

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZLI AMORTİSÖRLERDE MİL İLE KEÇE
ARASINDAKİ TRİBOLOJİK ETKİLEŞİMLERİN
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Çağatay Berkan YALÇIN**

**Danışman
Doç. Dr. Soner SAVAŞ**

Yüksek Lisans Tezi

**Ocak 2020
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZLI AMORTİSÖRLERDE MİL İLE KEÇE
ARASINDAKİ TRIBOLOJİK ETKİLEŞİMLERİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Çağatay Berkan YALÇIN**

**Danışman
Doç. Dr. Soner SAVAŞ**

**Ocak 2020
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Çağatay Berkan YALÇIN

İmza


YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Gazlı Amortisörlerde Mil ile Keçe Arasındaki Tribolojik Etkileşimlerin İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tezi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Çağatay Berkan YALÇIN

İmza

Danışman

Doç. Dr. Soner SAVAŞ

İmza

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD Başkanı

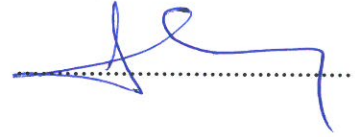
Doç. Dr. M. Serdar ÖNSES

Doç. Dr. Soner SAVAŞ danışmanlığında Çağatay Berkan YALÇIN tarafından hazırlanan “Gazlı Amortisörlerde Mil ile Keçe Arasındaki Tribolojik Etkileşimlerin İncelenmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

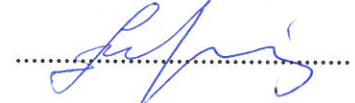
17.01.2020

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Soner SAVAŞ



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Elif YILMAZ



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şaban Murat ÜNLÜ



ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 24/01/2020 tarih ve 2020/06-07 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Mehmet Akkurt

21.01.2020

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü



TEŞEKKÜR

“Gazlı Amortisörlerde Mil ile Keçe Arasındaki Tribolojik Etkileşimlerin İncelenmesi” isimli tez çalışmamın konu seçiminde, yürütülmesinde destek ve yardımlarını esirgemeyen Global Amortisör Sanayi ve Dış Ticaret Ltd. Şti.’ye ve değerli tez danışmanım Doç. Dr. Soner SAVAŞ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamımın her döneminde, her türlü desteği ve fedakârlığı sağlayan her zaman yanımda olan, çok sevgili aileme en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Çağatay Berkan YALÇIN

Ocak 2020, KAYSERİ

GAZLI AMORTİSÖRLERDE MİL İLE KEÇE ARASINDAKİ TRİBOLOJİK ETKİLEŞİMLERİN İNCELENMESİ

Çağatay Berkan YALÇIN

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2020
Danışman: Doç. Dr. Soner SAVAŞ

ÖZET

Gazlı amortisörler, birçok uygulamada yük ve ağırlık ihtiva eden kapakları eş kuvvet ile dengelemek ve kullanım alanında hız kontrolü sağlamak, damperlemek hatta yükü kaldırmak gibi roller oynamaktadırlar. En bilinenleri; arabaların bagaj ve motor kapakları, mobilya kapakları, makina kapakları, ameliyat masaları, çeşitli endüstriyel uygulamalar, vb.

Gazlı amortisörlerin sahip olduğu gaz basıncının ortalama %10'u kaybedilene kadar açma-kapama sayısı genellikle kullanım ömrünü belirtmektedir. Çalışma ömrünü belirleyen sızdırmazlığı sağlayan elemanlar üzerindeki tribolojik mekanizmada sürtünme ve aşınma rol oynamaktadır. Mil malzemesi ile sızdırmazlık elemanı arasındaki olaylar dizisine mil malzemesinin yüzey pürüzlülüğü, sızdırmazlık parçası olan keçe ve o-ringlerin malzeme özellikleri etkindir. Mil malzemesinin pürüzlülüğünü iyileştirmek ve aşınmaya karşı direncini arttırmak için farklı prosesler ile yüzey özelliği iyileştirilmektedir.

Bu çalışmada aynı çaplarda ve aynı özelliklerde hazırlanmış olan gazlı amortisörlerde nitrürasyon uygulanmış C35, krom kaplanmış C45 ve krom kaplanmış SS316 olarak 3 farklı milin ve farklı özelliklerdeki keçelerin amortisör ömrüne olan etkisi tribolojik olarak araştırılmıştır. Yapılan testlerde yüzey pürüzlülükleri, sertlikleri, aşınma dirençleri, sürtünme kuvvetleri, ömür testlerindeki gaz kayıpları ölçülmüş ve yorumlanmıştır. Sonuç olarak en iyi amortisör ömrüne, düşük pürüzlülükteki mil ve PU keçe ile ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gazlı Amortisör, Mil Yüzeyi, Triboloji, Keçe, Aşınma, Çalışma Ömrü

INVESTIGATION OF THE TRIBOLOGICAL INTERACTIONS BETWEEN ROD AND SEAL IN GAS SPRINGS

Çağatay Berkan YALÇIN

Erciyes University, Institute of Science and Technology
Master Thesis, January 2020
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Soner SAVAŞ

ABSTRACT

Gas springs balancing the lids with load and weight with equal force and speed control/damper in the field of use. They even play roles like lifting loads. Most known; luggage and engine covers of cars, furniture covers, machine covers, surgical tables etc.

