<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

DÖNEL SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ PERFORMANSINA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ Mak. Müh. Yakut KERKÜKLÜ

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği Programı: Konstrüksiyon

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Vedat TEMİZ

OCAK 2008

<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

DÖNEL SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ PERORMANSINA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ Mak. Müh. Yakut KERKÜKLÜ (503051215)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007 Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2008

Tez Danışmanı :	Yrd.Doç.Dr. Vedat TEMİZ (İ.T.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri	Doç.Dr. C. Erdem İMRAK (İ.T.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Cüneyt FETVACI (İ.Ü.)

ÖNSÖZ

Birçok makine, alet ve teçhizatta farklı tiplerde sızdırmazlık elemanları kullanılmaktadır. Bu elemanlar için ekonomik kullanım ömrünü, sistemdeki akışkan, çalışma sıcaklığı, kayma ve dönme hızları, yüzey pürüzlülükleri ve toleranslar direkt olarak etkilemektedir. Bu çalışmada, dönel sızdırmazlık elemanlarından radyal dudaklı keçelerin performansına yüzey pürüzlülüğünün etkileri araştırılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bana destek olan, yol gösteren saygıdeğer hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Vedat TEMİZ'e, hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen, değerli önerileri ile çalışmama katkıda bulunan Sayın Hocam Arş.Gör.Dr. Zeynep PARLAR'a ve laboratuar çalışmalarımda bana teknik destek veren Öğretim Görevlisi Yusuf Ziya KOCABAL'a ve Orhan KAMBUROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tüm yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme ve babama sonsuz teşekkür ederim.

Ocak,2008

Yakut KERKÜKLÜ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ İÇİNDEKİLER KISALTMALAD	ii iii
TABLO LÍSTESÍ	v vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LISTESI	X
ÖZET	xi
SUMMARY	XII
1. GİRİŞ 1.1. Literatür Araştırması	1 2
2. SIZDIRMAZLIK ELEMANLARI	5
2.1. Radyal Dudaklı Sızdırmazlık Elemanları	6
2.1.1. Radyal dudaklı keçe tipleri	9
2.2. Keçe Malzemeleri	10
2.2.1. Nitril butadien kauçuk (NBR)	13
2.2.2. Silikon kauçuk (VQM)	13
2.2.3. Florokarbon kauçuk (FKM)	14
2.3. Elastomer Malzemelerin Esneklik Özelliği	15
2.4. Elastomer Malzemelerin Sertik Özenigi 2.5. Kecelerin Calisma Performansını Etkileven Faktörler	15
2.5.1. Mil	16
2.5.2. Keçe yuvası	17
2.5.3. Yağlama	18
2.5.4. Basınç	19
2.5.5. Sıcaklık	20
2.6. Yağ Kaçağı	20
 3. DENEYİN YAPILIŞI 3.1. Deney Tesisatı 3.2. Disk 	24 24 26
3.3. Keçe Yuvası	27
3.4. Deney Şartları ve Deney Numuneleri 3.5. Deneyin Yapılışı	27 28

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	30
KAYNAKLAR	38
EKLER	40
ÖZGEÇMİŞ	74

KISALTMALAR

NBR	: Nitril Butadien Kauçuk
FKM	: Florokarbon Kauçuk
VMQ	: Silikon Kauçuk
HNBR	: Yüksek Yoğunluklu Nitril Butadien Kauçuk
NR	: Doğal Kauçuk
SBR	: Sitren Butadien Kauçuk
CR	: Kloropren Kauçuk
IIR	: Butil Kauçuk
EPM	: Etilen Propilen Kauçuk
Т	: Polisülfid Kauçuk
PNF	: Fosfonitril Floroelastomer
AU, EU	: Poliüretan Kauçuk
AEM	: Etilen Akrilik Kauçuk
PTFE	: Politetrafloroetilen Kauçuk
YBPO	: Polyester Elastomer
Sh	: Shore

TABLO LİSTESİ

<u>Sayfa No</u>

Tablo 2.1	Mil işleme toleransları	17
Tablo 2.2	Yuva ölçüleri için ISO H8 geçme toleransları	17
Tablo 3.1	Yağın fiziksel özellikler	26
Tablo 3.2	45 mm ve 50 mm dikler için yüzey pürüzlülük değerleri	26
Tablo 3.3	Çalışmada kullanılan keçe malzemeleri ve keçelerin çapları	28
Tablo A.1	İlk grup deneylere ait veri tablosu	51
Tablo A.2	İkinci grup deneylere ait veri tablosu	52

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sayfa No</u>

Şekil 2.1	: Temel sızdırmazlık problemi	5
Şekil 2.2	: Sızdırmazlık elemanlarının sınıflandırılması	6
Şekil 2.3	: Elastomer radyal sızdırmazlık elemanlarının gelişimi	7
Şekil 2.4	: Radyal dudaklı keçe ve fonksiyon yüzeyleri	8
Şekil 2.5	: Dışı metal tipli keçe.	9
Şekil 2.6	: Dışı kauçuk kaplı keçe	9
Şekil 2.7	: Çift bilezikli keçe	10
Şekil 2.8	: Toz dudakli keçeler	10
Şekil 2.9	: Çift dudaklı keçeler	10
Şekil 2.10	: Metallerin Hooke kanununa göre davranışı (a) ve kauçuk	
	malzemenin esnek ve plastik davranışı (b)	15
Şekil 2.11	: Keçe dudağında meydana gelen sıcaklık artışının mil çapına	
	bağlı değişimi	18
Şekil 2.12	: Keçe dudağında sürtünme sonucunda oluşan güç kaybının	
	çevresel hıza bağlı değişim	19
Şekil 2.13	: Basınca karşı destek bileziği ve esnek keçe uygulaması	19
Şekil 2.14	: Uygun yağlama, ısı dağılımı ve atmosfer basıncı koşullarında	
	çeşitli keçe malzemeleri için mil dönme hızları	20
Şekil 3.1	: Deney tesisatının prensip şeması	24
Şekil 3.2	: Deney tesisatının genel görünüşü	25
Şekil 3.3	: Keçe yuvasının kesit görünüşü	27
Şekil A.1	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için nitril, florokarbon ve	
	silikon keçelerin sıcaklıklarının ve basınçlarının zamana bağlı	
	değişimi ($R_a=0.44 \mu m$, d=45mm)	40
Şekil A.2	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için nitril, florokarbon ve	
	silikon keçelerin sıcaklıklarının ve basınçlarının zamana bağlı	
	değişimi ($R_a=1,2 \mu m, d=45mm$)	41
Şekil A.3	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için nitril, florokarbon ve	
	silikon keçelerin sıcaklıklarının ve basınçlarının zamana bağlı	
	değişimi ($R_a=2,1 \mu m, d=45mm$)	41
Şekil A.4	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için florokarbon keçenin	
	sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi ($R_a=0,44 \ \mu m$,	
	d=50 mm)	42
Şekil A.5	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için florokarbon keçenin	
	sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi (R _a =1,1 μm,	
	d=50 mm)	42

Şekil A.6	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için florokarbon keçenin	
	sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi (R _a =2,3 μm,	
~	d=50 mm)	43
Şekil A.7	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde nitril kauçuk kaplı	
	keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık	42
C L U A O	zaman grafigi (d=45mm)	43
Şekil A.8	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç degerlerinde florokarbon kauçuk kaplı	
	keçenin yüzey puruzluluk degerlerine bağlı olarak sıcaklık	
0 1 1 1 0	zaman grafigi ($d=45$ mm)	44
Şekil A.9	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç degerlerinde silikon kauçuk kaplı	
	keçenin yüzey puruzluluk degerlerine bağlı olarak sıcaklık	4.4
G-1-1 A 10	zaman grangi (d=45mm)	44
Şekii A.10	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç degerlerinde horokarbon kauçuk kaplı	
	keçenin yüzey puruzluluk degerlerine bağlı olarak sıcaklık	15
	zaman grafigi (d=50mm)	45
Şekii A.11	silikan kasalarin gaakkiklarnan ya haginalarinin zamana hačk	
	d_{a} žisimi (P =0.45 µm d=45mm)	15
Sabil A 12	$(\Lambda_a = 0.45 \ \mu \text{III}, u = 45 \text{IIIII})$	43
ŞEKII A.12	Silikon keçelerin sıçaklıklarının ve başınclarının zamana bağlı	
	değişimi ($R = 1.1 \text{ µm} \text{ d} = 45 \text{ mm}$)	16
Sabil A 13	• 0 1 bar ve 0 3 bar basing değeri için Nitril Florokarbon ve	40
ŞUNII A.15	Silikon kecelerin sıcaklıklarının ve hasınclarının zamana hağlı	
	değişimi (R_=2.2 μ m d=45mm)	46
Sekil A.14	: 0 1 bar ve 0 3 bar basing değerlerinde Florokarbon keçenin	10
Şum 1 m 1	sıcaklığının ve başıncın zamana bağlı değişimi ($R_2=0.46$ µm	
	d=50mm)	47
Sekil A.15	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınc değerlerinde Florokarbon kecenin	
·, · · ·	sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değisimi ($R_3=1,1 \mu\text{m}$,	
	d=50mm)	47
Şekil A.16	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde, Florokarbon keçenin	
	sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi ($R_a=2,3 \mu m$,	
	d=50mm)	48
Şekil A.17	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde nitril kauçuk kaplı	
	keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık	
	zaman grafiği (d=45mm)	48
Şekil A.18	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde florokarbon kauçuk kaplı	
	keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık	
	zaman grafiği (d=45mm)	49
Şekil A.19	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde silikon kauçuk kaplı	
	keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık	
~	zaman grafiği (d=45mm)	49
Şekil A.20	: 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde florokarbon kauçuk kaplı	
	keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık	- 0
01984	zaman grafiği (d=50mm)	.50
Şekil B.1	: Sagdan taşlanmış disklerle çalışan florokarbon keçelere ait	_ A
Cal-1 D 4	yuzey IIImieri ($a=45$ mm, a. 0,44 µm, b. 1,2 µm, c. 2.1 µm)	54
Şekii B.2	: Soldan taşlanmış disklerle çalışan Horokarbon keçelere alt	5 F
	yuzey mmeri (u-45 mm, a. 0,45 μ m, b. 1,1 μ m, c. 2,2 μ m)	22

Şekil 🛛	B.3	: Sağdan taşlanmış disklerle çalışan nitril keçelere ait yüzey	
		filmleri (d=45 mm, a. 0,44 µm, b. 1,2 µm, c. 2.1 µm)	56
Şekil 🛛	B.4	: Soldan taşlanmış disklerle çalışan nitril keçelere ait yüzey	
		filmleri (d=45 mm, a. 0,45 µm, b. 1,1 µm, c. 2,2 µm)	57
Şekil 🛛	B.5	: Sağdan taşlanmış disklerle çalışan silikon keçelere ait yüzey	
		filmleri (d=45 mm, a. 0,44 μ m, b. 1,2 μ m, c. 2.1 μ m)	58
Şekil 🛛	B.6	: Soldan taşlanmış disklerle çalışan silikon keçelere ait yüzey	
~ • • • •		filmleri (d=45 mm, a. 0,45 μ m, b. 1,1 μ m, c. 2,2 μ m)	59
Şekil	B. 7	: Sağdan taşlanmış dısklerle çalışan florokarbon keçelere ait	
a 1 u 1	D O	yüzey filmleri (d=50 mm, a. 0,44 μ m, b. 1,1 μ m, c. 2.1 μ m)	60
Şekil	B.8	: Soldan taşlanmış disklerle çalışan florokarbon keçelere ait	(1
G . I91	пΛ	yuzey nimieri (d=50 mm, a. 0,46 µm, b. 1,1 µm, c. 2,5 µm)	61
Şekii I	В.У	: Saguan taşlanmış diskierle çalışan horokarbon keçelere alt	62
Salvill	D 10	• Soldan taalanmia diaklarla aalisan flarakarban kasalara ait	03
ŞEKI	D. 10	vüzev filmleri (d=45 mm d 0.45 um e 1.1 um f 2.2 um)	61
Sabil	R 11	• Saŭdan taslanmis disklerle calisan nitril kecelere ait vüzev	04
ŞCKII I	D.11	filmleri (d=45 mm a 0.44 µm b 1.2 µm c 2.1 µm)	65
Sekil 1	R 12	• Soldan taslanmış dişklerle çalışan nitril keçelere ait yüzey	05
şemi	0,12	filmleri (d=45 mm a 0.45 µm b 1.1 µm c 2.2 µm)	66
Sekil]	B.13	: Sağdan taslanmış disklerle calışan şilikon kecelere ait yüzey	00
		filmleri (d=45 mm. a. 0.44 um. b. 1.2 um. c. 2.1 um)	67
Sekil]	B.14	: Soldan taslanmış disklerle çalışan silikon keçelere ait yüzey	
· j -		filmleri ($d=45$ mm, a. 0,45 µm, b. 1,1 µm, c. 2.2 µm)	68
Şekil	C.1	: Sağdan taşlanmış $R_a = 0,44 \mu m$ pürüzlülük değerli diske ait	
-		yüzey profili (d=45 mm)	69
Şekil	C.2	: Sağdan taşlanmış R_a = 1,2 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey	
		profili (d=45 mm)	69
Şekil	C.3	: Sağdan taşlanmış R_a = 2,1 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey	
		profili (d=45 mm)	70
Şekil	C.4	: Soldan taşlanmış $R_a = 0.45 \ \mu m$ pürüzlülük değerli diske ait	
Sabil	C 5	yüzey profili (d=45 mm)	70
ŞEKII V	C.3	: Soldan taşlanmış $R_a = 1,1 \mu m$ pürüzlülük değerli diske ait yüzey	-
		profili (d=45 mm)	/0
Şekil	C.6	: Soldan taşlanmış $R_a = 2,2 \ \mu m$ pürüzlülük değerli diske ait yüzey	71
~ • ••	~ -	profili ($d=45 \text{ mm}$)	/1
Şekil (C.7	: Sagdan taşlanmış $R_a = 0,44 \ \mu m$ puruziuluk degerli diske alt	71
a 1 u	G 0	• Sačdan taslanmis P = 1.1 um nürüzlülük dažarli diska ait vüzav	/1
Şekil	C.8	: Saguan taşlanmış $R_a = 1,1 \mu m$ puruziuluk degerir diske alt yüzey	71
6 1 9	C 0	 Sağdan taşlanmış R = 2 1 um nürüzlülük değerli dişke ait yüzev 	/1
Şekil (C.9	• Saguan taşlanınış $R_a = 2,1 \mu m puruzruruk degerir diske art yüzey profili (d=50 mm)$	72
Sabil	C 10	• Soldan taslanmış R.= 0.46 um nürüzlülük değerli dişke ait	12
ŞEKII (C.10	vüzev profili (d=50 mm)	72
Sobil 4	C 11	: Soldan taslanmış $R_3 = 1.1 \text{ µm}$ pürüzlülük değerli dişke ait vüzev	,
ŞCKII	C.11	profili (d=50 mm)	72
Sekil (C.12	: Soldan taslanmış $R_a = 2.3 \mu m$ pürüzlülük değerli diske ait vüzev	
yvnii v	_,1 <i>1</i>	profili (d=50 mm).	73

