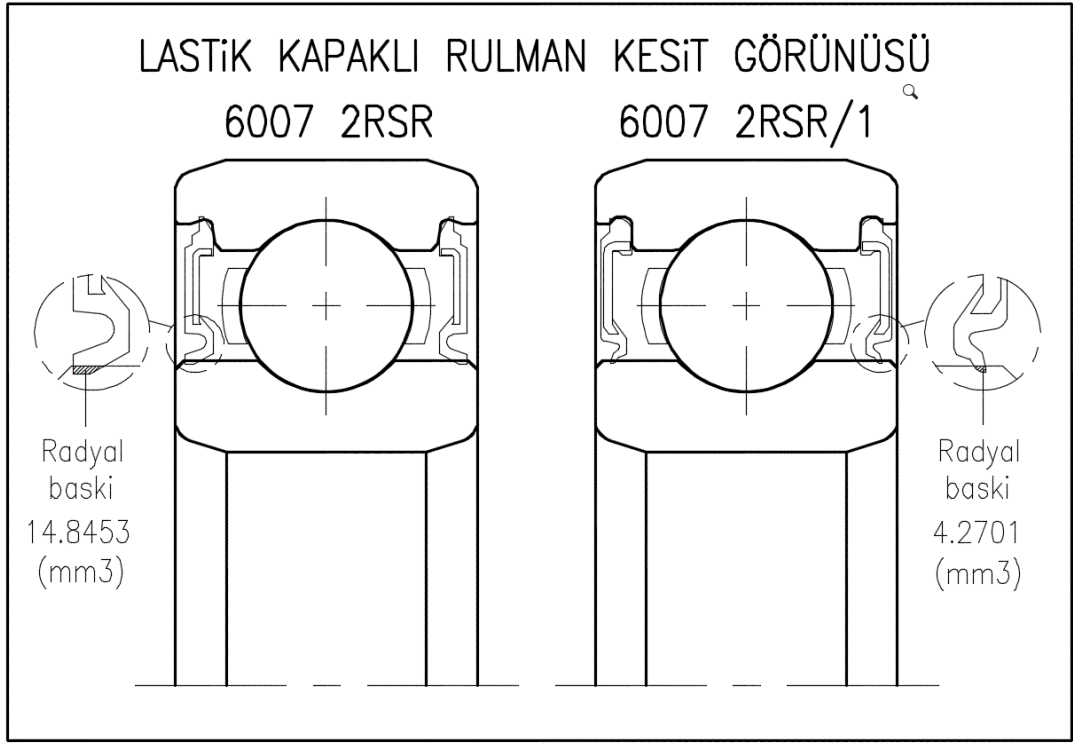
ORS arşivinde bulunan lastik kapaklı rulmanlarda çok çeşitli lastik kapak iç dudak formları mevcuttur. ORS 6007 2RS rulmanda (RS: Rubber Seal) kullanılan lastik kapak iç dudak formu RSR dir (BKNZ Şekil 2-1). Bu dizaynda lastik kapak iç dudak formu, iç bilezik omuzuna radyal yönde temas eder. Kullanılan lastik malzeme NBR (Nitrile Butadiene Rubber) dir. Kısaca nitril olarak söylenmektedir [10], [11] .

Rulman performansını artırmak, gelebilecek müşteri üst beklentilerini karşılamak amacıyla 6007 rulmanda kullanılan RSR iç dudak formunda geliştirme çalışmalarına başlanmıştır. Konu ile ilgili literatür araştırmaları [9] , benchmarking çalışmaları yapılmıştır [1], [2], [3], [4], [5], [6] . Tüm çalışmalar değerlendirilerek, isim olarak farkındalık yaratmak amacıyla RSR/1 iç dudak dizaynı oluşturulmuştur. Lastik kapak montajını da geliştirmek amacıyla lastik kapak dış dudak formunda da dizayn değişikliği yapılmıştır. Lastik kapak mukavemetini arttırmak amacıyla (düzlemsellik, çarpılma, flambaj vb) takviye sac kalınlığı 0.3 → 0.4 mm olarak değiştirilmiştir. İç bilezik dizaynında (lastik kapağın bastığı / oturduğu yerde) hiçbir değişiklik yapılmamıştır. RSR/1 dizaynında dış dudak formunun değişmesi çerçevesinde dış bilezik kapak yuvasında da dizayn değişikliği yapılmıştır. Kullanılan lastik malzemesi aynı şekilde NBR (nitril) seçilmiştir (Şekil 2-2).



Şekil 2.2. Lastik Kapak RSR ve RSR/1 kesit çizim görünüşü

Bu 2 dizaynın rulmandaki pozisyonu Şekil 2-2 de verilmiştir.



Şekil 2.3. 6007 RSR ve 6007 RSR/1 dizayn lastik kapakların rulmandaki montaj pozisyonları

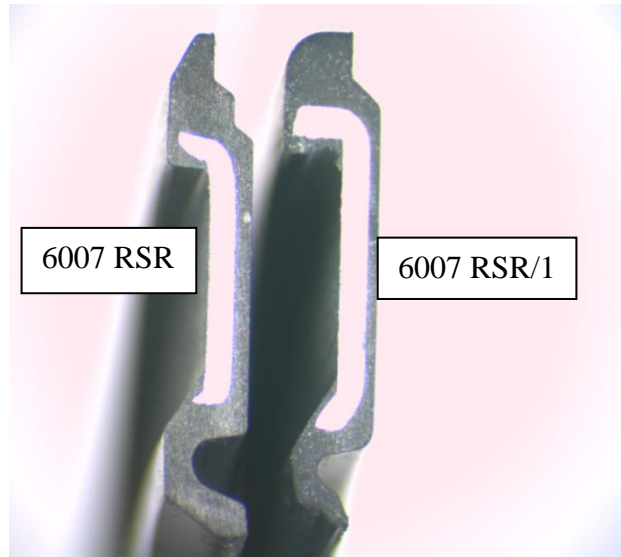
RSR dizaynında lastik kapak iç dudak formunun iç bilezik omuzunda yaptığı radyal yöndeki baskı hacmi çevre boyunca 14.8453 mm³ tür. RSR/1 dizaynında bu hacim 4.2701 mm³ düşürülmüştür. Bu baskıları belirlerken, daha önce yapılmış deneysel ve analitik yöntemlerle yapılmış çalışmalar göz önüne alınmıştır. [14], [16].

Rulman fonksiyon testlerini yapmak amacıyla lastik kapak tedaricimizden RSR/1 lastik kapak dizaynında numune kalıp ile 500 adet önseri imalat yaptırılmıştır.