The number of opening and closing times is usually indicated by the lifetime of the gas springs until 10% of the gas pressure is lost. Friction and abrasion play a role in the tribological mechanism on the sealing elements that determines the working life. The events between the rod material and the sealing element affect the surface smoothness of the rod material. Surface properties with different processes are improved to improve the resistance of the spindle material to abrasion and resistance to abrasion.

In this study, the effect of the rod material and surface properties was investigated tribologically on the life of the gas springs. Three different rods were examined as gas springs of the same diameter and prepared with the same specifications, as nitrided C35, chromium plated C45 and chromium plated SS316. Surface imperfections, hardnesses, abrasion resistance, friction forces, gas losses in the life test were measured and interpreted in the tests made. As a result, the best gas spring life is achieved with low-roughness rod and PU seal.

Keywords: Gas Spring, Rod Surface, Tribology, Seal, Wear, Cycle-Life

İÇİNDEKİLER

GAZLI AMORTİSÖRLERDE MİL İLE KEÇE ARASINDAKİ TRİBOLOJİK ETKİLEŞİMLERİN İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL ONAY.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi

1.BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Tezin Konusu.....	1
1.2. Konunun Önemi.....	4
1.3. Tezin Amacı.....	7

2.BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE YÖNTEM

2.1. Literatür Araştırması	9
2.2. Gazlı Amortisör Üretimi	13
2.3. Gazlı Amortisör Fonksiyonu.....	15
2.4. Amortisör Çalışması Esnasında Basınç Değişiminin Etkisi.....	19
2.5. Amortisörün Montaj ve Kullanım Yönünün Önemi	20

2.6. Malzemeler	21
2.7. Testler	26
2.8. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü	26
2.9. Kuvvet Ölçümü	28
2.10. Açma-Kapama (Çevrim) Ömür Testi	30

3.BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR

3.1. Giriş	33
3.2. Gazlı Amortisör Numune Hazırlama	34
3.3. Mil Salgısının Amortisör Ömrüne Olan Etkisi	35
3.4. Mil Yüzey Pürüzlülüğünün Amortisör Ömrüne Olan Etkisi	36
3.4.1. Test Sonuçları	37
3.5. Keçe Malzemesinin Amortisör Ömrüne Etkisi (PU Keçe)	42

4.BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar	47
4.2. Öneriler	49
KAYNAKÇA	50
EKLER	52
EK 1. Test Şablonu & Numune Parametreleri	52
EK 2. Test Sonuçları Veritabanı ŞABLONU	53
ÖZGEÇMİŞ	54

KISALTMALAR

QPQ [®]	: Nitrürasyon Prosesinin Uygulandığı Metodun Kısaltması (Nitrürasyon/Polisaj/Nitrürasyon)
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TT	: Zaman-Sıcaklık Diyagramının kısaltması
®	: Ticari Marka
Ø	: Çap
T _g	: Camsı Geçiş Sıcaklığı
%	: Yüzde
m/sn.	: Hız birimi, metre/saniye
kg/m ³	: Metre küp başına kilogram
mm ² /sn.	: Saniye başına milimetre kare
g/cc	: Özkütle birimi, 1 cc (1 santimetreküp) hacim başına gram
°C	: Santigrat derece
R _a	: Yüzey pürüzlülük ortalama değeri
R _z	: Yüzey pürüzlülük boyunca dikey olarak maksimum ve minimum farkı
F _{1,2,3,4}	: Amortisör kuvveti
F _R	: Sürtünme kuvveti, amortisör için F ₃ ile F ₁ arasındaki fark
sn.	: Saniye
N	: Newton
Kgf	: Kilogram kuvvet, 9.8065 newton'a eşittir.
gr.	: Gram
Kg.	: Kilogram
ShR	: Shore , sertlik birimi