SEMBOL LİSTESİ

- D
- d
- р
- : Keçe yuva çapı : Disk çapı : Basınç : Ortalama pürüzlülük değeri : Zaman : Keçe sıcaklığı : Kayma hızı : Dönme hızı Ra
- t
- T_s
- v
- n

DÖNEL SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ PERFORMANSINA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ETKİLERİ

ÖZET

Sızdırmazlık elemanları makine ve araçların sorunsuz çalışabilmesinde önemli payı olan malzemelerdir. Makine teknolojisinin gelişmesiyle beraber, sızdırmazlık elemanlarının da geliştirilmesi gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmanın amacı, farklı malzemelerden yapılmış radyal dudaklı keçelerin performasına, yüzey pürüzlülük değerlerinin etkilerini araştırmaktır. Bu amaçla bir deney düzeneği hazırlanmış ve çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmadan önce sızdırmazlık elemanlarının genel sınıflandırılması yapılmış, daha sonra radyal dudaklı keçelerin çalışma prensibi, tipleri ve keçe malzemelerinden bahsedilmiştir.

Deneysel çalışmanın yapılacağı düzenekte tahrik elemanı olarak, dönme hızı 0...8000 d/dk arasında ayarlanabilen bir motor kullanılmıştır. Keçelerin çalışma sırasında meydana gelen yağ kaçağı hassas bir terazi kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca keçelerden alınan numunelerin yüzey filmleri optik mikroskop kullanılarak çekilmiştir.

Deneysel çalışmada radyal dudaklı nitril, florokarbon ve silikon keçeler kullanılarak 2 grup deney yapılmıştır. İlk grup deneyler sırasında 0.1 ve 0.3 bar basınç altında 3m/sn kayma hızında, 45mm ve 50 mm çaplı 3 farklı yüzey pürüzlülük değerine sahip sağdan ve soldan taşlanmış diskler ile beraber çalışan keçeler için basınç ve keçe sıcaklığının zamana bağlı değişimler incelenmiştir. Ayrıca yağ kaçağı olup olmadığı gözlenmiştir. 2. grup deneylerde ise keçeler 0.5 bar basınç altında ve 5m/sn çevresel hızda 45mm çaplı 3 farklı pürüzlülük değerindeki sağdan ve soldan işlenmiş disklerle eş çalışması sonucundaki yağ kaçağı miktarı incelenmiştir.

Sonuç olarak ilk grup deneylerde 45mm çaplı sağdan ve soldan işlenmiş diskler ve 50mm çaplı soldan işlenmiş disklerle çalışan keçelerde ölçülebilir yağ kaçağı elde edilememiştir. 50mm çaplı sağdan işlenmiş keçeleri içinse yağ kaçağı ölçülmüştür. 2. grup deneylerde, soldan işlenmiş ve kaba pürüzlü disklerle çalışan keçelerde ölçülebilir yağ kaçağının sağ işlenmiş disklere oranla daha fazla olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Radyal dudaklı keçe, yüzey pürüzlülüğü, yağ kaçağı, mikro pompalama etkisi

THE EFFECTS OF THE SHAFT SURFACE ROUGHNESS ON PERFORMANCE OF THE ROTARY SHAFT SEALS SUMMARY

Leakage components play a crucial role in the proper-functioning of machines and tools. With the improvement of machine technology, leakage components should also be improved.

The purpose of this study is to invetigate the effects of surface roughness values on performance of radial lip seals made of different materials. In order to achieve this, an experiment set-up is prepared and studies are carried out.

Prior to this study, a general classification of leakage components is prepared, and then operation-principle, types and seals' materials are mentioned.

A motor, with an adjustable turning speed between 0 and 8000 rpm, is used as a trigger device in the experimental set-up. The oil leakage which occur during the operations of radial shaft seals is measured with a sensitive scale. Samples taken from the surfaces of radial shaft seals are photographed with an optic microscope.

2 groups of experimental studies are done using radial lip seals which are made of nitrile, fluorocarbon and silicon rubbers. In the first group of experiments, variations of pressure and seal heat dependent on time are investigated for seals which operates with disks 45mm and 50 mm in diameters that have three different surface roughnesses(disk speed 3 m/s,system pressure 0,1 and 0,3 bar) In additon, observation for oil leakage is made. In the second group of experiments, seals are observed for oil leakage amounts under system pressure 0,5 bar, stainless steel shafts 45 mm in diameters which have three surface roughnesses values and shafts' speeds 5 m/s operating conditions.

In conclusion, with the first group of experiments, oil leakage could not be measured for the stainless steel shafts 45 mm in diameters which operates with seals. For the stainless steel shafts 50 mm in diameters oil leakage could be measured. For the second group of experiments, measurable oil leakage is found to be more for the disks that surface roughnesses are 0,45 μ m, 1,1 μ m and 2,2 μ m than for the disks that surface roughnesses are 0,44 μ m, 1,1 μ m and 2,1 μ m.

Keywords: Rotary lip seal, surface roughness, leakage, micro pumping effect

1. GİRİŞ

Dönel sızdırmazlık elemanları, mil veya yuva gibi elemanlardan sadece birinin hareketli olduğu durumlarda kullanılan dinamik sızdırmazlık elemanlarıdır. Bu elemanların radyal dudaklı keçeler ve V-keçeler olmak üzere iki farklı tipi vardır.

V-keçelerin sızdırmazlık dudağı eksenel yönde olduğundan sızdırmazlığı da eksenel yönde sağlamaktadır. Keçe, mile sıkı geçme olacak şekilde monte edilerek mil ile birlikte kaymadan, dik bir yüzeye sürtünerek dinamik sızdırmazlığı sağlar. Bu keçeler mildeki salgıya, eksen kaçıklığına ve eksenel yönde harekete duyarlı değildirler.

Radyal dudaklı sızdırmazlık elemanları prensip olarak, mil ile dudak arasında oluşan yağ filmi üzerinde çalışmaktadır. Bu yağ filminin, dudak yüzeyine tutunmasıyla, dışarıya yağ akışı engellenmektedir. Film kalınlığının sabit kalması, kırılmaması sızdırmazlık için istenen bir durumdur. Radyal dudaklı keçeler, eksenel kaçıklıkları ve yüzeydeki düzensizlikleri dengelemede diğer dinamik sızdırmazlık elemanlarına göre daha hassastırlar (örneğin, mekanik keçeler).

Sızdırmazlık elemanı malzemesi olarak eskiden hayvan derisi kullanılırken, günümüzde sentetik kauçukların gelişmesiyle yerini elastomerlere bırakmıştır. Artan mil hızı ve sıcaklığa bağlı olarak bu malzemelerinde fiziksel ve kimyasal özellikleri değişmektedir.

Radyal dudaklı keçeler, rulmanlı yataklar ve dişlilerde kullanılmakla beraber, otomotiv endüstrisi en yaygın kullanım alanıdır. Ülkemizde makine yapım sanayinde farklı keçe tasarımlarının payı azdır. Sızdırmazlık elemanları ancak sızdırmazlık problemi görüldüğünde veya bakım sırasında sökülüp, yenileri ile değiştirilmektedir. Bir makine de birçok sızdırmazlık elemanı olduğundan ve aynı elemanı her zaman

bulma olanağı olmadığından, alternatif sızdırmazlık elemanlarını kullanmak gerekir. Buda sızdırmazlık elemanlarının önemini ortaya koymada bir etkendir.

1.1 Literatür araştırması

Dönel sızdırmazlık elemanlarının dünya üzerinde pek çok deneysel uygulamalarına rastlanmaktadır. Bu çalışmaların bazıları daha iyi termal ve tribolojik özellikleri olan spesifik malzemeler geliştirmeye yönelik iken bazıları ise keçe performansını arttırmaya yöneliktir.

J.M Degrange, M. Thomine, Ph. Kapsa, J.M. Pelletier, L. Chazeau, G. Vigier, G Dudrange ve L. Guerbe' nin yapmış olduğu çalışmada [1], dudaklı keçelerin imalinde kullanılan nitril butadien kauçuğun siyah karbonla doyurulduktan sonra, kimyasal formülleri değiştirilerek farklı camsı geçiş sıcaklığına sahip iki numune elde edilmiştir. Elde edilen bu numunelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini kıyaslayabilmek amacıyla farklı testlerden geçirilmiş, sonrasında ise ömür testi (cyclic test) uygulanmıştır. Yapılan testler sırasında dönme hızı ve sıcaklık kontrol altında tutulmuştur. Camsı geçiş sıcaklığı yüksek olan malzemenin aşınma direncinin de yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca termo-oksidasyonun yüzeyi daha da sertleştirerek aşınma direncini arttırıcı etki yaptığı gözlenmiştir. Testlerde camsı geçiş sıcaklığı yüksek olan malzemelerin, keçe dudağı gibi yağ ile çalışan endüstriyel uygulamalarda rulmanlı yataklardan sızmaya karşı daha dirençli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dr.-Ing Eberhard Bock, Dipl.-Ing. Rolf Vogt ve Dipl.-Ing. Peter Schreiner, hidrolik pompa ve motorlarda sızdırmazlık için yeni radyal mil keçeleri geliştirilmiştir [2]. Radyal dudak geometrilerinde yapılan değişimler ile daha etkin yağlama sağlanmış ve keçenin ömrü arttırılmıştır. Sızdırmazlık dudağının esnekliği arttırılarak temas bandı üzerindeki basınç azaltılmıştır.

James Walker&Co Ltd.UK den Philip Embury ve James Armour yaptıkları çalışmada, ağır çalışma koşullarında dönel sızdırmazlık elemanlarının performansına elastomer malzemenin etkilerini araştırmışlardır [3]. Nitril (NBR), florakarbon (FKM) ve hidrojen nitril (HNBR) malzemeleri kullanılarak aşınma direnci, ısıl iletkenlik, sürtünme katsayısı değerleri ölçülmüş daha sonrada dudaktaki aşınma ve çatlaklar incelenmiştir. Deney için 330 mm çaplı paslanmaz çelik bir mil 20 m/s hızla döndürülmüş ve sistemin basıncı 0,05 bar olarak ayarlanmıştır. Sonuç olarak FKM de dudakta hiç çatlak görülmemişken, NBR de HNBR 'ye göre daha fazla zçatlak olduğu görülmüştür. En fazla sızdırmazlık NBR de en az sızdırmazlık ise HNBR de tespit edilmiştir.

Thomas Kunstfeld ve Werner Haas dönen mil keçeleri için DIN 3761 standartta belirtilen ve pahalı bir yöntem olan taşlama yerine daha ekonomik bir yöntem olan torna tezgahında imal edilmiş olan millerin pompalama oranını incelemişlerdir [4]. Bu çalışma sonucunda taşlanmış yüzeylerle, torna tezgahından elde edilmiş yüzeylerin pompalama oranlarında belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Yüzeydeki spiraller pompalama kabiliyetinin sebeplerinden değildir. Ayrıca dönme yönünün de önemli olmadığı gözlenmiştir.

Dönel hidrodinamik elastik dudaklı keçelerin pompalama etkisinin teorik analizi konulu çalışma A. Gorrino, C. Angula, J. Canales tarafından yapılmıştır [5]. Bu çalışma için sinüsodial şekilli pompalama etkisi yapan keçeler geliştirilmiştir. Hidrodinamik akış prensibinden yararlanılarak matematiksel model oluşturulup ANSYS programından faydalanılmıştır. Özel tasarımlı bu keçelerde milin her iki yönde dönüşüne uygunluk sağlamak için birbiri ile simetrik iki sinüsodial eğri kullanılmıştır. Sızdırmazlık dudağından dışarı taşan yağ sinüsodial eğri ile dudak arasında kalan bölgede hareket eder. Eğrilerin mil üzerine uyguladığı basınç daha fazla olduğu için sızan yağ, yağ tarafına doğru akmaya başlar ve mikro pompalama etkisi gerçekleşmiş olur. Yağın buradaki normal akışı için Navier-Stokes diferansiyel denkleminden yararlanılmıştır.