Numune kapaklarda yapılan giriş kontrolünde lastik kapakların yeni dizayn resme göre ölçüsel olarak uygunluğu teyid edilmiş, mevcut Lastik Kapak Spesifikasyonunda belirtilen şartları sağladığı görülmüştür.



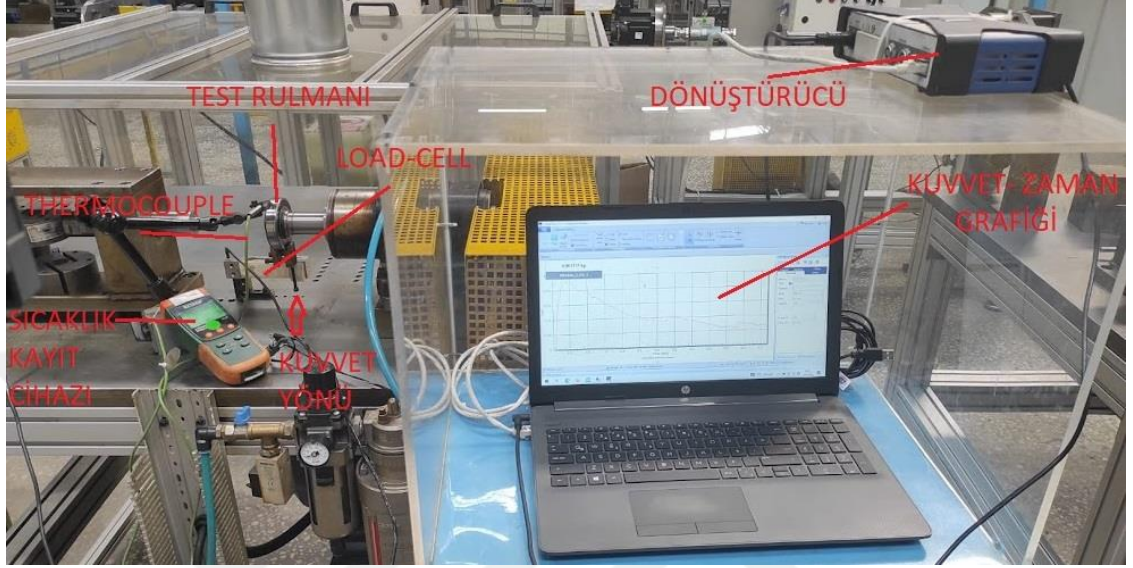
Şekil 2.4. 6007 RSR ve 6007 RSR/1 dizayn lastik kapak görseli



Şekil 2.5. 6007 RSR ve 6007 RSR/1 dizayn lastik kapaklara ait kesit görseli

RSR/1 lastik kapak dış dudak formunda değişmesi nedeniyle bu forma uygun dış bilezik kapak yuvalı 500 adet önseri imalat yaptırılmıştır.

Daha sonra mevcut RSR ve yeni dizayn RSR/1 lastik kapaklı rulmanlarda fonksiyon testlerine (gres sızdırmazlık testi, dış bilezikte sıcaklık değişimi testi, sürtünme momenti testi) başlanmıştır. Test Düzeneği Şekil 2-6 da verilmiştir.



Şekil 2.6. Rulman Universal Test Aparatı Görşeli

Test Şartları aşağıda verilmiştir:

1. Test Cihazı : Rulman Universal Test Aparatı
2. Test Süresi : 30 dakika
3. Test Devri : 3000 rpm
4. Test Sıcaklığı : Oda Sıcaklığı / 23°C

2.1.1. Lastik Kapaklı Rulmanlarda Gres Sızdırmazlık Testi

3 er adet 6007 2RSR (mevcut dizayn lastik kapaklı) ve 6007 2RSR/1 (geliştirilmiş dizayn lastik kapaklı) rulmanlar yukarıda belirtilen test şartlarında gres sızdırmazlık testine alınmıştır. Her 2 grupta test öncesi ve test sonrası rulman ağırlık ölçümleri yapılarak ağırlık değişimleri hesap edilmiştir.

Çizelge 2.1. 6007 2RSR ve 6007 2RSR/1 rulmanlarda gres atma sonuç çizelgesi

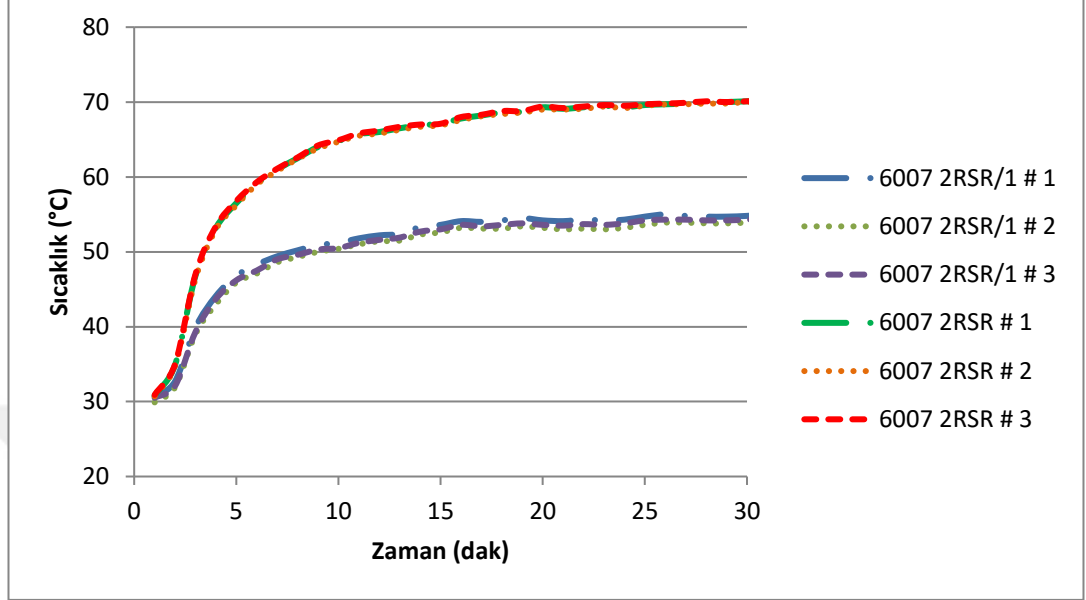
Rulman Tipi	Rulman No	Test Öncesi Ağırlık (gr)	Test Sonrası Ağırlık (gr)	Gres Atma Miktarı/ Ağırlıktaki Değişim (gr)	Ortalama (gr)
6007 2RSR	1	151,53	151,47	0,06	
6007 2RSR	2	151,61	151,56	0,05	0,06
6007 2RSR	3	151,58	151,51	0,07	
6007 2RSR/1	1	151,94	151,92	0,02	
6007 2RSR/1	2	151,98	151,97	0,01	0,013
6007 2RSR/1	3	151,91	151,9	0,01	

6007 2RSR rulmanlarda görsel olarak çok hafif miktarda gres atma görülmüştür. 6007 2RSR/1 rulmanlarda görsel olarak gres atma görülmemiş, sadece ağırlık olarak çok az miktarda değişim ölçülmüştür.