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. NBR 90 ShR Keçe Malzemesinin Özellikleri [11].....	24
Tablo 2.2. PU 90ShR Keçe Malzemesinin Özellikleri [12].....	25
Tablo 2.3. Kullanılan Yağın Fiziksel Özellikleri (Shell Spirax S2 ATF AX) [13].	25
Tablo 3.1. Test Edilecek Amortisörlerin Özellikleri.....	36
Tablo 3.2. Numune Kodlama Yapısı.	37
Tablo 3.3. Test Öncesi ve Sonrası Yüzey Pürüzlülükleri Ölçümleri ve Gaz Kayıpları..	37
Tablo 3.4. CNxx Kodlaması ile Hazırlanan C35 + Nitrürasyonlu Mil ile Hazırlanmış Numunelerin Ömür Testi Sonuçları ve Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri.	38
Tablo 3.5. CCxx Kodlaması ile Hazırlanan C45 + Krom Kaplamalı Mil Numunelerinin Ömür Testi Sonuçları ve Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri.	39
Tablo 3.6. SCxx Kodlaması ile Hazırlanan SS316L + Krom Kaplamalı Mil Numunelerinin Ömür Testi Sonuçları ve Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri.	40
Tablo 3.7. PU Keçe Testindeki Numune Özellikleri.	43
Tablo 3.8. PU Keçeli Amortisör Ömür Testi Sonuçları.....	43
Tablo 4.1. Ömür Testi Öncesi ve Sonrasındaki Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Gazlı amortisörün genel yapısı (mil, boru, yataklama parçaları, keçe, o-ring, piston).....	2
Şekil 1.2. Gazlı amortisörün kapanma hareketi.	3
Şekil 1.3. Keçe'nin mil ve boru yüzeyindeki sızdırmazlık etkileşiminde olan iç ve dış dudak yapısı.	8
Şekil 2.1. TUFFTRIDE® ticari ismi ile QPQ prosesi TT (zaman-sıcaklık) diyagramı [5].	10
Şekil 2.2. Farklı kaplama/ısıtılmalı ve kaplamasız C45 mil malzemesinin tuz testi ile korozyon dayanımı sonuçları, C45, C45+ QPQ®, C45+20 µm /40 µm krom kaplama, 20 µm nikel kaplama korozyon dayanımı [5].....	11
Şekil 2.3. C45 çelik mil malzemesi üzerinde QPQ® prosesinin aşamalarında ve sert krom kaplamalı C45 üzerinden elde edilen sürtünme katsayıları [5].	11
Şekil 2.4 Keçe dudaklarının mil yüzeyi ile arasında oluşan etkileşim arayüz mesafesine göre keçe dudaklarına etki eden kuvvet miktarı [10].	13
Şekil 2.5. Gazlı amortisör üretim aşamaları.....	14
Şekil 2.6. Amortisör açık halde iken gaz basıncı ihtiva eden hacim, kesitte yeşil renk ile gösterilmiştir. Ölçüler mm'dir.	17
Şekil 2.7. Amortisör %50 (20 mm) kapatıldığında gaz basıncı ihtiva eden hacim, kesitte sarı renk ile gösterilmiştir (ölçüler mm'dir).....	17
Şekil 2.8. Amortisör tamamen kapatıldığında gaz basıncı ihtiva eden hacim, kesitte kırmızı renk ile gösterilmiştir. Ölçüler mm'dir.	18
Şekil 2.9. Amortisör kapanırken teorik kuvvet değişimi, Ø8 mm mil çapı, Ø16mm boru iç çapında 100 mm stroke bir amortisör tasarımında amortisör kapanması esnasındaki teorik kuvvet değişimi.	19
Şekil 2.10. Amortisör kapanırken teorik iç basınç değişimi grafiği, Ø8 mm mil çapı, Ø16 mm boru iç çapında 100 mm stroke bir amortisör tasarımında amortisör kapanması esnasındaki teorik iç basınç değişimi.	19
Şekil 2.11. Ömür testinde amortisörün dikey çalışması ve ömür testinde 1 çevrim (cycle) olarak ifade edilen kapama-açma süreci.	20
Şekil 2.12. Nitrülenmiş C35 milin ve nitrürasyon tabakasının kesit SEM görüntüsü (tabaka kalınlığı ~15 µm).	22

Şekil 2.13. Nitrürlenmiş C35 milin ve nitrürasyon tabakasının kesit SEM Görüntüsü (tabaka kalınlığı ~15 µm).....	22
Şekil 2.14. Krom kaplı C45 milin ve kaplama tabakasının kesit optik.....	23
Şekil 2.15. Krom kaplı SS316 milin ve kaplama tabakasının kesit optik.....	24
Şekil 2.16. Mitotuyo surfest SJ-210 ile amortisör mil yüzeyinde yüzey.....	26
Şekil 2.17. Örnek yüzey pürüzlülüğü ölçüm grafikleri.....	27
Şekil 2.18. Yüzey pürüzlülüğü parametresi olan R_a değerinin grafik üzerinde gösterimi.	27
Şekil 2.19. Yüzey pürüzlülüğü parametresi olan R_z değerinin grafik üzerinde gösterimi.	28
Şekil 2.20. Gazlı amortisör kuvvet ölçümü diyagramında F_1, F_2, F_3, F_4 noktaları.	28
Şekil 2.21. ZWICK FB020 üniversal amortisör kuvvet ölçümü test cihazı.	29
Şekil 2.22. Gazlı amortisör ömür testi cihazı.....	31
Şekil 2.23. Gazlı amortisör ömür testi cihazında amortisörden kaçan yağın toplanacağı konik dip havuz.....	32
Şekil 3.1. Gazlı amortisör parçalarının montajlanması.....	34
Şekil 3.2. Salgının sürtünme kuvvetine olan etkisi, sürtünme kuvveti-çevrim grafiği... 35	
Şekil 3.3. Salgının amortisör ömrüne olan etkisi, yüzde gaz kaybı – Çevrim grafiği. ...36	
Şekil 3.4. Test sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri grafiği.	41
Şekil 3.5. Test sonucunda elde edilen ortalama yüzde gaz kayıpları grafiği.	41
Şekil 3.6. Test sonucunda elde edilen ortalama sürtünme kuvvetleri grafiği.	42
Şekil 3.7. Nitrürlenmiş C35 milin ömür testi sonrası yüzey optik mikroskop görüntüsü (ok kayma yönünü göstermektedir).	44
Şekil 3.8. Nitrürlenmiş C35 milin ömür testi sonrası yüzey SEM görüntüsü (ok kayma yönünü göstermektedir).	45
Şekil 3.9. Krom kaplı SS316 milin ömür testi sonrası yüzey optik mikroskop görüntüsü (ok kayma yönünü göstermektedir).	45
Şekil 3.10. Krom kaplı SS316 milin ömür testi sonrası yüzey optik mikroskop görüntüsü (ok kayma yönünü göstermektedir).	46
Şekil 3.11. Krom kaplı SS316 milin ömür testi sonrası yüzey SEM görüntüsü (ok kayma yönünü göstermektedir).	46