Fanghui Shi ve Richard F. Salant, dudaklı keçenin sızdırmazlık bölgesinde rastgele seçilen bir yüzey üzerinde nümerik çalışma yapmışlardır [6]. Dudak ile mil arasında oluşan, yağ filmindeki akış için Reynolds denkleminden yararlanılmıştır. Mil ile keçenin temas bölgesindeki yüzey pürüzlülüklerinin deformasyonu, sürtünme katsayısı, akışkanın pompalanma oranı, film kalınlığı, temas bölgesindeki basınç dağılımı incelenip, hıza bağlı değişimleri grafikler halinde ortaya konmuştur. Bu nümerik model ile sızdırmazlık elemanlarının gerçeğe yakın çalışma karakteristikleri elde edilmiştir.

Richard F. Salant ve Dawei Shen, radyal dudaklı keçelerin davranışına mil yüzey pürüzlülüğünün hidrodinamik etkilerini araştırmışlardır [7,8]. Teorik olarak hidrodinamik ve elastohidrodinamik analizler sonucunda , yüzey pürüzlülüğünün dudaklı keçelerin performansını önemli derecede etkilediği görülmüştür. Pürüzlülüklerin, ortalama film kalınlığına, yük taşıma kabiliyetine ve pompalama etkisinin artmasına neden olduğu, bu çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır.

Elastohidrodinamik çalışmalarında keçelerin sızdırmazlık bölgesindeki her noktada nümerik olarak analizleri yapılmıştır [6-9]. Bu modeller teknik olarak birçok bilgi elde edilmesine ve dudakla mil arasında oluşan fiziksel mekanizmanın anlaşılmasına olanak sağlamıştır. Bu çalışmaların sonuçları birbirini doğrular niteliktedir.

Sunulan bu çalışmada nitril, florakarbon ve silikon malzemeden yapılmış radyal dudaklı sızdırmazlık elemanları kullanılmıştır. Bu keçeler 0,2 µm ile 2,5 µm arasında değişen farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip çelik diskler üzerinde çalıştırılmıştır. Disk yüzeyleri belli bir yönde pürüzlendirilerek mikro pompalama etkisi incelenmiştir. Calışmada deneyler iki farklı gruptan oluşmaktadır. İlk grup deneylerinde keçeler 0,1 bar ve 0.3 bar basınc ve 3 m/sn kayma hızlarında calıstırılarak, kece sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı olarak değişimi gözlenmiştir. Keçe sıcaklığının ölçümünde ± 0,05 hassasiyetindeki termometre ve basınç için $\pm 0,02$ hassasiyetinde basınç transdüseri kullanılarak ölçüm yapılmıştır. İkinci grup deneylerde ise keçeler 5 m/s sabit kayma hızında ve 0,5 bar sabit basınçta 22 saat süre ile çalıştırılarak yağ kaçağı ölçülmüştür. Her bir numunenin çalışma sonunda yüzeyleri incelenerek çatlak oluşumu ile kaçağı arasındaki ilişki aranmaya calışılmıştır. yağ

2. SIZDIRMAZLIK ELEMANLARI

Bu bölüm kapsamında sızdırmazlık elemanlar ile ilgili bilgiler yer almaktadır. Bu bilgiler [11-22] numaralı kaynaklara dayanılarak verilmiştir.

Sızdırmazlık, ortak bir sınırı paylaşan iki ortam arasındaki akışkan geçişinin kontrolüdür. Şekil 2.1'de ortak sınırı olan iki farklı ortam arasındaki akışkan geçişi görülmektedir. Endüstriyel uygulamalarda yağlayıcı akışkanın veya sistemde mevcut basınçlı akışkanın çalışma sırasında sistemden herhangi bir biçimde dışarı sızmasını önleyebilmek veya kontrol edebilmek amacıyla kullanılan elemanlara sızdırmazlık elemanları denir.



Şekil 2.1 Temel sızdırmazlık problemi

Yataklarda kullanılacak sızdırmazlık elemanlarının, yağlayıcı maddenin yatak dışına çıkmasını kontrol edebilmek ve dışarıdan yatağa toz, nem, pislik v.b. yabancı partiküllerin girmesine engel olmak gibi görevleri de mevcuttur.

Sızdırmazlık elemanları dinamik ve statik olmak üzere ikiye ayrılır. Statik sızdırmazlık elemanları iki hareketsiz yüzey arasındaki akışkan geçişini kontrol ederken, dinamik sızdırmazlık elemanları ise birbirine göre izafi hareket eden iki yüzey arasındaki akışkan geçişini kontrol etmektedir. Bu elemanlar için kesin sızdırmazlık bahsedilemez. Moleküler seviyede dahi mutlaka akışkan geçişleri görülmektedir. Bu nedenle akışın kontrolünü sağlayan elemanlardır.

Sızdırmazlık elemanları temaslı ve temassız sızdırmazlık elemanları olarak da sınıflandırılabilir. Temaslı sızdırmazlık sistemlerinde mil ile gövde veya kapak arasına her ikisi ile temas halinde bulunan bir eleman kullanılmaktadır. Temassız sistemlerde ise çok dar kanalların yağ akışına karşı oluşturdukları dirençten faydalanılır. Temassız sızdırmazlık elemanlarında sürtünme, aşınma olmadığı için sonsuz ömre sahip olabilmektedirler. Şekil 2.2 de sızdırmazlık elemanlarının sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.2 Sızdırmazlık elemanlarının sınıflandırılması

2.1 Radyal dudaklı sızdırmazlık elemanları

İçten yanmalı ilk motorlarda kullanılan salmastra kutuları, 1920'lerde yerini deriye bırakmıştır. 1930'larda mineral yağlarla çalışmaya uygun sentetik nitril kauçuğun bulunmasıyla elastomer, dudaklı keçelerin gelişimi başlamıştır. Şekil 2.3'te salmastra kutusundan radyal dudaklı keçelere olan gelişim görülmektedir.

Şekil 2.3.a'da elastik malzemeden yapılmış sızdırmazlık halkaları (salmastralar) geniş bir alanda mile temas ederken, sürtünme çok fazla ve radyal titreşimleri

sönümleme özelliği yetersizdir. Bu durum sızdırmazlık halkasının dar bir bantta temasını sağlayacak şekilde geliştirilir ve sızdırmazlık halkası mil üzerine yük oluşturacak şekilde sıkıştırılır. Bu prensip şekil 2.3.b'de gösterilmiştir. Böylece sızdırmazlık ara yüzeylerinde artan sürtünme ve sıcaklık problemi azaltılır. Ancak elastomerin ikincil sızdırmazlık yüzeyi ile teması, milin radyal yöndeki yer değiştirmelerinin takibini zorlaştırır. Sonuçta esnek bir membran geliştirilerek sızdırmaz dudakla bağlantısı sağlanır (Şekil 2.3.c). Zamanla elastomer malzemede meydana gelen gevşemeyi ve buna bağlı olarak radyal yükteki azalmayı telafi edecek garter yayı kullanılır.



Şekil 2.3 Elastomer radyal sızdırmazlık elemanlarının gelişimi

Radyal dudaklı sızdırmazlık elamanlarının çalışma prensibinde mil ve sızdırmaz dudağın önemi büyüktür. Bu sızdırmazlık elemanları dinamik tipte keçeler olup Şekil 2.4'te bir radyal dudaklı keçenin kesiti görülmektedir.

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi çalışma sırasında sızdırmazlığı sağlayacak temas bölgesi, iki konik yüzeyin kesişim yeridir. Bu kesişim yeri zamanla aşınacak ve temas bandını oluşturacaktır. Kullanılmamış keçelerde dudağın temas genişliği 0,1-0,15 mm iken, 500-1000 saat çalışmadan sonra 0.2-0.3 mm' ye çıkacaktır. Yağın olduğu taraftaki α açısının, havanın bulunduğu taraftaki β açısından büyük olması istenir. Daha küçük β açısı ile yağ filminin oluşması için gerekli açıklık sağlanmış olur. Optimum sızdırmazlık için α =40° ile 60°, β =20° ile35° olması istenir. Garter yayı, mil üzerinde olması gereken sürekli basıncı sağlar. Yaysız durumdaki sızdırmazlık, milin üzerine keçenin sıkı geçme şeklinde montajının yapılmasıyla oluşan ön yüklemeye bağlıyken, yay sayesinde keçe dudağını açmak için artan çapsal yükü ve basıncı azaltıcı etki yapar. Metal bilezik, keçenin üst ve yan yüzeylerini daha sağlam kılmak amacıyla kullanılır. Yay kaçıklığı ise eksenel yönde yay ekseni ile sızdırmaz yüzey arasındaki uzaklıktır.



Şekil 2.4 Radyal dudaklı keçe ve fonksiyon yüzeyleri

Normal şartlarda keçenin çalışması sırsında oluşacak iç basıncın en fazla 0,5 bar olması istenir. Basınç arttıkça keçenin ömrü de artış oranında azalır.

Çapsal yük, mil çapı, dönme hızı, keçe malzemesi, ortam gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak her keçe için belli sınırlar içinde olmalıdır. Çalışma sırasında ısıl genleşme sebebiyle, mil üzerindeki temas yükü hızlıca düşer (Elastomerler, metallere göre daha yüksek ısıl genleşme katsayısına sahiptirler.). Hatta keçenin uzun zaman çalışmalarından sonra elastomer malzemenin de sağladığı temas yükünde geri dönmeyen azalmalar oluşur.

Keçenin ilk montajı sırasında, dudakta ilk biçim bozulmaları olacaktır. Milin birkaç devrinden sonra keçe dudağı mile belli bir genişlikte temas edinceye kadar aşınacak ve bu alan altında yağ filmi oluşacaktır. Sızmayı önlemek için yağ film kalınlığı 1

µm ile3 µm arasında olmalıdır. Mil ile düzleşen keçe dudağı arasındaki yağ filmi, hava tarafı ile akışkan tarafı arasında yarım ay şeklini alır. Bu yarım ay şeklinde oluşacak her kırılma sızma ile sonuçlanır. Bu durumda sızdırmazlık bölgesinde yüzey kalitesi önem kazanır. Çizikler, yırtıklar ve yüzey hataları yağ filminin kalınlaşmasına ve sonuçta kırılarak yağ sızmasına sebep olacaktır.

2.1.1 Radyal dudaklı keçe tipleri

Endüstriyel ihtiyaçlar farklı tipte keçelerin dizaynına olanak sağlamıştır.

Dışı metal olan keçe tipi Şekil 2.5'te görülmektedir. Bu keçe tipi için dış çaptan sızma görülmemesi daha iyi yuva kalitesine bağlıdır. Isıl genleşmesi yüksek metal yuvalarda kullanımı tavsiye edilmez.



Şekil 2.5 Dışı metal tipli keçe

Yüzeyi pürüzlü, gözenekli ya da ısıl genleşmesi yüksek malzemeden yapılmış olan yuvalar için kullanılan genel amaçlı keçe Şekil 2.6'daki gibidir. Metal bilezik elestomer malzeme içine gömülerek paslanmaya karşı korunmuştur.



Şekil 2.6 Dışı kauçuk kaplı keçe

Büyük çaplarda çakma kolaylığı sağlamak için Şekil 2.7'deki gibi çift bilezikli keçeler kullanılır. Bu keçeler yağ çarpmalarına karşı daha avantajlıdır.



Şekil 2.7 Çift bilezikli keçe

İkinci küçük bir dudağı olan keçeler dış etkenlere açık uygulamalarda esas dudağı kir toz gibi yabanci partiküllere karşı korur (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Toz dudakli keçeler

İki ortamı birbirinden ayırmak Şekil 2.9'da görülen çift dudaklı keçeler ile sağlanır.. Örneğin yataklarda bir taraftan yağ eksilmesini diğer taraftan da su girmesini önlemek için kullanılabilir.



Şekil 2.9 Çift dudaklı keçeler

2.2 Keçe malzemeleri

Sızdırmazlık elemanı olarak en çok kullanılan malzeme elastomerlerdir. Elastomerler belli bir kuvvet uygulandıktan sonra ilk biçim ve ölçüsüne dönen makro moleküler

yapılı malzemelere verilen addır. Elastomerler kauçuk olarak da adlandırılmakta, doğal ve sentetik kauçukları da içine almaktadır.

Elastomer malzemeler boyutta meydana gelebilecek değişiklikleri telafi edebilme özelliğine sahip olup, geniş toleranslarla çalışmaya imkân vermektedirler. Bu nedenle elastomerler, keçe malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Burada endüstriyel keçe malzemelerinin kullanım yerleri ve çalışma şartlarına kısaca değinilerek çalışmada kullanılan nitril, florakarbon ve silikon keçe malzemeleri daha detaylı olarak açıklanmaya çalışılacaktır.

Doğal kauçuk (NR): Yüksek esneklik ve mekanik özellikler gerektiren yerlerde ve -60 °C ile 90 °C arasındaki sıcaklıklarda kullanılır.

Sitren butadien kauçuk (SBR): Glikol esaslı fren yağlarına, asit ve bazlara, alkole karşı dirençlidir. SBR -50 °C ile 100 °C arasındaki sıcaklıklarda kullanılır ve sitren oranı arttıkça sertliği, butadien oranı arttıkça da esnekliği artar.

Klorobutadien kauçuk (Kloropren) (CR): Alev almadığından gruzi kablolarında, buji başlarında, aşınma direnci iyi olduğundan götürücü bantlarda, V kayışlarında ayrıca körük, takoz, dalgıç elbisesi malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Soğutucu gazlarla temasta, fren sistemlerinde ve orta asitlerde sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaktadır. Çalışma sıcaklığı -45 °C ile 100 °C arasındadır. Kısa süreli olarak 130 °C' ye çıkabilir.