2.1.2. Dış Bilezikte Sıcaklık Değişimi Testi

3 er adet 6007 2RSR (mevcut dizayn lastik kapaklı) ve 6007 2RSR/1 (geliştirilmiş dizayn lastik kapaklı) rulmanlar belirtilen test şartlarında dış bilezikte ısınma testine alınmıştır. Rulman dış bileziğinin dış çapına termokupl konularak zamana göre dış bilezikte ölçülen sıcaklık değişimleri kayıt altına alınmıştır.

Çizelge 2.2. 6007 2RSR ve 6007 2RSR/1 rulmanlarda dış bilezikte zaman-sıcaklık değişim çizelgesi

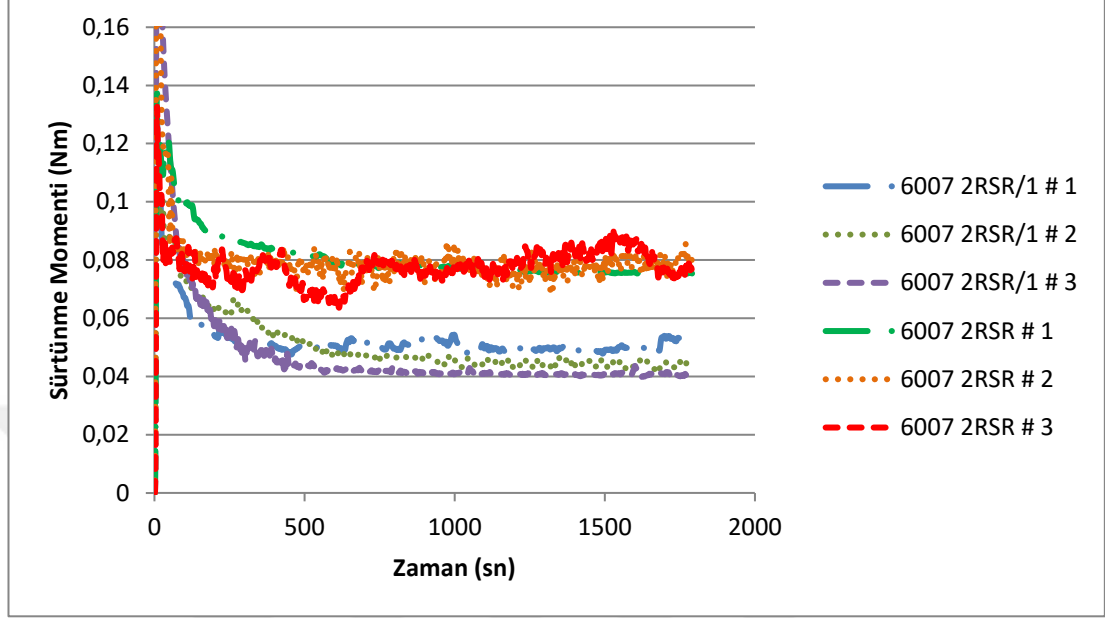


6007 2RSR rulmanlarda 25 dakika sonunda dış bilezikte sıcaklık ortalama olarak 70°C da sabitlerken, 6007 2RSR/1 rulmanlarda ise ortalama olarak 55°C da sabitlemiştir.

2.1.3. Sürtünme Momenti Testi

3 er adet 6007 2RSR (mevcut dizayn lastik kapaklı) ve 6007 2RSR/1 (geliştirilmiş dizayn lastik kapaklı) rulmanlar belirtilen test şartlarında sürtünme testine alınmıştır. Test esnasında lastik kapak iç dudak yüzeyi ile iç bilezik omuz çap yüzeyi arasında zamana göre değişen sürtünme momenti ölçümü yapılmıştır [18], [20] [22].

Çizelge 2.3. 6007 2RSR ve 6007 2RSR/1 rulmanlarda dış bilezikte zaman-sürtünme momenti değişim çizelgesi



6007 2RSR rulmanlarda 30 dakika sonunda sürtünme momenti ortalama 0.08 Nm, 6007 2RSR/1 rulmanlarda ise ortalama 0.045 Nm olarak ölçülmüştür.

Sarıgöz vd. (2021), makalelerinde farklı sıklık değerlerindeki lastik kapakların, (200 μm , 160 μm , 105 μm , 45 μm) sürtünmeye ve rulman performansına etkisini deneysel ve sonlu elemanlar analizi metodu ile incelemiş sonuç olarak kapak sıklığının rulmanın ömrüne etkisinin büyük olduğunu bulup, sıklık arttıkça çalışma sıcaklığı ve sürtünme artarken rulman ömründe azalma olduğunu tespit etmiştir.

Rulmanlarda eğer temaslı lastik kapaklar kullanılıyorsa sürtünmeye etkisi büyüktür. Takimoto vd. (2011) makalelerinde porya rulmanı için oluşan sürtünme kaybının %50-60 kapaktan kaynaklandığını tespit etmiştir. Bu sebeple çalışmalarında farklı lastik kapak tasarlayarak rulmanlardaki sürtünme kaybını düşürmeyi hedeflemişlerdir. Yapılan sürtünme momenti testi sonucunda %70 lik bir iyileşme tespit edilmiştir.

T.Sada (2017), makalesinde sürtünme kayıplarını incelemiş farklı operasyonel şartlarda kullanılan rulmanlarda sürtünmeye sebep olan unsurları ve bunlar için sürtünme kayıplarını azaltacak yöntemlerden bahsetmiştir.

Balcı (2019), tezinde rulmanın iç geometrisinde ve kapak tasarımında yaptığı değişimlerin rulmanda sürtünmeye etkilerini incelemiştir. Yaptığı değişiklikler özetle iç, dış yuvarlanma yolu radyusları, gres tipi, gres dolum oranı, kafes tipi gibi değişikliklerdir. Yapılan sürtünme momenti testleri sonucu olarak test ettiği 6209 elektrik motoru rulmanında sürtünmeye sırasıyla iç bilezik, dış bilezik yuvarlanma yolu radyusu, gres dolum oranı, kafes tipi değişkenlerinin etki ettiğini tespit etmiştir.