1. BÖLÜM

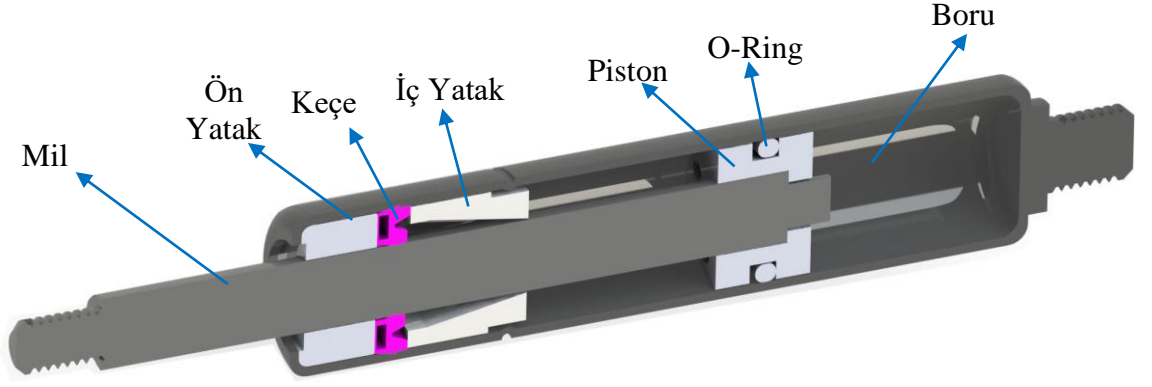
GİRİŞ

1.1. Tezin Konusu

Son yıllardaki bilimsel gelişmeler ışığında tribolojik olayların daha iyi anlaşılması ve önem verilmesi ile sanayiler ürünleri üzerinde kullanım ömürlerini arttırmak dolayısıyla kalitelerini arttırmak yönünde çalışmalar yapmaktadır. Dr. Soydan kitabında yılda 80 milyar \$ hacmine ulaşan ara yüzey etkileşiminden kaynaklanan kayıp maliyetin 20 milyar\$'lık kısmının piston segmanı/silindir yataklama parçalarını oluşturduğunu ifade etmiştir [1]. Gazlı amortisörlerde de mil yüzeyi boyunca çalışan sızdırmazlık ve yataklama elemanlarının oluşturduğu tribolojik olaylar/kayıplar, bu parçaların en önemli unsurlarından biri olan kullanım ömürlerini doğrudan etkilemektedir. Uluslararası pazardaki birçok gazlı amortisör üreticisinin birbirine çok yakın tasarımlarda üretimler yapmasına karşın ürünleri için sundukları kullanım ömürleri konusunda büyük bir rekabet söz konusudur. Tasarımlar çok yakın olmasına karşın farklılık ise, yüzey mühendisliği alanındaki iyileştirmeler, sızdırmazlık parçalarının tasarımları ve malzeme seçimleridir.

Ülkemizde gazlı amortisör sektöründe hem ulusal pazarda hem de uluslararası pazarda rekabet edebilmek için sanayinin yüzey mühendisliği alanında çalışmalara ihtiyacı açıktır. Ayrıca ağır metal sektörüne dahil olduğundan üretilen ürünlerin kullanım ömrü ekolojik olarak da evrensel bir öneme sahiptir.

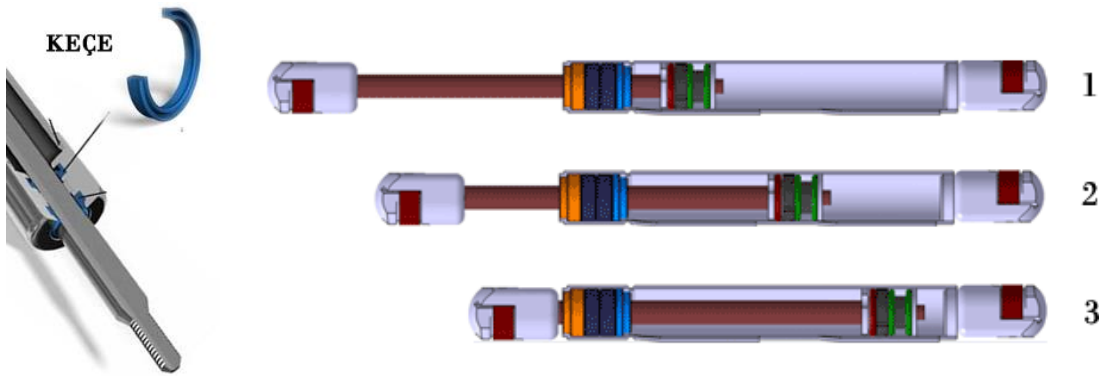
Gazlı amortisörler genellikle yükü kaldırma, kaldırmayı kolaylaştırma, indirme fonksiyonunda yük dengeleme, hareketin son aşamasını yavaşlatıp ani çarpma etkisini sönmüleme vb. amaçlar ile kullanılan mekanizmalardır.