Butil kauçuk (IIR): Gaz geçirgenliğinin çok az olmasından dolayı vakum sistemlerinde sızdırmazlık elemanı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca sulama hortumu, iç lastik, konveyör kayışı, mekanik parçaların imalinde kullanılmaktadır. Çalışma sıcaklığı -40 °C ile 124 °C arasındadır.

Etilen propilen kauçuk (EPM): Fosfat-ester alev almaz hidrolik sıvılarda, silikonlu sıvılarda, sıcak su ve buhar ortamında sızdırmazlık malzemesi olarak kullanılır. Hava şartlarına maruz kalan sızdırmazlık elemanlarında tercih sebebidir. Çalışma sıcaklığı -40 °C ile 150 °C arasındadır.

Polisülfid kauçuk (TR): Boya endüstrisinde kullanılan çözücülere dirençli tek malzeme olarak bilinir. Başka seçeneği olmadığı zaman sızdırmazlık elemanı olarak kullanılır.

Florosilikon kauçuk: Florokarbon ve silikonun özelliklerini taşıyan, havacılık ve uzay çalışmalarında yağ keçesi ve diğer sızdırmazlık elemanlarında kullanılan gelişmiş bir malzemedir. Çalışma sıcaklığı -80 °C ile 175 °C arasındadır.

Fosfonitril floroelastomer (PNF): Floroslikona benzer ancak mekanik özellikleri daha iyi olduğu için dinamik uygulamalarda kullanılır. Havacılık ve petrol sanayinde kullanılır.

Poliüretan kauçuk (AU, EU): En büyük avantajı üstün mekanik özellikleri ile yüksek kopma ve aşınma direncidir. Bu nedenle sızdırmazlık malzemesi olarak kullanılırlar.

Etilen akrilik kauçuk (AEM): Düşük sürekli kalıcılık, sıcaklık, yağ ve hava gerektiren yerde kullanılır. Sızdırmazlık elemanı olarak dişli sistemlerde poliakriliğin yerine kullanılmaktadır. Düşük sıcaklık ve aşınma direnci poliakrilikten daha iyidir.

Deri : En eski sızdırmazlık elemanı malzemelerinden birisidir. Deri malzemenin iki önemli avantajı bulunmaktadır. Bunlardan ilki, yüzeyi düzgün olmayan yüzeylerde, aşınma direnci çok iyidir. Diğer avantajı ise yağ emme tutma özelliğinin mükemmel olmasıdır. Çok bozulmuş yüzeylerde mili yeniden işlemek yerine, aşınmış mil ve yüzeylerde deri keçe kullanılır. Yağlama koşullarının kötü olduğu durumlarda derinin yağ tutma özelliğini kullanmak avantaj sağlayabilir. İlk yağlama ile sürekli kullanma sağlanır.

Politetrafloroetilen kauçuk (PTFE): PTFE, kimyasallara mükemmel dayanım gösteren bir malzemedir. -200 °C ile 260 °C arasında çalışma sıcaklığına sahiptir. En düşük sürtünme katsayısına sahip olması ve stick-slip özelliği ve mekanik özelliğinin yeterli olması nedeniyle sızdırmazlık elemanları dahil çok geniş kullanım alanına sahiptir. Aşındırıcı ortamda aşınma direncinin az olması dezavantajıdır. Aşınma direncini arttırmak için alaşımlı PTFE kullanılır. Bronz, grafit, cam elyafı, karbon, molibden sülfür katkıları kullanılmaktadır. Sızdırmazlık elemanı olarak yağlamasız

çalışan ve stick-slip istenmeyen ortamlarda, aktif kimyasal ortamlarda, o-ring, U-cup, takım halka olarak ve özellikle piston yatağı olarak uygun malzemedir.

Polyester kauçuk (YBPO): Sertlik ve güçlülük yönünden plastik, sertlik yönünden elastomer özelliği gösteren bir termoplastiktir. Çalışma sıcaklığı -70 °C ile 110 °C arasındadır. Pnömatik ve hidrolik hortumlar, V kayışlar, körükler, diyaframlar, esnek kaplinler, destek halkaları ve çeşitli sızdırmazlık elemanlarında tercih edilir.

Poliamid: Naylon olarak bilinir. Çalışma sıcaklığı -20 °C ile 90 °C arasındadır.

2.2.1 Nitril butadien kauçuk (NBR)

Birçok endüstriyel uygulamalarda tercih edilen, yağa ve grese dayanıklı keçe malzemesidir. Yapısal olarak diğer elastomerlerden daha güçlüdür. Kimyasal olarak nitril, butadien ve akrilonitrilin bileşiminden oluşur. NBR' nin özelliklerini nitril oranı ve viskozitesi etkiler. Nitril oranı %18'den %48' e doğru attıkça petrol esaslı yağlara, hidrokarbonlara, sıcaklığa, sertliğe karşı direnci artar. Aynı zamanda düşük sıcaklıklarda nitril içeriği azaltılırsa esneklikte azalır. Genellikle -40 °C ile 105 °C arasındaki sıcaklıklarda kullanılır, aralıklı çalışmalarda 120 °C' ye kadar dayanıklıdır.

Avantajları:

- Mineral yağ, gres, su ve radyatör akışkanına karşı direnci iyidir.
- Yüksek kopma mukavemetine sahiptir.

Dezavantajları:

- Bazı kimyasallara dirençli değildir.
- Yüksek sıcaklıklarda sertleşme gösterir, soğukta ise dirençli değildir.

2.2.2 Silikon kauçuk (VQM)

Silikon kauçuğun en önemli özelliği yüksek ısı dayanımına sahip olması, geniş ısı aralığında çalışabilmesi ve fiziksel özelliklerinin sıcaklık değişiminden fazla etkilenmemesidir. Bu nedenden dolayı başta krank keçeleri olmak üzere, soba ve firin contaları, buzluk ve buzdolabı sızdırmazlığı, ozon üniteleri sızdırmazlığı ve pek çok

endüstriyel uygulamalarda geniş kullanım alanına sahiptir. Çalışma sıcaklığı -60 °C ile 200 °C arasındadır. Kısa periyot için 230 °C' ye çıkabilmektedir.

Avantajları:

- Çok düşük sıcaklıklara kadar esnekliğini muhafaza eder.
- Yüksek ve sürekli sıcaklıklarda sertleşmeye karşı dirençlidir.
- Çok iyi yalıtkandır.
- Zehirli olmamasından dolayı tıpta kullanılır.
- Yaşlanmaya, hava, ozon ve neme karşı direnci çok iyidir.
- Alkalilere karşı iyi kimyasal direnç gösterir.

Dezavantajları:

- Çekme ve yırtılma dayanımı düşüktür.
- Aşınmaya karşı dirençli değildir.
- Petrol, parafin gibi hidrokarbonlar ve hafif mineral yağlar veya 3,5 bar basıncın üzerinde buhar ile kullanılması tavsiye edilmez.
- Sıcak su, asitler ve mineral olmayan otomobil fren akışkanlarına dirençli değildir.

2.2.3 Florokarbon kauçuk (FKM)

Yüksek sıcaklık, ozon ve aşındırıcı kimyasalların bulunduğu ortamlarda çalışmak için tercih edilen bir elastomerdir. Yağ keçesi olarak otomotiv sanayinde fazla kullanılmaktadır. Çalışma sıcaklığı -30 °C ile 220 °C arasındadır.

Avantajları:

- Mineral ve yüksek alaşımlı yağlara karşı mükemmel direnç gösterir.
- Asitlere direnci mükemmeldir.
- Aromatik ve klorlu hidrokarbonlara karşı dayanımı iyidir.
- Yaşlanmaya, ozona ve havaya karşı dirençlidir.

Dezavantajları:

- Düşük sıcaklıklarda mekanik özellikleri iyi değildir.
- Polar akışkanlara direnci kötüdür.

2.3 Elastomer malzemelerin esneklik özelliği

Metallerin yük altında Hooke kanununa göre davrandığı bilinir. Yani elastisite sınırları içinde uygulanan yükün kalkması halinde malzeme eski halini alır (Şekil 2.10.a). Elastomerler hem esnek hem plastik davranırlar. Uygulanan yük kalkınca eski durumuna dönmeden kalıcı bir şekil değişimi olur ve geri dönüş zamanı daha uzundur (Şekil 2.10.b).



Şekil 2.10 Metallerin Hooke kanununa göre davranışı (a) ve kauçuk malzemenin esnek ve plastik davranışı (b)

Elastomerler de esnek şekil değiştirmeden sonra bu şekli korumak için gerekli güç zamanla azalır ve bu özelliğe gevşeme denir. Gevşeme zamana ve sıcaklığa bağlıdır. Uzun zaman ve sıcaklık malzeme içindeki bağlara yeni durum alması için yeterli süre tanır ve esnek uzama yerini kakıcı uzamaya bırakır. Elastomerlerin bu özelliğinden dolayı yağ keçelerinin ilk andaki çapsal yükleri zamanla azalır. Genellikle elastomer malzemeler % 5'ten daha fazla kalıcı uzama etkisinde kalmamalıdır. Gerilim birikimi malzemenin özelliğinin erken ortadan kalkmasına sebep olur.

2.4 Elastomer malzemelerin sertlik özelliği

Elastomer malzemenin diğer önemli özelliği sertliktir. Karışım sırasında elastomer malzemenin özellikleri katkı maddeleri ile değiştirilebilir. Elastomerler için standart sertlik birimi Shore A kullanılır. Sertlik değeri 5 birim tolerans içinde kabul edilebilir. Sızdırmazlık elemanlarının sertlikleri yumuşak malzemeler için 40-45' den başlayıp sert malzemelerde 90-95 Sh A arasında değişir.

Yumuşak malzemeler aşınmaya ve basınca daha az direnç göstermelerine karşın pürüzlü yüzeylerde daha iyi çalışırlar. Dinamik keçelerde sertlik arttıkça sıklık ve çapsal yük değeri azaltılır. Bunun sonucunda sürtünme kuvvetleri azaltılmış olur. Sıkılık miktarı sabit tutulursa, sertlik arttıkça çalışma sırasında sürtünme kuvveti de artacaktır.

Elastomer malzeme yağ içinde şişerse sertliği azalır ve sıkılık miktarı artar. Belli oranlarda şişme kabul edilebilir ve dinamik keçelerde bu değer %15 ile %20arasında olmalıdır.

2.5 Keçenin çalışma performasını etkileyen faktörler

Keçenin işlevini yerine getirebilmesi için gerekli çalışma şartlarını sağlaması gereklidir. Mil, keçe yuvası, yağlama, sıcaklık ve basınç keçenin çalışma performansını etkileyen faktörler arasında yer almaktadır.

2.5.1 Mil

İyi bir sızdırmazlık için mil yüzey kalitesi önemlidir. Mil yüzey pürüzlülüğü, keçe dudağını çok fazla aşındırmamalıdır. Keçe dudağının temas ettiği bölgede torna kalemi ve taşlama izi istenmez, ancak yüzeyde bulunacak helisel çizgiler ise yağı içeriye pompalayacak biçimde olmalıdır. Mil için yüzey pürüzlülüğünün optimum değeri $R_a = 0,2$ ile 0,8 µm arasındadır [12]. Ancak ISO 6194/1 standardında belirtilen yüzey pürüzlülük değeri 0,25 µm ile 0,50 µm arasında olmakla beraber RMA OS-1 standardında belirtilen bu değer 0,20-0,50 µm dir [23, 25]. Yüzey hızı arttıkça istene yüzey kalitesi de artar. Eğer pürüzlülük hiç olmazsa yağ filminin tutunmasını zorlaştırıp, olumsuz etki yapar.

Mil yüzey sertliği, aşınma direnci göz önüne alınarak Rockwell C-30 veya C-55 olabilir. Ancak elle montaj veya çalışma sırasında oluşacak riskleri azaltmak için yüzey sertleştirilir. Yüzey sertleştirilirken mil yüzeyi aniden soğutulmamalıdır. Ani soğutmayla yüzeyde kristal tabaka oluşurken, sürünmenin etkisiyle oluşacak titreşim sonucunda kristaller ayrışır ve aşındırıcı parçacıklar olarak ortaya çıkar. Ayrıca yüzey sertliği artan çevresel hızla beraber artar.

Mil malzemesi olarak daha çok temperli çelik kullanılır ve mil toleransları ise ISO

standartlarına göre h11 olarak seçilir. Aşağıdaki tabloda farklı mil çapları için tolerans değerleri verilmiştir.

MİL ÇAPI d (mm)		TOLERANS h11	MİL ÇAPI d (mm)		TOLERANS h11
6	10	0 -0,090	80	120	0 -0,220
10	18	0 -0,110	120	180	0 -0,250
18	30	0 -0,130	180	250	0 -0,290
30	50	0 -0,160	250	315	0 -0,320
50	80	0 -0,190	315	400	0 -0,360

Tablo 2.1 Mil işleme toleransları

2.5.2 Keçe yuvası

Keçenin yuvaya pres geçme olarak montajının yapılması gerekir. ISO standartlarına göre yuva toleransı H8 dir. Farklı yuva çapları için tolerans değerleri verilmiştir.

YUVA ÇAPI D (mm)		TOLERANS H8	YUVA ÇAPI D (mm)		TOLERANS H8
10	18	+0,027 0	120	180	+0,063 0
18	30	+0,033 0	180	250	+0,072 0
18	30	+0,039 0	250	350	+0,084 0
50	80	+0,046 0	315	400	+0,089 0
80	120	+0,054 0	400	500	+0,097 0

Tablo 2.2 Yuva ölçüleri için ISO H8 geçme toleransları[22]

Yuva sertliği için belirlen özel bir değer olmayıp, yüzey pürüzlülüğünün $R_t = 1,5-3$ µm olması istenir. Mil yüzeyi gibi yuva yüzeyindeki çizgiler yağ kaçağına sebep olabilir. Bundan dolayı yuvanın yüzeyi iyi işlenmiş olmalıdır. Keçenin kolay montaj yapılabilmesi için yuva kenarına pah veya radyüs verilmelidir. Yuva çapı, mil çapına uygun olarak standart keçe ölçülerine göre seçilmelidir.