Duncan (1999) ve Shahzad vd. (2015), makalelerinde kapak malzemelerinde de kullanılan elastomer malzemenin fiziksel ve hiperelastik özelliklerini belirlemeye yarayan, tek eksenli çekme testi, çift eksenli çekme testi, düzlemsel çekme testlerinden bahsedip bu testlerden elde ettiği değerleri karşılaştırmıştır.

Uysal (2016), çalışmasında farklı sıklık değerlerinde yataklanan tek sıra sabit rulmanlardaki sürtünmeden kaynaklanan kayıplar ve sıcaklık artışları deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada deney numunesi olarak 6206 serisi rulmanlar kullanılmıştır. Deneyler bu çalışma için özel hazırlanmış deney setinde gerçekleştirilmiştir. Güç kaybı ölçümleri motordan çekilen akım değerinin tespitiyle yapılmıştır. Sıcaklık ölçümleri rulmanların dış bilezikleri üzerinden termokupl yardımıyla ölçülmüştür. Elde edilen değerlerle grafikler oluşturulmuştur. Alınan sonuçlara göre sıklık değerlerinin artmasıyla çekilen gücün ve rulman üzerindeki sıcaklığın arttığı gözlemlenmiştir.

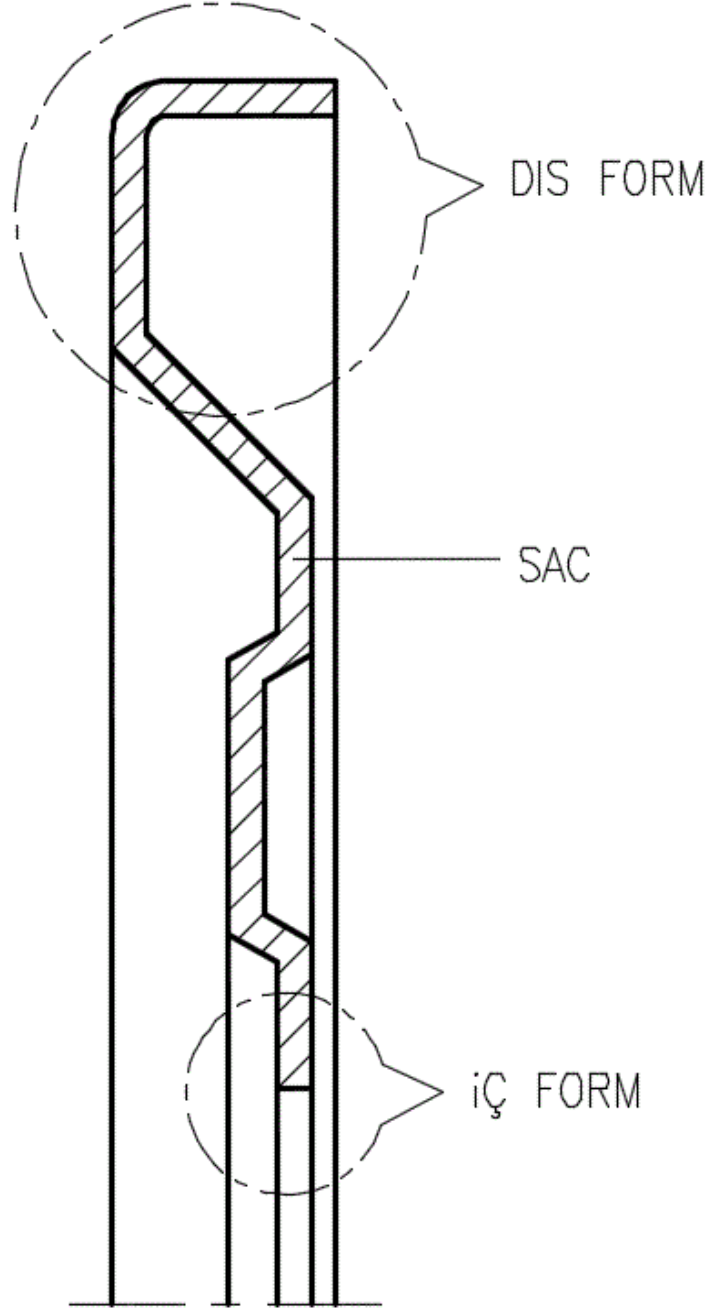
BÖLÜM 3

SAC KAPAKLI BİLYALI RULMANLAR

Sac kapak, rulman içerisindeki gresin içeride kalmasını sağlamak için dış / iç bileziğe sabitlenen bir komponenttir. Ayrıca rulman içine dışarıdan gelebilecek büyük boyuttaki yabancı maddelerinde (taş, toprak vb) girmesini önlemek için kullanılır. Sızdırmazlıkları lastik kapağa oranla yetersizdir, dolayısıyla çalışma ortamının temiz olması gerekmektedir.

Sac kapak genellikle dış bilezik kapak yuvasına yataklanır / sabitlenir, iç bilezikle herhangi bir teması yoktur (Özel dizaynlarda bunun tam terside olabilmektedir.). Dolayısıyla lastik kapaklı rulmana göre daha yüksek devirlerde çalışır. Sürtünme olmaması nedeniyle lastik kapaklı rulmana göre daha az ısınır. Lastik kapağa oranla daha ekonomiktir. Sac kapak montajı için kalıp, pres gerekir. Dış bileziğe yuvalanan / sabitlenen kısmı dış form , iç çap tarafıda iç form olarak isimlendirilmektedir.

SAC KAPAK KESİT FORMU



Şekil 3.1. 6007 Z tipi sac kapak kesit çizim görünüşü

Sac kapak dış formu, sac kapağın montajlanacağı yerde yataklanmasını / tutunmasını etkileyen bir formdur. İç form ise rulman içerisindeki gresin kalmasına / tutunmasına etki eden bir formdur. Rulman imalatçıları bazında sac kapak dış - iç formları farklılıkları olmakta, bu da rulman kalitesine etki etmektedir.

3.1 ORS DİZAYNI

ORS de kullanılan sac kapak malzemesi derin şekillendirilebilir sacdır. ORS arşivinde bulunan sac kapaklı rulmanlarda çeşitli sac kapak dış - iç formları mevcuttur. ORS 6007 ZZ rulmanda kullanılan sac kapak Z tipi olarak isimlendirilmektedir (BKNZ Şekil 3-1). Bu dizaynda sac kapak dış formu L şeklinde olup blok / rijit haldedir.