Şekil 1.1. Gazlı amortisörün genel yapısı (mil, boru, yataklama parçaları, keçe, o-ring, piston).

Gazlı amortisör, silindir şeklinde gaz basıncı olan kapalı bir hacimde mil hareketi esnasında sızdırmazlığı sağlamak için keçe ve o-ring gibi sızdırmazlık parçaları kullanılan bir üründür (bakınız Şekil 1.1). Milin iç hacme doğru ilerlemesi ile sıkıştırılabilen gaz hacmini azaldıkça, yani amortisör kapandıkça iç basıncı artar. Gaz her zaman daha büyük bir hacme geçmek isteyeceğinden, mil dışarı yönde bir itme kuvveti sağlar. Standart gazlı amortisörlerin yükü itme veya kaldırma gibi fonksiyonu, gazların sıkıştırılabilir olması özelliğinden gelmektedir. Bu fiziksel fonksiyon, gazlı amortisörlerin ana çalışma mekanizmasıdır. Öte yandan bu mekanizma içerideki basıncın korunabileceği kadar bir ömre sahip olacaktır. Dolayısıyla amortisörlerin ömrüne etki edebilecek en önemli nokta sızdırmazlık fonksiyonunu etki edebilecek tüm parametreleri kapsamaktadır.

Milin tam olarak dışarıda olduğu durum açık boy, milin tam olarak içeride olduğu durum kapalı boy ölçülerini belirler. Kapalı boy ile açık boy arasındaki milin çalışma mesafesi ise çalışan stroke olarak ifade edilir. Gazlı amortisör her kapanıp-açıldığında sızdırmazlık parçaları ve mil yüzeyi arasında meydana gelen tribolojik olaylar nedeniyle gaz ve yağ kaybı yaşanır. Gazlı amortisörün toplam basıncının genellikle %10'u veya uygulamaya göre talep edilen yüzde miktarında gaz basıncı kaybedene kadar sağlayabildiği açma-kapama sayısı çalışma ömrü olarak ifade edilir. Bunun yanı sıra sürtünme kuvveti de amortisörün tüm çalışması boyunca açma ve kapama arasındaki kuvvet farklılığını önemli ölçüde etkilediğinden, dikkat edilmesi ve tolerans içinde kontrol altına alınması gereken bir etkendir.



Şekil 1.2. Gazlı amortisörün kapanma hareketi.

Şekil 1.2’de 1’den 3’e doğru amortisörün kapanma hareketi gösterilmiştir. Mil içeriye ilerledikçe içerideki boş hacim mil hacmi kadar daraldığından gaz basıncı artmaktadır. Keçe ise kesit görünümünde ifade edilmiştir. Gazlı amortisörler otomotiv sektöründe bagaj ve kaput kapaklarında, denizcilik sektöründe gemi ve yatlarda yukarı yönde açılan kapaklarında, mobilya sektöründe mutfak dolabı kapakları, yukarı yönlü açılıp kapanan yataklarda ve baza mekanizmasında, medikal sektörde hasta ve ameliyat yataklarında, fizyoterapi aletlerinde, medikal yemek masalarında, matbaa sektöründe baskı makinalarında, tarım sektöründe, uzay araçlarında, savunma sanayisinde ve endüstriyel bir çok uygulamada önemli fonksiyonel rol almaktadır.

Otomotiv sektörüne bakıldığında 1928 yılından bugüne dek gazlı amortisör kullanımı yaygınlaşmış ve bugünlere kadar aynı fiziksel çalışma prensibi ile üretilmektedir. Otomotiv sektörüne Avrupa’nın en büyük hacminde amortisör üreticilerinden olan Stabilus firması resmi web sitesinde yayınladığı finansal raporuna göre 2018 yılında 125 milyon’un üzerinde gazlı amortisör üretimi ile 962,6 milyon Euro’luk cirosuna %6 büyüme ile ulaştı. Yine bu raporunda %63 oranında otomotiv sektörüne, %37 oranında ise diğer endüstri sektörlerine üretim yaptığını açıkladı [2].

Bu tezin konusu gazlı amortisörlerde 3 farklı mil malzemesinin ve farklı özelliklerdeki keçelerin amortisör ömrüne olan etkisinin tribolojik olarak araştırılmasıdır. Kullanılacak olan miller nitrürasyon uygulanmış C35, krom kaplanmış C45 ve krom kaplanmış SS316 ‘dır. Keçeler ise 90 ShR sertlikte olan NBR ve PU malzemelerden tercih edilmiştir.