Yuva malzemesi için ısıl genleşme miktarı önemlidir. Hafif metaller, plastik ve benzeri malzemeler kullanılırsa yuvanın ısınması durumunda yuva çapı ile keçe dış çapı arasındaki sıkılık azalacak ve yağlayıcının keçe yuvasından sızmasına neden olacaktır. Dışı kauçuk kaplı keçeler, dışı metal kaplı keçelerden daha sıkı toleranslarla montajı yapılır ve yuvanın genişlemesi telafi edilmiş olur.

2.5.3 Yağlama

Keçenin fonksiyonunu yerine getirebilmesi için yağlama önemlidir. Keçe dudağı direk olarak mil üzerinde değil, yağ filmi üzerinde çalışmaktadır. Yağ filminin kalınlığı genellikle 1 ile 3 µm arasındadır. Ancak bu yağ kalınlığını birçok faktör etkilemektedir. Bunlar yağın viskozitesi, mil yüzeyi ve radyal keçe yüküdür.

Yeterli yağlama sürtünmeyi azaltırken, mil ve keçe yüzeylerinde ortaya çıkan ısı için soğutucu görevi yapar (Şekil 2.11 keçe dudağında sürtünme sonucu oluşan sıcaklık artışının mil çapına bağlı değişim grafiği). Aşırı ısı keçe dudağının sertleşmesine neden olmakta ya da yağlayıcı maddenin kimyasal etkisi sonucunda yumuşamaktadır. Eğer yağlama özelliği iyi olmayan su ve çözelti gibi yağlayıcılar kullanılacaksa radyal, toz dudaklı sızdırmazlık elemanları kullanılmalıdır. Böyle durumlarda toz dudağı ile fonksiyon dudağı arası gres ile doldurulmalıdır.



Şekil 2.11 Keçe dudağında meydana gelen sıcaklık artışının mil çapına bağlı değişimi

Sürtünme sonucu açığa çıkan ısı, milin çevresel hızına bağlıdır ve bu ısı dudak malzemesi için zararlı olmakla beraber güç kaybına da sebep olmaktadır. Bu durum daha düşük güç iletimi demektir. Şekil 2.12'de keçe dudağında sürtünme sonucu meydana gelen güç kaybının grafiği görülmektedir.



Şekil 2.12 Keçe dudağında sürtünme sonucunda oluşan güç kaybının çevresel hıza bağlı değişimi

2.5.4 Basınç

Radyal dudaklı mil keçesi basınca maruz kaldığında, mil üzerine basınç uygulamakta bu da sıcaklığı yükseltmektedir. Keçeler 0,5 bar basınç farkına kadar kullanılabilmektedir. Daha yüksek basınçlarda keçe dudağında bükülmeler olabilir. Bunu önlemek için destek bileziği veya esnek keçe kullanılabilir(Şekil 2.13). Bu bilezik keçe ve mil arasında eş merkezliliği sağlayacak biçimde yerleştirilmelidir.



Şekil 2.13 Basınca karşı destek bileziği ve esnek keçe uygulaması

2.5.5 Sıcaklık

Keçe dudağındaki ısı, sürtünmeye bağlı olarak artar. Yüksek çalışma sıcaklıkları dudakta yaşlanmayı hızlandırırken, keçe dudağı performansını ve mili etkilemektedir. Sürtünme sebebiyle açığa çıkan ısı, çevresel hız, çapsal yük, mil yüzey kalitesi ve yağlamaya bağlıdır. Şekil 2.14'teki grafikte uygun yağlama, ısı dağılımı ve atmosfer basıncı koşullarında çeşitli keçe malzemeleri için mil dönme hızları görülmektedir.



Şekil 2.14 Uygun yağlama, ısı dağılımı ve atmosfer basıncı koşullarında çeşitli keçe malzemeleri için mil dönme hızları

2.6 Yağ Kaçağı

Radyal dudaklı keçeler, dinamik sızdırmazlık yeteneğindeki eksiklikler veya keçenin pompalama özelliğinin hava tarafına doğru ağır basması nedeniyle yağ kaçırırlar. Sızma; yaşlanma, kötü montaj veya çalışma sırasında meydana gelen dinamik etkiler neticesinde açığa çıkar. Örneğin, otomotiv endüstrisinde, keçelerde oluşacak bir miktar yağ kaçağı kabul edilebilir. Bunun için bir parti maldan seçilen 12 keçe, bir deney düzeneği üzerinde 240 saat sürecek bir çalışmaya tabi tutulur. Bunun sonucunda 12 keçeden toplamda sızacak olan yağın 3 gramı geçmemesi istenir. Bu dinamik etkiler maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Isıl genleşme
- Keçede meydana gelen ayrışmalar
- Keçe malzemesindeki bozulmalar
- Keçe dudağının aşırı yumuşaması veya sertleşmesi
- Milin korozyonu
- Yağlayıcının bozulması
- Yorulma
- Çentik, kesik ve pitting olayı (yenme)
- Stick-slip
- Titreşim
- Aşınma
- Aşırı kaçıklık
- Keçenin ikincil yüzeyden yağ kaçırması

Bu etkilerden bazıları aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Sertleşme: Mil ile keçe dudağı arasındaki yüksek ısıdan kaynaklanır ve keçenin esneklik ve elastikiyetini bozup, mikro pürüzlülüklerin deformasyonuna neden olur. Keçe dudağında bu sebeple meydana gelen çatlaklar, çizikler, yırtılmalar, kırılmalar sızma için gerekli yolu oluşturur. Ayrıca kötü taşlama ile yanlış yönlendirilen yüzey pürüzlülükleri de yağ kaçağına yol açar.

Tortular: Yüksek sıcaklıklar sadece elastomerin değil aynı zamanda sistemde kullanılan akışkanında özelliğini bozmaktadır. Keçe dudağındaki ısı 150 °C' yi geçtiğinde yağın özelliklerinin değiştiği görülür. Oluşan reaksiyonlar sonucunda keçe ve mil üzerinde tortular oluşur. Tortular temas bandındaki önemli mikro pürüzlülükleri kaplayarak dinamik sızdırmazlık mekanizmasını bozar. Böylece yağ kaçağı meydana gelir. Yağı soğutmanın dışında, yağda meydana gelecek bozulmalar, sürtünmenin ve özellikle keçe üzerine gelecek radyal yüklerin azaltılmasıyla kontrol edilebilir.

Milin aşınması: Genellikle keçenin mil üzerinde çalışması sonucu temas bölgesinde mil yüzeyi parlatılmış gibi gözükür. Normalde temiz yağlayıcı kullanılmasıyla oluşan aşınma izlerinin genişliği milimetrenin onda biri ve mikrometreler derinliğindedir. Ancak yaşlanmış yağ içinde sert partiküller ihtiva eder ve bu partiküller çalışma sırasında mil ile keçe dudağı arasına girerek keçeye gömülmektedir. Keçeye gömülen bu parçacıklar milin aşınmasına, yüzlerce mikrometre derinlikte aşınma izlerinin oluşmasına neden olmakta, bunun sonucunda mil yüzeyi sertleşmektedir. Bu partiküllerin keçe dudağı ile mil arasına girmesi, radyal titreşim ve eksenel kaçıklıktan kaynaklanmaktadır. Yağlayıcıda bulunan iyonik bileşenler milin korozyona uğrayarak sertleşmesine neden olmaktadır. Sertleşen pürüzler koparak tekrar keçeye gömülmektedir. Sızma, yağın yaşlanması ve derin aşınma izlerinin yanı sıra elastomerin sahip olduğu pürüzlülükler, bozulmuş yağdaki partiküller ve tortular, ısıyla veya kimyasal olarak elastomerdeki bozulmalar sonucu oluşmaktadır.

Eksantriklik (Kaçıklık): Elastomer dudaklı keçeler, statik radyal kaçıklığı 0,2 ile 0,3 mm'ye kadar sızıntıya sebep olmadan tolere edebilmektedir. Yüksek hızlarda milin dinamik kaçıklığı yağ kaçağına imkan verir. Dinamik kaçıklık, milin silindirik formundan çıkmasıyla ve radyal titreşimle beraber artar. Bu kaçıklık keçe dizaynı ve dizaynda kullanılacak elastomer malzemeyle telafi edilebilir. Hıza bağlı olarak izin verilen maksimum kaçıklık 0,1 ile 0,3 mm arasındadır. Örneğin, otomobil krank milleri için imal edilen keçelerde daha esnek bir membran kullanılarak, normalden daha fazla oluşacak kaçıklıklar karşılanabilmektedir.

Kaçıklık ve yukarıda sayılan maddeler dışında sistem basıncı, yüzey pürüzlülük değerleri, sızdırmazlık elemanlarının yanlış dizaynı, ölçü ve montaj hataları, üretim hataları ve depolama şartları gibi parametrelerde yağ kaçağına sebep olur.
3. DENEYİN YAPILIŞI

3.1 Deney tesisatı

Radyal dudaklı keçelerin performansına yüzey pürüzlülüğünün etkilerini araştırmak amacıyla Şekil 3.1 de şematik resmi ve Şekil 3.2 de genel görünüş verilen deney tesisatı geliştirilmiştir.



Şekil 3.1 Deney tesisatının prensip şeması



Şekil 3.2: Deney tesisatının genel görünüşü

Sistem, bir doğru akım motoru ile tahrik edilmekte ve hızı 0...8000 d/dak arasında ayar edilebilmektedir. Düşük devir sayılarında mildeki döndürme momentini arttırmak ve radyal dudaklı keçelerin kullanıldığı hız bölgesini elde etmek için kayış-kasnak mekanizması kullanılmıştır. Mekanizmanın toplam çevrim oranı 3'tür. Diskin takılı olduğu milin devir sayısı, diskin takılı olduğu flanşlı bağlantı üzerinden optik bir takometre ile ölçülmektedir.

Deney numuneleri, SKT firmasının Ocak 2007 yılı kataloğundan seçilmiştir[18]. İçerisinde yağ ihtiva edecek silindir blok Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bir gövde ve kapaktan oluşmaktadır. Kapağın içindeki yuvaya test edilecek olan radyal dudaklı keçeler monte edilmektedir. Kapak ile blok gövdesi arasına yağ kaçağı olmaması için bir O-ring monte edilmiştir. Sistemde, yüksek basınç katkılı endüstriyel dişli yağı kullanılmıştır. Yağın viskozitesi ISO standartlarına göre 150 cSt' dir. Tedarik edilen bu yağın 15 °C sıcaklıktaki yoğunluğu 897 kg/m³ tür. Yağın fiziksel özellikleri Tablo 3.1 de verilmiştir. Gövde içine yerleştirilen iki adet fişek ısıtıcı yardımı ile yağ 60°C ye kadar ısıtılmaktadır. Yağ sıcaklığı kullanılan bir termostat yardımı ile kontrol edilmektedir. Böylece keçenin istenen sıcaklık ve basınç altında çalışması sağlanmaktadır. Gövde üzerine yerleştirilen % 2 hassasiyetinde ve 0 ile 2 bar arasında ölçüm yapabilen basınç transdüseri ile gövde içindeki basıncın değeri izlenebilmektedir. Ayrıca milin alın yüzeyine bir karıştırıcı yerleştirilerek dalma yağlamada olduğu gibi yağın gövde içerisinde yüzeylere taşınması sağlanmıştır.

ISO Viskozite Sınıfı	150		
Kinematik Viskozite 40 °C mm²/s 100 °C mm²/s	150 15		
Viskozite İndeksi	100		
Parlama Noktası COC °C	195		
Akma Noktası °C	-24		
Yoğunluk @ 15 °C kg/m ³	897		

Tablo 3.1 Yağın Fiziksel Özellikleri

Keçe dudaklarının yüzeyleri Nikon marka optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir.

3.2 Disk

Deneylerde kullanılan 45 mm ve 50 mm çaplarındaki diskler üç farklı yüzey pürüzlülüğünde ve her bir pürüzlülük değeri için sağdan ve soldan olmak üzere farklı yönlerde taşlanarak hazırlanmışlardır.

Son yüzey işlemleri yapılan disklerin yüzey pürüzlülük değeri ölçümleri Mahr marka cihazla gerçekleştirilmiştir. Diskler için elde edilen yüzey profilleri Ek.C'de verilmiştir.Tablo 3.2'de 45 ve 50 mm çaplı diskler için elde edilmiş yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Keçenin çalışacağı disk yüzeyi için literatürde verilen ideal pürüzlülük değerleri ($R_a = 0,2-0,5 \mu m$) dikkate alınarak disk yüzeyleri işlenmiştir[18, 22]. Disklere alın tarafından radyal dudaklı keçeler takılacağı için en az 0,6 mm olacak şekilde radyüsler verilmiştir. Keçenin diske, montajı sırasında keskin köşeler olmayacağı için keçe dudağı daha az zarar görmüştür.