Sac kapaklar, kendileri için açılan yuvalara montaj kalıbı ve pres yardımıyla montajlanır. Montajlama sonrasında sac kapağın kapak yuvasında dönme yapmaması, dizayn edilen montaj çökme tolerans değerleri (dış / iç bilezik yanak ile sac kapak yüzeyi arasındaki derinlik) içinde olması istenir.

Rulman dış bileziğinde yapılan ısıl işlem sonrası kapak yuvası çaplarında büyümeler olmakla beraber ovallikler ve koniklikler meydana gelmektedir. Aşırı ovallikler ve koniklikler nedeniyle sac kapağın montajında problemler yaşanabilmektedir. Aşırı ovallikler ve koniklikler nedeniyle sac kapak dış çapı, çevre boyunca kapak yuvasının bazı kısımlarına sıkı, bazı kısımlarına normal, bazı kısımlarına da boşluklu montajlanabilmektedir. Bu da sac kapağın dış bilezik kapak yuvasında homojen olmayan montajlanmasına neden olmaktadır. Ayrıca bununla beraber rulman dış çapında ovallik, koniklik oluşmakta, tolerans dışı ölçüler ölçülebilmektedir.

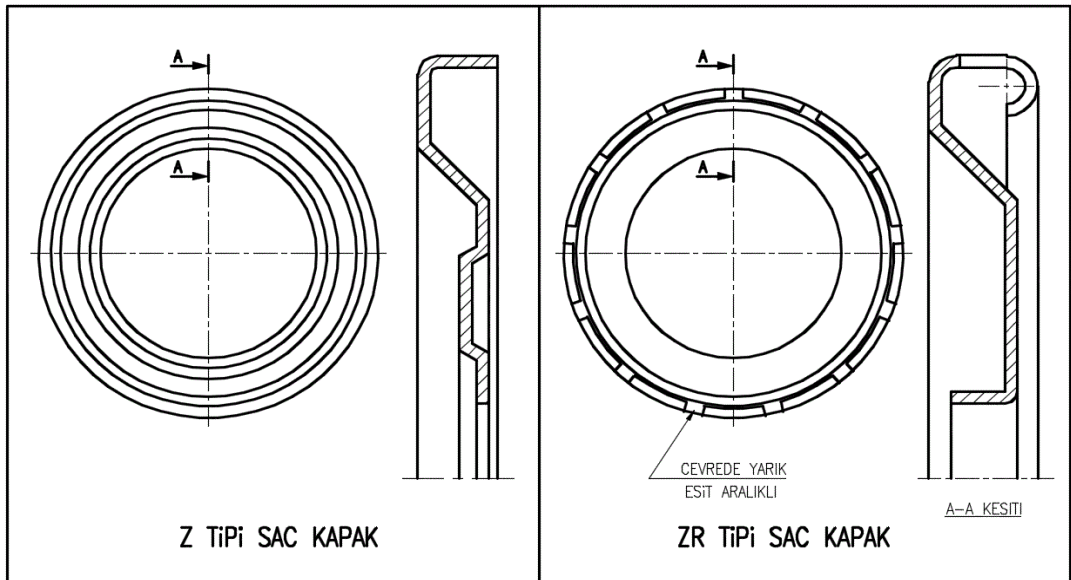
Sac kapak iç formunun Şekil 3-1 de ki gibi düz olması durumunda, rulman içerisindeki gresin akıcılık özelliği, rulmanın çalışması nedeniyle ısınması sonucunda akıcılığının artması vb nedenlerle dışarıya sızma tehlikesi vardır. Bu da rulmanın belli bir süre sonra yağlayıcısız kalmasına ve erken arızalanmasına neden olabilecektir.

Rulman performansını artırmak, gelebilecek müşteri üst beklentilerini karşılamak amacıyla 6007 rulmanda kullanılan sac kapak dizaynında geliştirme çalışmalarına

başlanmıştır. Konu ile ilgili literatür araştırmaları, benchmarking çalışmaları yapılmıştır [1], [2], [3], [4], [5], [6]. Tüm çalışmalar değerlendirilerek, isim olarak farkındalık yaratmak amacıyla ZR sac kapak dizaynı hazırlandı. Bu dizaynda sac kapağın dış bilezik kapak yuvasında homojen ve kuvvetli bir şekilde tutunmasını sağlamak amacıyla 13 adet yarık açılması (uygulanan yarık sayısı, sac kapağın oturacağı yuvanın çapına göre değişebilmektedir.), her yarığın birbirinden bağımsız hareket etmesi çerçevesinde takıldığı kapak yuvası çapının çevre boyunca değişimine uygun olarak montajlanacağı düşünülmüştür. Bu sayede sac kapak dış formunun, dış bilezik kapak yuvasına çevre boyunca homojen bir şekilde yataklanacağı hedeflenmiştir. Böylece rulman dış çapında yapılan ölçümlerde ovallik değerlerinin, mevcut dizayn rulman ölçülerine göre daha düşük ölçüleceği öngörülmüştür.

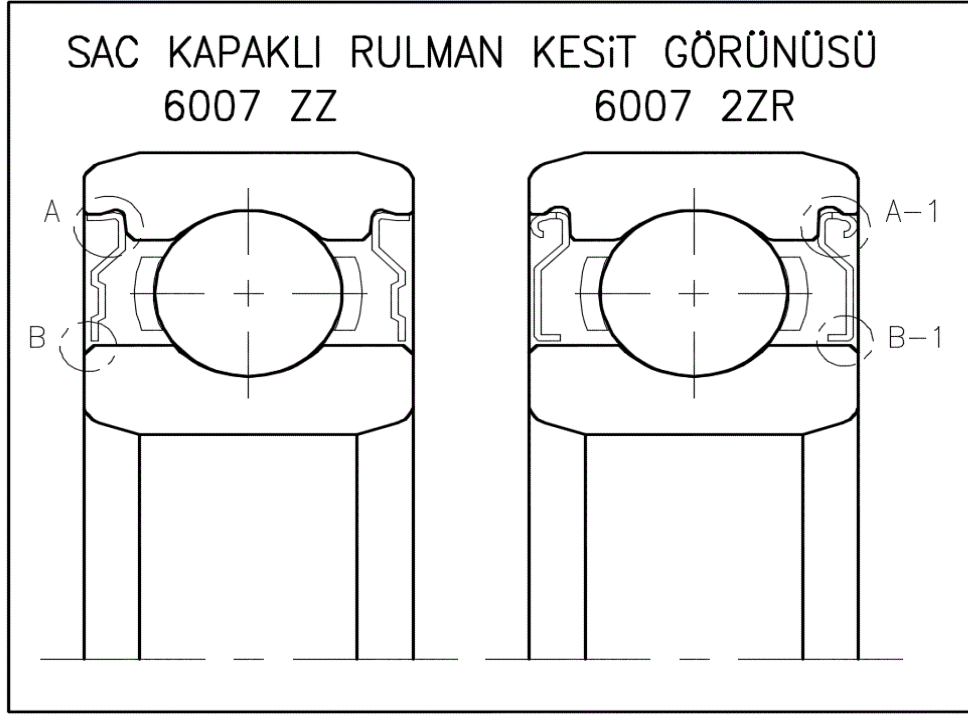
Yeni dizayn sac kapak iç formuna yapılan 90° lik büküm yapılarak rulman çalışma anında gresin sac kapak orta bölgesine çarparak büküm sayesinde tekrar rulman içine girmesi düşünülmüş, böylelikle gresin dışarıya sızma riskiyle rulmanın yağlayıcısız kalarak arızalanma probleminin ortadan kaldırılacağı hedeflenmiştir.