1.2. Konunun Önemi

Küresel olarak dünya teknolojisi aşınma kaynaklı kayıpların azaltılması dolayısıyla triboloji alanında daha fazla çalışma yapılması ve kaynakların daha az tüketilip daha uzun süre kullanılması yönünde bir trend ile gelişimine devam etmektedir. Bu vizyon da gazlı amortisörler incelendiğinde, gerek ihtiva ettiği yüksek teknoloji prosesler ve hammadde içeriğinin verimli tüketilmesi, gerek fonksiyonel özelliği sebebi ile ürün kalitesinin ve kullanım ömrünün geliştirilmesi ihtiyacı açıktır. Dünya genelinde neredeyse tüm sektörlerdeki uygulama alanında kritik fonksiyonel görev üstlendiği ve tüketim adetlerinin finansal olarak oluşturduğu büyük pasta dilimi giriş bölümünde ifade edilmişti. Buna ek olarak ürünün kullanım yerinde herhangi bir enerji kaynağı sarf etmeden gaz basıncından faydalanılarak çalışması ise ürüne ve kullanım yerine ayrı bir önem katmaktadır. Gazlı amortisör temelinde aşağıdaki hammaddeler kullanılarak üretilmektedir;

❖ MİL ve BORU MALZEMESİ (Ağırlıklı olarak)

- Düşük Karbon Çelikleri
- Paslanmaz Çelik
- Zamak5
- Otomat (9SMnPb28)
- Alüminyum
- Pirinç

❖ UYGULANAN DİFÜZYON veya KAPLAMA İŞLEMLERİ

- Tuz / Gaz Nitrürasyon
- Krom Kaplama
- Epoksi Boya
- Fosfat Kaplama
- Nikel Kaplama

❖ SIZDIRMAZLIK ve YATAKLAMA PARÇASI MALZEMELERİ

- Nitril Kauçuk (NBR)
- PoliÜretan (PU)
- PoliKarbonat (PC)
- PoliAmit – 6,6 (PA6,6)

- Bakalit
- Teflon (PTFE)
- Polioksimetilen (Delrin)

Gazlı amortisörün kullanım ömrünü belirleyen ve çalışma fonksiyonu gereği milin tüp içerisine ilerlemesi ve dışarı çıkması (açılması/kapanması) olayındaki tribolojik olaylar irdelenmek istendiğinde birçok değişken parametrenin varlığı, hangi parametrenin amortisör ömrüne ne kadar etkisi olduğunu tespit etmeyi zorlaştırmaktadır. Bu noktada disiplinler arası bir çalışma yapılması ihtiyacı doğmaktadır. Mil, amortisör içerisine ilerledikçe keçenin mil yüzeyine basan dudağı içe doğru sürtünmeye uğrarken aynı zamanda gaz basıncını etkileyen iç boşluk hacmi azaldıkça (mil içeriye ilerledikçe, bakınız Şekil 2.11), iç basınç artmakta (bakınız Şekil 2.10) ve keçe dudaklarının hareket eden mil yüzeyine yaptığı basınç kuvveti de artmaktadır.

Gazlı amortisörlerin kullanım süreleri 1-3 yıl arasında değişkenlik gösterse de üretici firmalar garanti koşulu sunarken son kullanma tarihi yanı sıra belirli miktarda açma-kapama ile sınırlandırma yaparlar. Özellikle farklı stroke ve farklı çaplardaki gazlı amortisör ürünlerinde sunulan garanti koşulları çok değişkenlik göstermektedir. Bunun sebebi tribolojik testlerde her zaman ifade edilmesi gereken çalışma hızı, aşınmanın yaşandığı toplam yol uzunluğu, ortam sıcaklığı gibi etkenlerin açma-kapama testlerinde dikkate alınması, dolayısıyla daha gerçekçi kontrol kriterlerinden faydalanılmasındandır. Açma-kapama testlerinde ortam sıcaklığının standart gereği 20°C’de sabit tutulması, hareket boyunca çalışma hızının belli olması, çevrim (1 kez açma-kapama hareketi, cycle) olarak ifade edilen ve hesaplandığında toplam sürtünen/aşınan yol uzunluğu gibi kıyaslanabilir rakamsal sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu sonuçlar tribolojik olarak ürünün kullanım ömrünü yorumlamak için gerekli parametreleri sağlamaktadır. Amortisörün bir kez açma-kapama çevrimi, 1 çevrim olarak ifade edilir ve çalışan strok uzunluğunun 2 katı kadar keçenin mil yüzeyinde aşınması söz konusudur (Bakınız Şekil 2.11). Mil çapının değişkenliği ise mili saran keçe dudaklarının daha büyük bir çevre uzunluğuna dolayısıyla daha fazla sızdırmazlık fonksiyonundaki temas/arayüzey alanın ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Tüm bu değişkenlerin dışında, mil yüzeyinin keçe dudaklarını

aşındırmasındaki tribolojik sürecin dikkate alınması ise birçok parametrenin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Kubilay S. ve Serkan K. 2011 yılında yayınladıkları bildiride “Ağır hizmet sektörü için gerçekleştirilecek bir hidrolik silindir tasarımında, çalışma şartlarını göz önünde bulundurarak ve iyice inceleyerek seçimlerin yapılması önemlidir.” demiştir [3]. Bu bağlamda amortisörün ömrüne etki eden çevresel etkenler incelediğinde; basınç, sıcaklık, sisteme gelen eksenel yükler, ortamdaki kir (toz, çamur su vb.), sızdırmazlık elemanlarının seçimini belirleyen ana etkenlerdir. Seçimlerde yapılacak yanlışların, sistemlerde kritik problemlere neden olacağı kesindir denilmiştir [3]. Hidrolik silindirler ile gazlı amortisörler çalışma prensipleri gereği sızdırmazlığın benzer şekilde kritik öneme sahip olduğu mekanizmalardır. Kubilay S. ve Serkan K. Da [3] çalışmasında tasarımın kullanım ömrüne etki eden en kritik noktanın sızdırmazlık olduğunu vurgulamıştır.