Tablo 3.2 45 ve 50 mm çaplı diskler için yüzey pürüzlülük değerleri

Çap (mm)	Kaba Taşlama Ra (soldan)	Kaba Taşlama Ra (sağdan)	İnce Taşlama Ra (soldan)	İnce Taşlama Ra (sağdan)	Taşlama Ra (soldan)	Taşlama Ra (sağdan)
45	2,2	2,1	0,45	0,44	1,1	1,2
50	2,3	2,1	0,46	0,44	1,1	1,1

3.3 Keçe Yuvası

Seçilen radyal dudaklı keçelerin dış çapı 72 mm dir. Keçe yuva toleransı H8 ve yüzey pürüzlülük değeri ise $R_a = 2,5 \mu m$ olacak şekilde işlenmiştir[18]. Keçe montajında kolaylık sağlamak için yuva ağzına 10°-20° arasında pah kırılmış, yuvadaki faturaya oturuncaya kadar çakılmıştır. Şekil 3.3'te keçe yuvasının kesit görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.3 Keçe yuvasının kesit görünüşü

3.4 Deney şartları ve deney numuneleri

Deneyler 18°-20°C ortam sıcaklığında ve %40-50 izafi nem bulunan laboratuar şartlarında gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmada deneyler iki gruptan oluşmaktadır. İlk grup deneylerde 50 mm çapında 6 adet diskin her biri için birer adet florokarbonlu keçe, ve 45 mm çapında 6 adet diskin herbiri için florokarbon, nitril ve silikon kaplı 3 farklı tipte keçe kullanılmıştır. 45 mm ve 50 mm çaplı diskler 3 m/sn kayma hızında ve 0,1 bar ile 0,3 bar basınç altında çalıştırılarak sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Sıcaklı belli bir değerde rejime ulaşıncaya kadar deneylere devam edilmiştir.

Keçelerin çalışma koşullarına yakın ortamda çalıştırılarak, sızma, keçe ve mil yüzeyinde aşınma, malzeme özelliğindeki değişmeler gibi özellikler ömür deneyi yada fonksiyon deneyi şeklinde adlandırılır. Sızdırmazlık etkisini belirlemek için 100 saatte izin verilen sızma miktarı belirlenir. Bunun için 22 saatlik çalışma süresi yeterlidir[17]. Buna göre deneyler 22 saat süresince 0,5 bar basınç ve 5 m/sn çevre hızında ömür deneyleri yapılmıştır. Bu grup deneylerde 45 mm çaplı 6 adet disk için nitril, florokarbon ve silikon kauçuklu keçeler 5 m/sn kayma hızında ve 0,5 bar basınç altında 22 saat süre ile çalıştırılmıştır. Her iki grup deney sırasında yağ sıcaklığı 60 °C'de sabit tutulmuştur Buna göre her iki grup deney için toplam 42 adet radyal dudaklı yaylı keçe ayrı ayrı denenmiştir. Tablo 3.2'de deneylerde kullanılan keçe malzemeleri ve keçelerin çapları verilmiştir[18].

Tablo3.3 Çalışmada kullanılan keçe malzemeleri ve keçelerin çapları

Malzeme	İç Çap (mm)	Dış Çap (mm)
Florakarbon	45 ve 50	72
Silikon	45	72
Nitril	45	72

3.5 Deneyin Yapılışı

Deney tesisatı çalıştırılmadan önce her hangi bir kaçak olup olmadığı kontrol edilmiştir. Her bir çap için farklı pürüzlülük yapısına sahip 6 adet disk hazırlandıktan sonra tahrik milinin çıkışına flanşlı bağlantı ile monte edilmiştir. Flanş ara yüzeyine yerleştirilen bir conta ile sızdırmazlık kontrol altına alınmıştır. Montaj tamamlanmadan önce bir komparatör yardımı ile ± 0.05 mm hassasiyette diskin eksenel yöndeki kaçıklıkları giderilmeye çalışılmıştır.

Keçeler yuvaya monte edilmeden önce dış çapı yağlanmış ve kapaktaki yuvaya çakılarak takılmıştır. Kapak silindir bloğuna cıvatalar ile tutturulmuştur. Böylece numune değişimi daha kolay yapılabilmektedir. Keçe dudağı ile disk yüzeyi hafifçe yağlandıktan sonra silindir bloğu kayar yataklar üzerinde disk üzerine doğru itilip keçenin diskle montajı tamamlanır. Yağ doldurma tıpasından disk yağa batacak ancak keçe yağla temas etmeyecek şekilde silindire yağ doldurulur. Isıtıcılar

çalıştırılarak yağın 60°C ye kadar ısınması sağlanır. Daha önce belirtildiği gibi bir termostat yardımı ile sıcaklık kontrol edilerek sabit tutulmaya çalışılmıştır. Hız kontrol ünitesi yardımı ile motor hızı istenen devre getirilip sistem çalıştırılır. Deney süresince sıcaklık, hız ve basınç sürekli olarak izlenmektedir.

İlk grup deneylerde belli aralıklarla keçe sıcaklığı ölçülerek zamanla sıcaklık ve basınç değişimi kaydedilmiştir. Sistem belli bir sıcaklıkta sabit kalıncaya kadar deneye devam edilmiştir. Ayrıca bu süre içinde bir yağ kaçağı olup olmadığı da gözlenmiştir.

İkinci grup deneylerde 22 saat sonunda ne kadar yağ kaçağı olduğuna bakılarak pürüz yönlendirmesinin mikro pompalama etkisi yaratıp yaratmadığına araştırılmıştır. Deney sonunda keçe dudakları mikroskop altında incelenerek yüzeydeki çatlaklar ve bozulmalar incelenmiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sonuçlar sıcaklık-zaman ve basınç-zaman olarak iki eksenli grafikler şeklinde sunulmuştur. Böylece aynı eğri üzerinde hem sıcaklığın, hem de basıncın zamanla değişimi görülebilmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün yönlenmesi de bir parametre olarak ele alındığı için önce sağdan taşlanmış diskler için elde edilen sonuçlar daha sonra soldan taşlanmış disklerin sonuçları sunulacaktır.

Şekil A.1'de nitril, florokarbon ve silikon keçelerin, 45 mm çaplı ve 0,44 µm yüzey pürüzlülüğüne sahip sağdan taşlanmış disk üzerinde çalıştırılması durumunda keçe sıcaklığı ve basıncın zamana bağlı değişimi görülmektedir. 0,1 bar başlangıç basıncında nitril keçede belirgin basınç düşüşü görülmüş (0,048 bar) ve keçe sıcaklığı 50 °C'de sabitlenmiştir. Ancak diğer keçelerdeki basınçlarda önemli bir değişme olmayıp keçe rejim sıcaklıkları florokarbon keçede 57 °C, silikon keçede ise 50 °C'dir. 0,3 bar başlangıç basıncında her üç keçe için basınç değerleri 4. dakikaya kadar düşmekte daha sonra 0,280 bar civarında sabitlenmektedir ve bu basınç için en yüksek sıcaklık değerine florokarbon keçe 61 °C ile ulaşmaktadır.

Şekil A.2 de 45 mm çaplı ve 1,2 µm yüzey pürüzlülüğüne sahip sağdan taşlanmış disk üzerinde çalıştırılan nitril, florokarbon ve silikon keçeler için keçe sıcaklığı ve basıncın zamana bağlı değişimi görülmektedir. Keçe sıcaklıkları 20. dakikadan sonra kararlı hale gelmekte ancak hissedilir değişimler görülmemektedir. 0.1 bar basınçta silikon, florokarbon ve nitril keçeler 50 °C civarında rejim sıcaklığına girerken 0,3 bar basınçta ise nitril kauçuk 55 °C sıcaklığa yükselerek sabit kalmakta silikon ve florokarbon keçelerin sıcaklığında belirgin bir değişime görülmemiştir. Silikon keçe her iki basınç değerinde de en az basınç değişiminin görüldüğü sızdırmazlık elemanı olmuştur.

Şekil A.3'te nitril, florokarbon ve silikon keçelerin 45 mm çaplı ve 2,1 µm yüzey pürüzlülüğüne sahip sağdan taşlanmış disk üzerinde çalıştırılması durumunda keçe sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi görülmektedir. 0,1 bar ve 0,3 bar

basınç altında tüm keçelerin basınç-zaman eğri karakteristikleri birbirine benzerdir. Basınç ilk 5 dakika içinde rejim haline gelmektedir. Ayrıca 0,1 bar basınçta florokarbon keçe, 50 °C sıcaklıkta rejim girerken silikon ve nitril keçeler 45 °C civarında rejime ulaşmıştır. 0,3 bar basınçta ise florokarbon keçe 55 °C, nitril keçe ve silikon keçe ise 50 °C civarında rejim sıcaklığına girmiştir. Buna göre florokarbon keçe her iki basınç değeri için de daha yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır.

Şekil A.4'te 50 mm çaplı, 0,44 µm yüzey pürüzlülük değerli sağdan taşlanmış disk üzerinde çalışan florokarbon keçenin sıcaklığı ve basıncı zamana bağlı olarak verilmiştir. Florokarbon keçenin sıcaklığı, 0,1 bar basınç altında 10. dakikaya kadar hızla artmakta daha sonra sıcaklık artışı yavaşlayarak 57 °C civarında rejim sıcaklığına ulaşmaktadır. 0,3 bar basınçta da sıcaklık eğrisinde benzer bir değişim gözlenmekte ve keçe sıcaklığı 62 °C civarında sabitlenmektedir. Basınç 0,3 bar için ilk 17 dakikada 0,250 bara düşüp sabitlenmektedir.

Şekil A.5'te 50 mm çaplı 1,1 µm yüzey pürüzlülük değerindeki sağdan taşlanmış disk ile eş çalışan florokarbon keçenin sıcaklığı ilk 10 dakikada hızla yükselmekte ve sıcaklık artışı 40. dakikaya kadar devam etmektedir. Daha sonra keçe sıcaklığı 59 °C ulaşarak sabit kalmaktadır. Basınç artışı ile sıcaklık değişiminde önemli bir farklılık gözlenmemekle beraber basınç- zaman eğrilerinde de değişim görülmemektedir.

2,1 μm yüzey pürüzlülüğüne sahip 50 mm çaplı sağdan taşlanmış disk ile çalışan florokarbon keçenin, keçe sıcaklığının zamana bağlı grafiği Şekil A.6'da görülmektedir. 0.1 bar başlangıç basınç değeri için, basınç düşerek 0,07 barda, keçe sıcaklığı ise 60 °C'de rejim sıcaklığına ulaşmaktadır. Bu şartlar altında, keçe için 0,0585 gr yağ kaçağı ölçülmüştür. 0,3 bar başlangıç basıncında ise basınç 0,240 bar basınçta sabitlenmekle beraber keçede 0,0216 gr yağ kaçağı görülmüştür.

Şekil A.7'de 45 mm çaplı, 0,44, 1,2 ve 2,1 μ m yüzey pürüzlülük değerli sağdan taşlanmış diskler üzerindeki nitril kauçuk keçenin 0,1 ve 0,3 bar basınç altında, sıcaklığının zamana bağlı değişimi görülmektedir. Her iki basınç değeri için de nitril kauçuk keçenin sıcaklık karakteristikleri birbirine benzerdir. Ancak keçe en yüksek rejim sıcaklığına 0,3 bar basınç altında 1,2 μ m yüzey pürüzlülük değerine sahip disk için ulaşırken, en düşük sıcaklık değerine ise 0,1 bar basınç altında 1,2 μ m ve 2,1 μ m pürüzlülük değerlerine sahip disklerde ulaşmıştır.

Florokarbon keçenin farklı yüzey pürüzlülük değerlerine sahip sağdan taşlanmış diskler için sıcaklık zaman grafiği şekil A.8'de görülmektedir. Keçe sıcaklıklarının artışı 30. dakikaya kadar devam etmekte daha sonra rejime girmektedir. En yüksek sıcaklık değerine 0,3 bar basınç altında, 0,44 μ m yüzey pürüzlüğüne sahip disk üzerinde çalışan keçe ulaşmaktadır (61°C). En düşük sıcaklık değeri 48 °C ile 0,1 bar basınçta 1,2 μ m yüzey pürüzlülük değerinde gözlenmiştir.

Şekil A.9'da silikon keçenin 0,44, 1,2 ve 2,1 μ m yüzey pürüzlülüğünde sağdan taşlanmış disk üzerinde ve 0.1 ve 0.3 bar basınç altında, keçe sıcaklıkları 20. dakikaya kadar artmakta olduğu görülmektedir. Keçelerin rejim sıcaklıları 45 °C ile 52 °C sıcaklık aralığında değişmektedir. Silikon keçe en yüksek sıcaklığa 0,44 ve 1,2 μ m değerlerinde 0,3 bar basınç altında 52 °C de, en düşük sıcaklığa ise 0,1 bar basınç altında 2,1 μ m pürüzlülük değerinde 45 °C' de ulaşmıştır.

Şekil A.10'da 50 mm çaplı farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip sağdan taşlanmış diskler için florokarbon keçenin en yüksek sıcaklık değerine 0,3 bar basınç altında 0,44 µm pürüzlülüğe sahip disk ile ulaştığı görülmektedir.

Şekil A.11'de 0,45 µm yüzey pürüzlülük değerindeki soldan taşlanmış diskle beraber çalışan nitril, florokarbon ve silikon keçeler arasında florokarbon keçe 0,1 ve 0,3 bar basınçta 30dk sonra 61 °C' ye ulaşarak en yüksek değerlidir. 0,1 bar basınç altında silikon keçe 53 °C, nitril keçe 50 °C de rejime ulaşmıştır. 0,3 bar basınç altında ise silikon ve nitril keçelerin rejim sıcaklıkları aynıdır (52 °C). Basınç zaman eğrileri incelendiğinde, florokarbon keçenin 0,3 bar başlangıç basınç değerinde değişim gözlenmemişken silikon ve nitril keçelerde basınç ilk 3 dakikada düşüş göstermiş ve 0,250 bar basınç civarında sabitlenmiştir. Florokarbon ve silikon keçeler 0,1 başlangıç basıncında salınım yapmış, nitril keçe ise ilk 3 dakikada basınç kaybederek 0,06 bar civarındaki değerine ulaşmıştır.