Mevcut ve yeni dizayn sac kapaklara ait kesit formları Şekil 3-2 de verilmiştir.



Şekil 3.2. 6007 Z ve 6007 ZR tipi sac kapak önden görünüş ve kesit çizim görünüşleri

Bu 2 dizaynın rulmandaki pozisyonu Şekil 3-3 de verilmiştir.

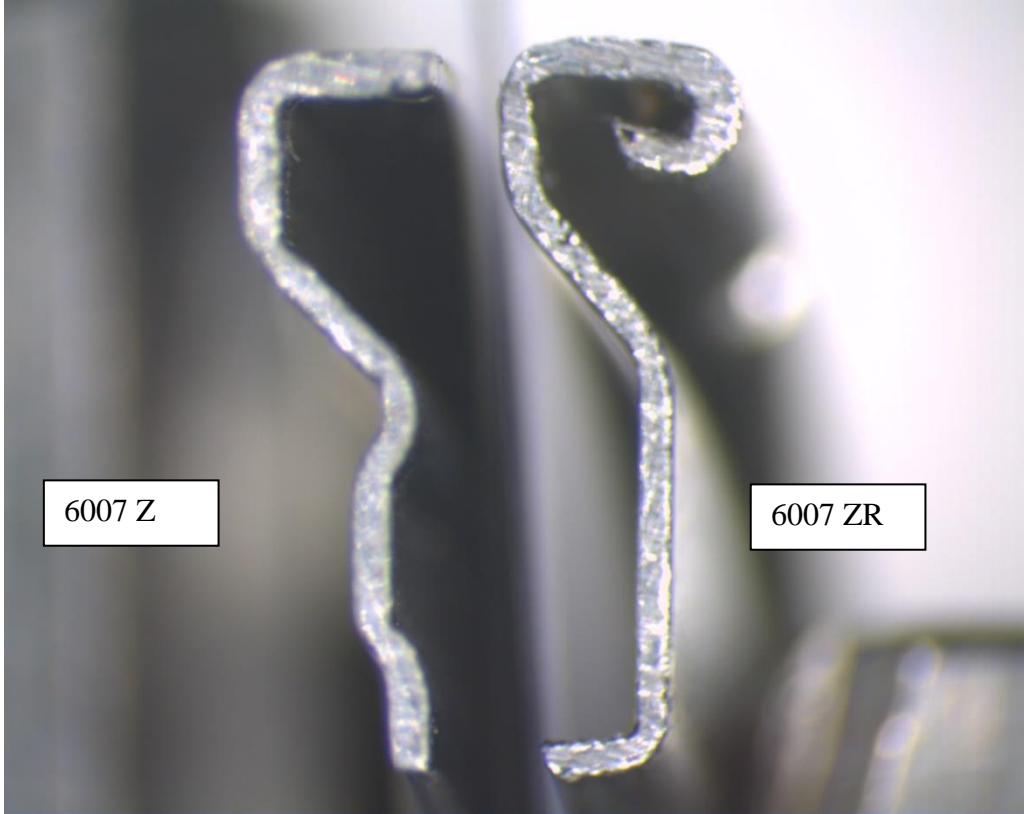


Şekil 3.3. 6007 Z ve 6007 ZR dizayn sacların rulmandaki montaj pozisyonları

Rulman fonksiyon testlerini yapmak amacıyla yeni dizayn sac kapak için numune kalıp ile 500 adet önseri ZR sac kapak imalatı yaptırılmıştır.



Şekil 3.4. 6007 Z ve 6007 ZR dizayn sac kapak görseli



Şekil 3.5. 6007 Z ve 6007 ZR dizayn sac kapaklara ait kesit görseli

Daha sonra mevcut Z ve yeni dizayn ZR rulmanlarda fonksiyon testlerine (gres sızdırmazlık testi, dış bilezikte ısınma testi) başlanmıştır. Test Düzenegi Şekil 2-6 da verilmiştir.

Test şartları aşağıda verilmiştir:

1. Test Cihazı : Rulman Universal Test Aparatı
2. Test Süresi : 30 dakika
3. Test Devri : 3000 rpm
4. Test Sıcaklığı : Oda Sıcaklığı / 23°C

3.1.1. Sac Kapaklı Rulmanlarda Gres Sızdırmazlık Testi

3 er adet 6007 ZZ (mevcut dizayn sac kapaklı) ve 6007 2ZR (geliştirilmiş dizayn sac kapaklı) rulmanlar belirtilen test şartlarında gres sızdırmazlık testine alınmıştır.

Her 2 grupta test öncesi ve test sonrası rulman ağırlık ölçümleri yapılarak ağırlık değişimleri hesap edilmiştir.