Gazlı amortisör üretiminde tribolojik olarak çalışma ömrünü etkileyen parametrelerin neler olduğu ve nasıl yorumlanabileceği konusunda literatürde yeterli çalışma mevcut olmaması, bu sektörde daha verimli bir ürün/üretim sağlamak ihtiyacının her zaman var olması nedenleri ile ekolojik/ekonomik olarak gazlı amortisör çalışma ömürlerinin arttırılma ihtiyacı vardır.

Gazlı amortisörde çalışma ömrünü belirleyen birçok parametre vardır. Bu parametrelerin tümü sabit tutulup birinin değişiminin etkisinden bahsetmek ve diğer olayları düşünmemek olası değildir. Birbirini olumlu olumsuz etkileyen disiplinler arası bir zincir durumu söz konusudur. Dr. Soydan yapmış olduğu literatür araştırmalarında; “Aşınma olayını etkileyen çok sayıda tribolojik parametrenin bulunması ve bunların zamanla değişmesi, ayrıca sürtünme ve aşınma arasında genel geçerliliği olan bağıntıların kurulamaması, bütün aşınma hallerini kapsayan tariflerin yapılmasını ve genel geçerliliği olan çözümlerin bulunmasını oldukça güçleştirmektedir.” demiştir [1].

Gazlı amortisörler otomotiv başta olmak üzere birçok endüstri sektöründe yaygın olarak kullanılan ürünlerdir. Triboloji konusunda yapılan çalışmalar ile birçok sektörde ufak iyileştirmelerin ne kadar büyük maliyet ve verimsizlikten kurtardığı bilinmektedir. Bu anlamda gazlı amortisör sektöründe, tüm gazlı amortisör çeşitlerine etki edecek ve kullanım ömürlerini doğrudan arttıracak olan mil-keçe arasındaki tribolojik olayların

iyileştirilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca son kullanıcıya direkt etkisi olan bir konudur.

Ayrıca Dr. Soydan kitabında “Ülkelerin gelişmişlik seviyesi ile triboloji alanında çalışan araştırmacı sayısı, triboloji eğitim programlarının yoğunluğu, üniversitelerde triboloji araştırma gruplarının oluşumu, araştırma konularının güncelliği ve düzeyi arasında bir paralellik bulunmaktadır. Bunun nedeni, sanayi toplumlarında kötü ve yetersiz tribolojik çözümlerin neden olduğu ekonomik kayıpların oluşturduğu riskin çok daha yakından hissediliyor olmasıdır.” demiştir [1]. Gazlı amortisör özelinde literatür de çok fazla bir çalışmanın olmaması nedeniyle bu çalışma ile literatüre ve sanayiye katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

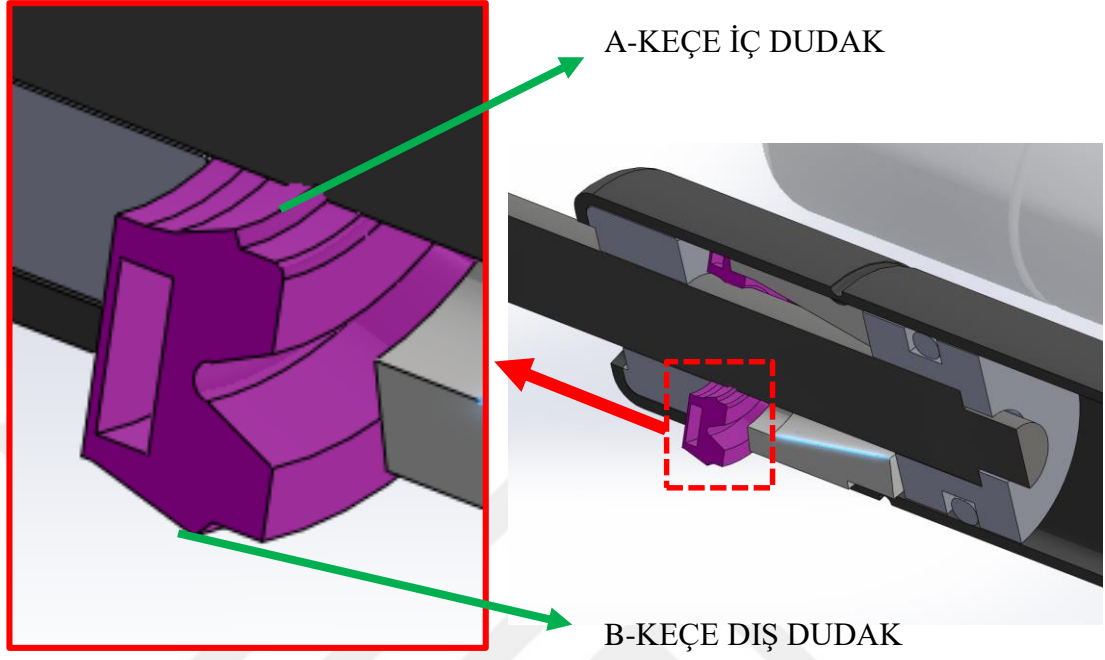
1.3. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, gazlı amortisörlerde kullanılan farklı mil ve keçelerin amortisör ömrüne olan etkisini tribolojik olarak araştırmaktır. Buna ek olarak gazlı amortisör ömrüne etki eden diğer konularda da kısaca bilgi verilecek ve bu konular üzerinde ayrıca çalışılması için ışık olacaktır. Özellikle mil yüzey pürüzlülüğü, keçe malzemesi, mil malzemesi, yüzey pürüzlülükleri, sürtünme kuvvetleri, ömür testi (açma-kapama) kuvvet değişimi sonuçları ile sayısal veriler ile ifade edilecektir. Literatürde gazlı amortisör özelinde çalışmaların çok kısıtlı olması nedeni ile bu alanda ileride yapılacak araştırmaların yolunu açacak ve önceki çalışmaların eksikliklerini gidermeye çalışılacaktır.