1,1 μm yüzey pürüzlülüğüne sahip 45mm çaplı soldan taşlanmış diskle nitril, florokarbon ve silikon keçe sıcaklıları ve basıncının zamana bağlı değişimi Şekil A.12'de varılmıştır. Nitril keçenin 0,3 bar başlangıç basıncında değişim gözlenmemişken sıcaklığın en yüksek bu keçede olduğu görülmektedir (60 °C). Florokarbon ve silikon keçeler 52°C sıcaklıkta rejim halinde ve basınçlarında 2. dakikaya kadar düşüş görülmekte daha sonra sabitlenmektedir. 0,1 bar basınçta florokarbon ve nitril keçeler 51 °C sıcaklıkta, silikon keçe ise daha düşük sıcaklıkta sabitlenmiştir (46 °C). 0,1 bar başlangıç basınç değerinde her üç keçede ilk 5 dk içinde basınç kaybı görülmekte, 0,08 barda sabitlenmektedir.

Şekil A.13'te 2,2 µm pürüzlülüğe sahip soldan taşlanmış disk için sıcaklık zaman eğrileri benzer karakteristikleri sergilemektedir. Ancak florokarbon keçe (56 °C) ve nitril keçe (53 °C), 0,3 bar basınç altında, silikon keçe (49 °C) göre daha yüksek sıcaklık değerine ulaşmıştır. 0,3 bar başlangıç basıncında her üç keçe için de ilk 3 dakikada basınç kaybı görülmekte ve 0,270 barda seyretmektedir. Ancak florokarbon keçede 0,0063 gr yağ kaçağı gözlenmiştir. 0,1 bar başlangıç basıncında keçeler için sistem basıncında ani kayıplar görülmemiştir.(0,07 bar)

Şekil A.14'te florokarbon keçelerin 0,46 μm yüzey pürüzlülük değerinde, 50mm çaplı soldan taşlanmış disk ile çalışması durumundaki keçenin sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi görülmektedir. Florokarbon keçe 0,3 bar basınç altında aşırı sıcaklık değişimi gözlenmemiş ancak 0,1 bar basınç altında 0,0035 gram yağ kaçağı tespit edilmiştir. Her iki başlangıç basınç değerinde sistem basıncında hafif bir artış görülmüştür.

50 mm çaplı 1,1 μm yüzey pürüzlülüğündeki soldan taşlanmış disk ile çalışan keçelerin sıcaklığının ve basınçların zamana bağlı değişimleri Şekil A.15'te görülmektedir. 0,3 bar başlangıç basıncında basınç kaybı yerine yaklaşık 0,05 bar artış görülmüşken 0,1 bar basınç için önemli bir değişim gözlenmemiştir. Genel olarak keçe sıcaklığı 30. dakikaya kadar artmakta ve 0,1 bar basınç altında 53 °C de 0,3 bar altında ise 59 °C' de rejim sıcaklığına ulaşmaktadır.

Şekil A.16'daki florokarbon keçenin 0,1 bar ve 0,3 bar başlangıç basıncında 2,3 μm pürüzlülükteki soldan taşlanmış disk ile çalışması sonucunda oluşan Ts-t ve p-t grafiğine göre keçe 0,3 bar basınç altında 60 °C de, 0,1 bar basınç altında ise 58 °C'de rejime girmektedir. 0,3 bar başlangıç basınç değerinde ilk 2 dakikada basınç düşmekte ve 0,24 barda sabitlenmektedir. 0,1 bar basınç, 0,04 bar basınca kadar yavaş bir şekilde düşmekte yaklaşık 50. dakikadan sonra sabit kalmaktadır.

Şekil A.17'de nitril keçeler 45 mm çaplı, 0,45, 1,1, ve 2,2 µm yüzey pürüzlülüğüne sahip soldan taşlanmış disklerle 0,1 ve 0,3 bar basınç altında çalışmasıyla sıcaklık

değerlerinde hissedilir bir görülmemiştir. Genel olarak nitril keçelerin 20. dakikaya kadar sıcaklıkları artmış daha sonra ise 50 °C civarında salınım yapmışlardır.

Florokarbon keçelerin sıcaklıkları, Şekil A.18'de görüldüğü gibi her iki basınç değeri için de 0,45 µm yüzey pürüzlülük değerindeki soldan taşlanmış disk ile beraber çalıştığında 62 °C sıcaklıkta sabitlenmiştir. 0,3 bar basınç altında 2,2 µm yüzey pürüzlülüğündeki disk ile çalışan keçenin sıcaklık artışı 62. dakikaya kadar devam edip 56 °C' de rejim sıcaklılığına ulaşmıştır. Bununla beraber 0,0063 gram yağ kaçağı tespit edilmiştir.

Silikon keçeler 45 mm çaplı, 0,45, 1,1, ve 2,2 µm yüzey pürüzlülük değerindeki soldan taşlanmış disklerle 0,1 bar ve 0,3 bar basınç altında çalışmasıyla Şekil A.19'daki gibi keçe sıcaklığının zamana bağlı değişim grafiği elde edilmiştir. 3 farklı yüzey pürüzlülüğü için de keçe sıcaklıklarında basınca bağlı önemli bir değişim gözlenmemiştir.

Şekil A.20'de florokarbon keçenin soldan taşlanmış 3 farklı yüzey pürüzlülüğü için ($R_a=0,46 \mu m$, $R_a=1,1 \mu m$, $R_a=2,3 \mu m$) sıcaklık zaman değişimi verilmektedir. Sıcaklık genel olarak 30. dakikaya kadar artış eğilimi, daha sonra ise sabit kalma eğilimi göstermektedir. Rejim sıcaklıklarının 53°C ile 61°C arasında olduğu görülmektedir.

Nitril, florokarbon ve silikon keçelerin yaklaşık bir saatlik çalışma sonucunda ölçülen yağ kaçağı miktarları Tablo A.1 de görülmektedir. Tablo incelendiğinde nitril ve silikon keçeler de ölçülebilir bir yağ kaçağı gözlenmemesine karşılık florokarbon keçede yağ kaçağı gözlenmiştir. 50 mm çaplı soldan taşlanmış 0,46 µm yüzey pürüzlülüğüne sahip diskle çalıştırılmış keçe dışında, genel olarak en yüksek yüzey pürüzlülük değerinde yağ kaçağı görülmektedir. Ancak Sağdan taşlanmış disklerde daha yüksek bir yağ kaçağının görülmesi nedeni ile pürüz yönlendirmesinin etkin bir parametre olduğu söylenebilir.

22 saatlik çalışmanın sonucunda silikon, nitril ve florokarbon keçeler 45 mm çaplı farklı yüzey pürüzlülük değerlerine sahip disklerle 0,5 bar basınçta 22 saat süre çalıştırılarak, keçelerde meydana gelen yağ kaçağı gözlenmiştir. Keçeler ve yağ kaçağı miktarları Tablo A.2'de verilmiştir. Buna göre 0,44 µm değerli disk için Nitril keçede 1,8327 gr, florokarbon keçede 1,2778 gr yağ kaçağı görülmüş iken diğer yüzey pürüzlülük değerlerinde ve silikon keçe için ölçülebilir yağ kaçağına rastlanmamıştır. Soldan taşlanmış disklerle çalışan nitril keçede 0,45 µm değerli disk için 0,0728 gr ve florokarbon için 0,009 gr yağ kaçağı ölçülmüştür. 1,1 µm değerli diskle çalışan silikon keçe için 1,8776 gr yağ kaçağı ölçülmüştür. 2,2 µm yüzey pürüzlülük değerinde nitril keçede 2,2207 gr, florokarbon keçede 4,6628 gr yağ kaçağı tespit edilmiştir. Genel olarak tek bir keçenin çalıştırılması durumunda 1 gr yağ kaçağı ölçülmesi durumunda keçenin yağ kaçırdığı söylenebilir. Buna göre, sağdan taşlanma için düşük yüzey pürüzlülük değerleri için etkin bir yağ kaçağı ölçülebilirken, soldan taşlanma için yüksek pürüzlülük değerlerinde etkin bir kaçak gözlenmiştir.

Keçelerin yüzeyleri optik mikroskop altında 40 kat büyütülerek incelenmiş ve yağ kaçağına etki eden faktörle araştırılmaya çalışılmıştır. Keçelerin rejim sıcaklığına ulaşıncaya kadar çalışması sonucunda Şekil B.1'de florokarbon keçelerin yüzey filmleri ve temas bandı oluşumu görülmektedir. Bölüm 2 de bahsedildiği üzere kullanılmamış keçeler için temas bandı genişliği 0,10-0,15 mm arasında olmakla beraber 500-1000 saat çalışmadan sonra bu genişlik 0,2-0,3 mm' ye çıkabilmektedir. En geniş temas bandı sağdan taşlanmış, 2,1 µm yüzey pürüzlülüğüne sahip disk üzerinde çalışan ve soldan taşlanmış 2,2 µm yüzey pürüzlülüğüne sahip diskler çalışan florokarbon keçelerde görülüp, florokarbon keçelerin temas bandı genişlikleri yaklaşık 0,07-0,14 mm arasındadır.

Nitril keçeye ait yüzey filmleri Şekil B.2 de yer almaktadır. Nitril keçelerin yüksek sıcaklık dirençleri düşüktür. Dolayısıyla aralıksız çalışma şartlarında keçe sıcaklığı aşırı yükselmektedir. Böylece keçe dudağında elastikiyet kaybı olmakta, çatlaklar ve sertleşmeler meydana gelmektedir [10, 21]. Şekil B.2.c' deki nitril keçe dudağında eksenel yönde kılcal çatlak oluşumları ve geniş bir temas bandı görülmektedir. Şekil B.2 (b) ve (d) de ise keçe yüzeyinde gözenekler vardır. Nitril keçelerin temas bandı genişliği yaklaşık olarak 0,07 mm ile 0,17 mm arasında değişmektedir.

Silikon keçelerde ise genel olarak temas bandı ve çevresinde renk değişimleri ve siyah nokta şeklinde lekeler bulunmaktadır (Şekil B.3). Renk değişimleri ve yağ içerisindeki karbonun çöküp siyah lekeler oluşturması ısı sonucunda meydana gelmektedir [4]. Silikon keçelerin temas bandı genişlikleri ise 0,1 mm ile 0,22 mm arasında değişim göstermektedir.

50 mm çaplı diskle çalışan florokarbon keçelerde (Şekil B.4) temas bandı genişlikleri yaklaşık 0,08 ile 0,2 mm arasında olup sağdan taşlanmış 2,1 μm yüzey pürüzlülüğüne sahip disk için temas bandı genişliği 0,125 mm' dir (Şekil B.4.c).Şekil B.4. (a) da temas bandında oluk meydana gelmiştir.

22 saatlik çalışma sonunda florokarbon, silikon ve nitril keçelerin 40 kat büyütülmüş yüzey filmleri incelenmiştir. Şekil B.5' te florokarbon keçelerde renk değişimlerinin ve keçe dudağında yanmanın olduğu söylenebilir. Florokarbon keçeler Şekil B.5 (a) da 0,12 mm, Şekil B.5 (d) de 0,14 mm ve Şekil B.5 (f) de 0,1 mm civarlarında temas genişliğine sahip olup bu keçeler için yağ kaçağı da ölçülmüştür. Şekil B.6 daki nitril keçeler için temas bandı genişlikleri 0,2 mm ile 0,4 mm arasında değişmektedir. Ayrıca kılcal çatlaklarda gözlenmektedir. Silikon keçelerin yüzey filmleri Şekil B.7 de görülmektedir. Genel olarak silikon keçelerde renk değişimleri görülmekle beraber temas bandı genişlikleri 0,19-0,35 mm arasındadır.

ISO 6194/4 standardına göre [23] performans testi yapılacak sentetik keçeler için yağlayıcı akışkan sıcaklığı 93 °C \pm 3 °C, akışkan milin ortasına gelecek seviyede olmalı ve keçeler 45 dk çalışıp 15 dk dinlendirilmeli veya 20 saat çalışıp 4 saat dinlendirilerek toplamda 240 saat çalışması gerekmektedir. Sunulan bu çalışmada ise keçelerin normal çalışma şartları esas alınmıştır. Yağ, keçeyle temas etmeyecek seviyede olup disk ucuna monte edilen karıştırıcıyla keçenin yağlanması sağlanmaktadır. Ayrıca ölçülebilir bir yağ kaçağı için 0,5 bar maksimum basınç ve 5 m/sn kayma hızında 22 saat süreyle çalıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Takdim edilen bu çalışmada kesin yargıya varılacak sonuçlar elde edilememiştir. Keçe sıcaklığının rejim haline gelinceye kadarki çalışması sonucunda 50 m çaplı kaba pürüzlü disklerle çalışan florokarbon keçede yağ kaçağı gözlenirken, soldan taşlanmış aynı pürüzlülük değerindeki disk için yağ kaçağı gözlenememiştir. Burada pürüz yönlenmesiyle mikro pompalama etkisinden söz edilebilir. 22 saatlik çalışma sonucunda da soldan taşlanmış disklerle çalışan nitril, florokarbon ve silikon keçelerde soldan taşlanmış disklerle çalışan keçeler kıyaslandığında sağdan pürüzlü disklerle çalışan keçelerde mikro pompalama etkisinin fazla olduğu söylenebilir.