Çizelge 3.1. 6007 ZZ ve 6007 2ZR rulmanlarda gres atma sonuç çizelgesi

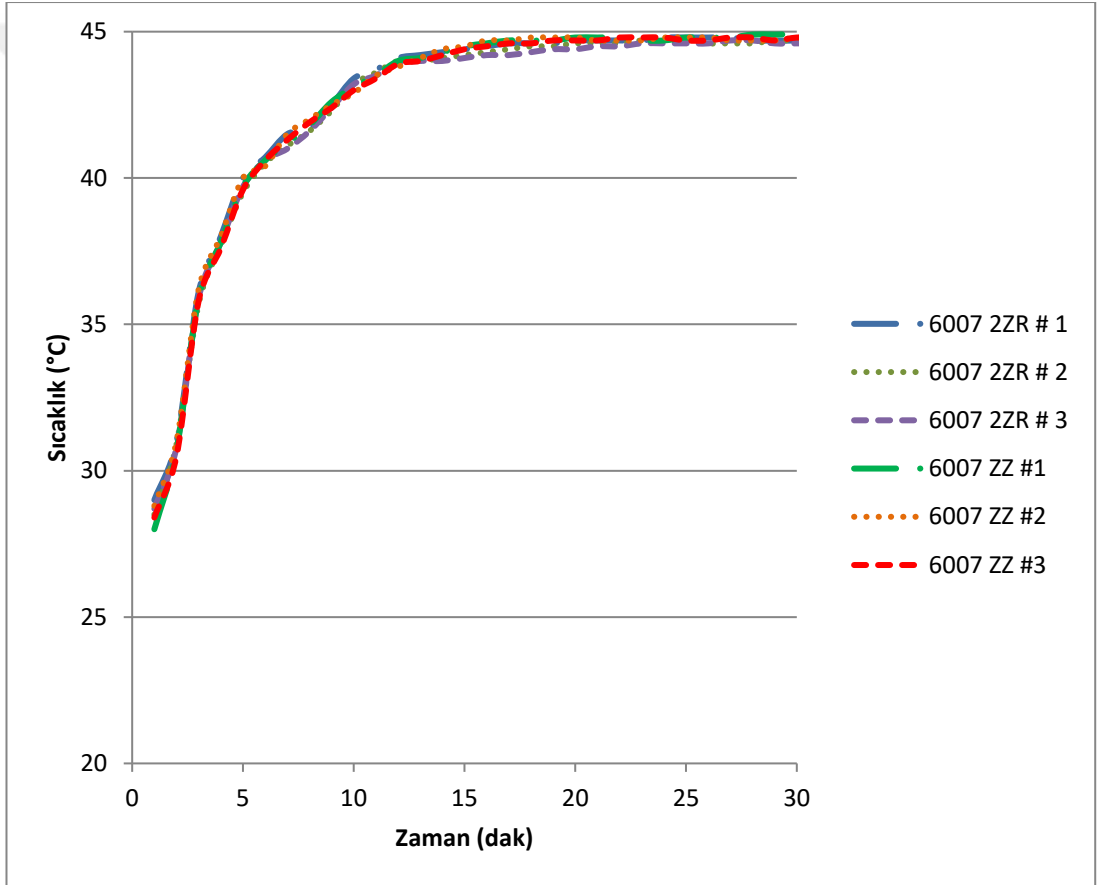
Rulman Tipi	Rulman No	Test Öncesi Ağırlık (gr)	Test Sonrası Ağırlık (gr)	Gres Atma Miktarı/ Ağırlıktaki Değişim (gr)	Ortalama (gr)
6007 ZZ	1	152,77	152,65	0,12	0,11
6007 ZZ	2	152,72	152,62	0,10	
6007 ZZ	3	152,69	152,58	0,11	
6007 2ZR	1	152,99	152,96	0,03	0,023
6007 2ZR	2	153,04	153,02	0,02	
6007 2ZR	3	152,07	152,05	0,02	

6007 ZZ rulmanlarda görsel olarak iç çap kısımlarında çok hafif miktarda gres atma görülmüştür. 6007 2ZR rulmanlarda görsel olarak gres atma görülmemiş, sadece ağırlık olarak çok az miktarda değişim ölçülmüştür.

3.1.2. Dış Bilezikte Sıcaklık Değişimi Testi

3 er adet 6007 ZZ (mevcut dizayn sac kapaklı) ve 6007 2ZR (geliştirilmiş dizayn sac kapaklı) rulmanlar belirtilen test şartlarında dış bilezikte ısınma testine alınmıştır. Rulman dış bileziğinin dış çapına termokupl konularak zamana göre dış bilezikte ölçülen sıcaklık değişimleri kayıt altına alınmıştır.

Çizelge 3.2. 6007 ZZ ve 6007 2ZR rulmanlarda dış bilezikte zaman-sıcaklık değişim çizelgesi



6007 ZZ ve 6007 2ZR rulmanlarda 30 dakika sonunda dış bilezikte sıcaklık ortalama olarak 44,8°C da sabitlemiştir.

3.1.3. Sürtünme Momenti Testi

Sac kapaklı rulmanlarda sürtünme olmadığı için yapılmamıştır.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR

Bu çalışmada, 6007 rulmanda kullanılan mevcut lastik kapak ve sac kapak dizaynlarında, rulman performansını (sızdırmazlığın geliştirilmesi, ısınmanın azaltılması, sürtünme momentinin azaltılması, montaj iyileştirmesi) artırmak amacıyla dizayn değişiklikleri yapılmış, numune lastik ve sac kapak kalıpları yaptırılmış, önseri lastik ve sac kapak ve dış bilezik imalatları yaptırılarak karşılaştırma testleri yapılmıştır.

Mevcut ve yeni dizayn lastik kapaklarla yapılan testler sonucunda;

1. Mevcut dizayn lastik kapaklı 6007 2RSR rulmanlarda görsel olarak çok az miktarda gres atma görülmüştür. Ortalama gres atma miktarı 0.06 gr dır. Yeni dizayn lastik kapaklı 6007 2RSR/1 rulmanlarda ise görsel olarak gres atma görülmemiştir, rulman ağırlığında çok az miktarda değişim ölçülmüştür. Rulman ağırlığındaki ortalama değişim 0.013 gr dır. Gres sızdırmazlığı %100 iyileştirilmiştir.
2. 6007 2RSR rulmanlarda 25 dakika sonunda dış bilezikte sıcaklık ortalama olarak 70°C da sabitlerken, 6007 2RSR/1 rulmanlarda ise ortalama olarak 55°C da sabitlemiştir. Böylece rulman çalışma sıcaklığı ~%21 oranında düşürülmüştür.
3. 6007 2RSR rulmanlarda 30 dakika sonunda sürtünme momenti ortalama 0.08 Nm, 6007 2RSR/1 rulmanlarda ise ortalama 0.045 Nm olarak ölçülmüştür. Yeni dizayn lastik kapak kullanılarak sürtünme momenti ~%44 oranında düşürülmüştür.

4. Rulman çalışma sıcaklığı ne kadar düşük olursa rulman çalışma ömrü buna paralel olarak artar. Rulman çalışma sıcaklığının 70°C dan 55°C a düşmesi, sürtünme momentinin 0.08 Nm den 0.045 Nm ye düşmesi sonucunda rulman içerisindeki gresin yağlama özelliği korunarak (viskozitesini / akıcılığını koruyarak), rulman çalışma ömrü arttırılmıştır. 6007 2RSR ve 6007 2RSR/1 rulmanlarda yapılan çalışma ömrü hesabında sadece çalışma sıcaklığını 70°C dan 55°C a düşmesi sonucunda rulman çalışma ömründe teorik olarak ~%57 oranında artış hesap edilmiştir.

Mevcut ve yeni dizayn sac kapaklarla yapılan testler sonucunda;

1. 6007 ZZ rulmanlarda görsel olarak iç çap kısımlarında çok hafif miktarda gres atma görülmüştür. Ortalama gres atma miktarı 0.11 gr dır. 6007 2ZR rulmanlarda görsel olarak gres atma görülmemiş, sadece ağırlık olarak çok az miktarda değişim ölçülmüştür. Rulman ağırlığındaki ortalama değişim 0.023 gr dır. Gres sızdırmazlığı %100 iyileştirilmiştir.
2. 6007 ZZ ve 6007 2ZR rulmanlarda 30 dakika sonunda dış bilezikte sıcaklık ortalama olarak 44,8°C da sabitlemiştir. Her 2 dizaynda rulman çalışma sıcaklığı aynıdır.
3. Sac kapaklı rulmanlarda sürtünme olmaması nedeniyle 6007 ZZ ve 6007 2ZR rulmanlarda sürtünme moment testi yapılmamıştır.
4. 6007 ZZ rulmanlarda dış çap ovalliği 5 – 8 μ aralığında ölçülürken, 6007 2ZR rulmanlarda dış çap ovalliği 2 – 5 μ aralığında ölçülmüş, rulman dış çap ölçüsünde hassasiyet artırılmıştır. Dış çap ovalliğinde ~%54 oranında iyileştirme sağlanmıştır.
5. 6007 ZZ rulmanlarda sac kapağın dış bilezik yuvasında çevre boyunca homojen olmayan montajı (yuvaya çakılması) söz konusuydu. 6007 2ZR rulmanlarda sac kapağın dış çapına yapılan yarıklar ve bu yarıkların birbirinden

bağımsız olması sayesinde dış bilezik yuvasında çevre boyunca homojen montajı, tutunması sağlanmıştır.



KAYNAKLAR

1. İnternet: ORS. rulman. Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş.: <https://www.ors.com.tr/tr/rulman-nedir> , Son Erişim Tarihi: 06.06.2024.
2. İnternet: SCHAEFFLER. rulman.: https://www.schaeffler.com.tr/en/products-and-solutions/industrial/product-portfolio/rolling_and_plain_bearings/deep_groove_ball_bearing/ Son Erişim Tarihi: 06.04.2024.
3. İnternet: NSK. rulman.: <https://www.nsk.com/products/ball-bearings/>
4. İnternet: NTN-SNR. rulman.: <https://www.ntn-snr.com/>
5. İnternet:TIMKEN.rulman.:https://www.timken.com/wp-content/uploads/2017/10/Timken-Deep-Groove-Ball-Bearings-Catalog_10857.pdf
6. SKF (2013), Rolling Bearings And Seals In Electric Motors And Generators
7. Sada, T. (2017). Loss reduction of rolling bearings for automobile. *Journal of Japanese Society of Tribologists*, 1 (2), 45-46
8. <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.teknikport.com%2F2012%2F03%2Frulman-2%2F&date=2017-12-19>, Son Erişim Tarihi:05.05.2024.
9. Flitney, Robert. *Seals and Sealing handbook* (Sixth edition). Oxford: Elsevier, 371, 395.
10. Ciesielski, A. (1999). *An introduction to rubber technology*. United Kingdom: Rapra Technology Limited, 112, 18, 113, 22.
11. White J. R., De, S. K., *Rubber Technologist's Handbook*, The United Kingdom. Rapra Technology Limited, 50, 77-78, 2001.,
12. Harris, T. A., Kotzalas M. N. (2006). *Essential concepts of bearing technology*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, 5-6.
13. Jakel, R. (2010). *Analysis of hyperelastic materials with mechanica theory and application examples*. PTC Global Services, 8. Enstitüsü Trabzon, 3-7.
14. Shazhad, M., Kamran, A., Siddiqui, M. Z., Farhan, M. (2015). Mechanical characterization and FE modelling of a hyperelastic material. *Materials Research Online Version*, 2.

15. Duncan, B. (1999). Test methods for determining hyperelastic properties of flexible adhesives, *Report of Centre for Materials Measurement and Technology National Physical Laboratory*, 3.
16. Uysal, A. (2006). *Tek sıra sabit rulmanlı yataklarda sürtünme kaybının deneysel olarak incelenmesi* –Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
17. Harris, T.A. and Kotzalas, M.N. (2007). *Rolling bearing analysis. Advanced Concepts of Bearing Technology*. (5th ed). New York: CRC Press.
18. Houpert, L. and Leenders, P.A. (1985). *Theoretical and experimental investigation into Rolling bearing friction. In: Proceedings of the of the Eurotrib conference*. Lyon.
19. Harris, T.A. (2004). *Rolling bearing analysis*. (4th ed). New York: John Wiley & Sons.
20. Ozdemir Z. , Turkbaz O. S. , Sarigoz K. (2021) , *An Experimental and Numerical Evaluation of Seal Strictness on Ball Bearing Performance*, *Hittite Journal of Science and Engineering*.
21. İnternet: 2024-05-24. <https://avesis.gazi.edu.tr> › dosya E, Balci — (2019). *Theoretical and experimental approach to ball bearing frictional characteristics compared with cryogenic friction model and dry friction model*.
22. Takimoto, M., Ishikawa, T., and Harada, K. (2011). *Technical development of automotive wheel bearing seals (Muddy-water resistant seal, low temperature environment seal and super low-torque seal)*. JTEK Engineering Journal, 64, 68.

ÖZGEÇMİŞ

Sami YURTAŞAN, 1987 yılında Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliğini kazandı. 1. Sınıf bitimi sonrası geçirdiği trafik kazası nedeniyle 1 dönem kayıt dondurmak zorunda kaldı. Yaşanan dönem kaybına rağmen 1992 Bahar döneminde iyi derece ile mezun oldu. 1994 yılından bu yana ORS de (Ortadoğu Rulman Sanayi ve Ticaret A.Ş.) Komponent Dizayn Kıdemli Şefi olarak görev yapmaktadır. ORS de üretimi olmayan rulmanların ve müşteriye ait özel rulmanların incelenerek ORS de devreye alınma çalışmalarını yürütmektedir. Patent ve faydalı model, AR-GE çalışmaları mevcut olup çalışmalara devam etmektedir.