Bu çalışmanın sonuçları farklı kayma hızları ile keçe iç ve dış çapları içinde incelerek sonuçlar karşılaştırılabilir. Ayrıca sadece mil yüzeyindeki pürüz

yönlendirilmesinin etkileri dışında, keçe dudağındaki pürüzlerin keçenin çalışması sırasında yön değiştirmesinin ve deformasyonlarının sızdırmazlığa olan etkileri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Degrange, J.M, Thomine, M., Kapsa, Ph., Pelletier, J.M., Chazeau, L., Vigier, G., Dudragne, G., and Guerbé, L., 2005. Influence of viscoelasticity on the tribological behaviour of carbon black filled nitrile rubber (NBR) for lip seal application, *Wear*, 259,684-692.
- [2] Bock, E., Dichtungs, F., Vogt, R., and Schreiner, P., 2003. New radial shaft seal concepts for sealing hydraulic pumps and motors, *Sealing Technology*, Germany
- [3] Embury, P., and Armour, J., 2004, Influence of elastomer compound design on the performance of rotary shaft lip seals, *Sealing Technology*, 2004, pp. 7-10.
- [4] Kunstfeld, T., and Haas, W., 2005. Shaft surface manufacturing metods for rotary shaft lip seals, *Sealing Technology*, 2005, 5-9
- [5] Gorriňo, A., Angulo, C., and Canales, J., 2006. Theoretical analysis of the pumping effect of rotary hydrodynamic seals with elastomeric lips, *Tribology international*, 40, 896-905
- [6] Shi, F., and Salant, R.F., 2001. Numerical study of a rotary lip seal with quasirandom sealing surface, *Journal of Tribology*, 123,517-524
- [7] Salant, R.F., and Shen, D., 2003. Hydrodynamic effects of shaft surface roughness on rotary lip seal behaviour, *Sealing Technology*, 2003, pp. 5-9
- [8] Shen, D., 2005. Deterministic modeling of a rotary lip seals with microasperities on shaft surface, PhD Thesis, *Georgia Institute of Technology*, Germany
- [9] Salant, R.E., and Flaherty, A.L, 1995. Elastohydrodynamic analysis of reverse pumping in rotary lip seals with microasperities, ASME Journal of Tribology, 117, pp. 53-67.

- [10] Shuster, M., Seasons, R., and Burke, D., 1999.Laboratory simulation to select oil and surface treatment, Wear, 225-229, 954-961
- [11] Erdem K., 2004. Makina Elemanları II, Nobel Kitapevi, Adana.
- [12] Müller, H.K., and Nau, B.S., 1998. Fluid sealing technology : principles and applications, M. Dekker, New York.
- [13] www.dichta.com, 19.03.2007. 11:28
- [14] www.gulhankaucuk.com.tr, 08.11.2007. 19:16
- [15] www.shell.com.tr, 23.04.2007 12:37
- [16] Yaşar, H., 1992. Plastikler dünyası, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara
- [17] Akgül, H., 1986. Sızdırmazlık elemanları, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Bursa
- [18] **Skt.,** 2007, Ürün kataloğu

[19] **Brown, M.W.**, 1995. Seals and sealing handbook, Elsevier Advanced Technology, Oxford, England

- [20] **Warring, R.H.**, 1967. Seals and packings, Trade and Technical Press, Morden, England
- [21] **Brink, R.V.**, 1993. Handbook of Fluid SealingSeals and sealing handbook, Elsevier Advanced Technology, Oxford, England
- [22] Demiralp, B., 2001.Sızdırmazlık elemanlarında karşılaşılan problemler, nedenleri ve çözüm önerileri, II. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi
- [23] **ISO 6194/1,** 1982. Rotary shaft lip type seals, Nominal dimensions and tolerances.
- [24] ISO 6194/4, 1988. Rotary shaft lip type seals, Performance test prosedures.
- [23] **RMA OS-1**, 1985. Shaft finishing techniques for radial lip type shaft seals.



Deney Sonuçları (Sağdan Taşlanmış Diskler İçin)



Şekil A.1 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için nitril, florokarbon ve silikon keçelerin sıcaklıklarının ve basınçlarının zamana bağlı değişimi (R_a=0.44 µm, d=45mm)



Şekil A.2 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için nitril, florokarbon ve silikon keçelerin sıcaklıklarının ve basınçlarının zamana bağlı değişimi (R_a=1,2 µm, d=45mm)



Şekil A.3 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için nitril, florokarbon ve silikon keçelerin sıcaklıklarının ve basınçlarının zamana bağlı değişimi (R_a=2,1 μm, d=45mm)



Şekil A.4 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için florokarbon keçenin sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi (R_a=0,44 µm, d=50 mm)



Şekil A.5 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için florokarbon keçenin sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi (R_a=1,1 µm, d=50 mm)



Şekil A.6 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için florokarbon keçenin sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi (R_a=2,3 μm, d=50 mm)



Şekil A.7 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde nitril kauçuk kaplı keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık zaman grafiği (d=45mm)



Şekil A.8 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde florokarbon kauçuk kaplı keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık zaman grafiği (d=45mm)



Şekil A.9 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde silikon kauçuk kaplı keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık zaman grafiği (d=45mm)









Şekil A.11 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için nitril, florokarbon ve silikon keçelerin sıcaklıklarının ve basınçlarının zamana bağlı değişimi (R_a=0.45 μm, d=45mm)



Şekil A.12 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için Nitril, Florokarbon ve Silikon keçelerin sıcaklıklarının ve basınçlarının zamana bağlı değişimi (R_a=1,1 μm, d=45mm)



Şekil A.13 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değeri için Nitril, Florokarbon ve Silikon keçelerin sıcaklıklarının ve basınçlarının zamana bağlı değişimi (R_a=2,2 μm, d=45mm)



Şekil A.14 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde Florokarbon keçenin sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi (R_a=0,46 µm, d=50mm)



Şekil A.15 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde Florokarbon keçenin sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi (R_a=1,1 µm, d=50mm)



Şekil A.16 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde, Florokarbon keçe sıcaklığının ve basıncın zamana bağlı değişimi (R_a=2,3 µm, d=50mm)



Şekil A.17 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde nitril kauçuk kaplı keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık zaman grafiği (d=45mm)



Şekil A.18 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde florokarbon kauçuk kaplı keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık zaman grafiği (d=45mm)



Şekil A.19 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde silikon kauçuk kaplı keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık zaman grafiği (d=45mm)



Şekil A.20 0.1 bar ve 0.3 bar basınç değerlerinde florokarbon kauçuk kaplı keçenin yüzey pürüzlülük değerlerine bağlı olarak sıcaklık zaman grafiği (d=50mm)

TABLO A.1 Keçe Sıcaklığının Rejim Haline Gelinceye Kadar Çalışması Sonrasında Ölçülen Yağ Kaçağı Miktarları

YÖN	MİL ÇAPI d (mm)	ÇALIŞMA BASINCI p (bar)	KEÇE MALZEMESİ	YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ R _{a (} µm)	YAĞ KAÇAĞI (gr)	TEMAS BANDI GENİŞLİĞİ (mm)
Sağ			Nitril	0.44		0.13
				1.2		0.15
				2.1		0.17
			Florokarbon	0.44		0.07
	45	0.1		1.2		0.11
				2.1		0.14
			Silikon	0.44		0.18
				1.2		0.22
				2.1		0.1
			Nitril	0.44		0.13
				1.2		0.15
				2.1		0.17
		0.3		0.44		0.07
Sağ	45		Florokarbon	1.2		0.11
				2.1		0.14
				0.44		0.18
			Silikon	1.2		0.22
				2.1		0.1
			Nitril	0.45		0.07
				1.1	•	0.1
Sol	45	0.1		2.2		0.08
				0.45		0.07
			Florokarbon	1.1		0.07
				2.2		0.08
			Silikon	0.45	•	0.13
				1.1	•	0.15
				2.2		0.1
	45	0.3	Nitril	0.45	•	0.07
				1.1	•	0.1
				2.2		0.08
Sal			Florokarbon	0.45		0.08
501				1.1		0.07
			Silikon	2.2	0.0063	0.08
				0.45		0.15
				1.1	•	0.15
				0.44	•	0.1
Saŭ	50 50	0.1 0.3	Florokarbon Florokarbon	12	•	0.00
Say				21	0.0585	0.125
				0 44	0.0000	0.08
Sağ				12		0.11
				2.1	0.0216	0.12
Sol	50	0.1	Florokarbon	0.45	0.0035	0.12
				1.1		0.2
				2.2		0.16
	50	0.3	Florokarbon	0.45		0.12
Sol				1.1		0.2
				2.2	<u> </u> .	0.16

YÖN	MİL ÇAPI d (mm)	ÇALIŞMA BASINCI p (bar)	KEÇE MALZEMESİ	YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ R _{a (} µm)	YAĞ KAÇAĞI (gr)	TEMAS BANDI GENİŞLİĞİ (mm
Sağ	45	0.5	Nitril	0.44	1.8327	0.4
				1.2		0.3
				2.1		0.29
			Florokarbon	0.44	1.2778	0.12
				1.2		0.13
				2.1		0.18
			Silikon	0.44		0.35
				1.2		0.2
				2.1		0.25
				0.45	0.0728	0.3
			Nitril	1.1		0.2
				2.2	2.2207	0.33
				0.45	.45 0.009	0.14
Sol	45	45 0.5	Florokarbon	1.1		0.12
				2.2	4.6628	0.09
			Silikon	0.45		0.31
				1.1	1.8776	0.21
				2.2		0.19

TABLO A.2 22 saatlik çalışma sonrasında ölçülen yağ kaçağı miktarları



1. Grup deneylerde kullanılan keçelerin optik mikroskop altındaki görünüşleri



(a)







Şekil B.1 Sağdan taşlanmış disklerle çalışan florokarbon keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,44 µm, b. 1,2 µm, c. 2.1 µm)



(a)





(c)

Şekil B.2 Soldan taşlanmış disklerle çalışan florokarbon keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,45 μm, b. 1,1 μm, c. 2,2 μm)



(a)





- (c)
- Şekil B.3 Sağdan taşlanmış disklerle çalışan nitril keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,44 µm, b. 1,2 µm, c. 2.1 µm)



(a)





- (c)
- Şekil B.4 Soldan taşlanmış disklerle çalışan nitril keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,45 μ m, b. 1,1 μ m, c. 2,2 μ m)



(a)







Şekil B.5 Sağdan taşlanmış disklerle çalışan silikon keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,44 μm , b. 1,2 μm , c. 2.1 μm)



(a)





(c)

Şekil B.6 Soldan taşlanmış disklerle çalışan silikon keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,45 μ m, b. 1,1 μ m, c. 2,2 μ m)



(a)






Şekil B.7 Sağdan taşlanmış disklerle çalışan florokarbon keçelere ait yüzey filmleri (d=50 mm, a. 0,44 µm, b. 1,1 µm, c. 2.1 µm)



(d)





Şekil B.8 Soldan taşlanmış disklerle çalışan florokarbon keçelere ait yüzey filmleri (d=50 mm, a. 0,46 μ m, b. 1,1 μ m, c. 2,3 μ m)

2. Grup deneylerde kullanılan keçelerin optik mikroskop altındaki görünüşleri



(a)





(c)

Şekil B.9 Sağdan taşlanmış disklerle çalışan florokarbon keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,44 µm, b. 1,2 µm, c. 2.1 µm)



(a)





Şekil B.10 Soldan taşlanmış disklerle çalışan florokarbon keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, d. 0,45 μm, e. 1,1 μm, f. 2,2 μm)



(a)





- (c)
- Şekil B.11 Sağdan taşlanmış disklerle çalışan nitril keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,44 μ m, b. 1,2 μ m, c. 2.1 μ m)



(a)





(c) Şekil B.12 Soldan taşlanmış disklerle çalışan nitril keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,45 μm, b. 1,1 μm, c. 2,2 μm)



(a)





(c)

Şekil B.13 Sağdan taşlanmış disklerle çalışan silikon keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,44 μ m, b. 1,2 μ m, c. 2.1 μ m)



(a)





Şekil B.14 Soldan taşlanmış disklerle çalışan silikon keçelere ait yüzey filmleri (d=45 mm, a. 0,45 µm, b. 1,1 µm, c. 2.2 µm)



45 mm ve 50 mm çaplı disklere ait yüzey profilleri



Şekil C.1 Sağdan taşlanmış R_a = 0,44 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=45 mm)



Şekil C.2 Sağdan taşlanmış R_a = 1,2 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=45 mm)



Şekil C.3 Sağdan taşlanmış R_a = 2,1 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=45 mm)



Şekil C.4 Soldan taşlanmış R_a= 0,45 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=45 mm)



Şekil C.5 Soldan taşlanmış R_a = 1,1 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=45 mm)



Şekil C.6 Soldan taşlanmış R_a = 2,2 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=45 mm)



Şekil C.7 Sağdan taşlanmış R_a = 0,44 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=50 mm)



Şekil C.8 Sağdan taşlanmış R_a = 1,1 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=50 mm)



Şekil C.9 Sağdan taşlanmış R_a = 2,1 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=50 mm)



Şekil C.10 Soldan taşlanmış R_a = 0,46 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=50 mm)



Şekil C.11 Soldan taşlanmış R_a = 1,1 µm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=50 mm)



Şekil C.12 Soldan taşlanmış R_a= 2,3 μm pürüzlülük değerli diske ait yüzey profili (d=50 mm)

ÖZGEÇMİŞ

Yakut Kerküklü, 1982 yılında Kerkük' te doğdu. İlk ve orta öğrenimini Küçükçekmece İlköğretim Okulunda tamamladıktan sonra 1996 yılında Orhan Cemal Fersoy Lisesi' ne girdi. 2000 yılında buradan mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne girdi ve 2004 yılında mezun oldu. 1 sene yurtdışında kaldıktan sonra 2005 yılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Anabilim dalı Konstrüksiyon Programında Yüksek Lisans öğrenimine başladı.