KEÇE İÇ DUDAK: İç basınç ile mil yüzeyine baskı yapıp sızdırmazlık sağlayan kauçuk keçe dudağı, mil hareket ettikçe sızdırmazlık görevini hareket ettiği yüzey boyunca sürtünmeye maruz kalarak devam ettirir. Şekil 1.3.’te A tanımı ile gösterilmiştir.

KEÇE DIŞ DUDAK: Boru yüzeyinde sızdırmazlık sağlayan keçe dudağı, sabit bir şekilde sızdırmazlık sağlar. Şekil 1.3’te B tanımı ile gösterilmiştir.

Gerek pnömatik gerek hidrolik birçok mekanizmada aynı tribolojik olaylar görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışma yine buna benzer mekanizmaların tasarımında da yol gösterici olacaktır.



Şekil 1.3. Keçe'nin mil ve boru yüzeyindeki sızdırmazlık etkileşiminde olan iç ve dış dudak yapısı.

2. BÖLÜM

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE YÖNTEM

2.1. Literatür Araştırması

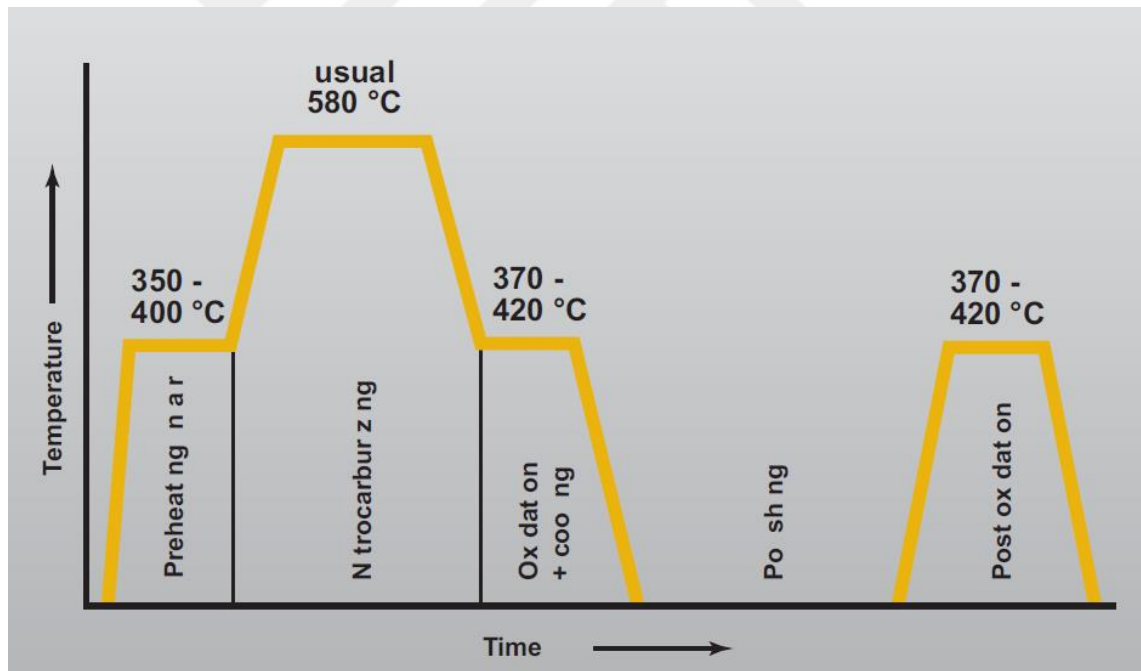
Ahmet Y. ve arkadaşları 2015 [4] yılında bagaj kapağının gazlı amortisör ile açma-kapama mekanizmasını teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Gazlı amortisörün yükü kaldırma fonksiyonu etkisinde, bagajı açmak/kapamak için gereken el kuvveti modellemişlerdir.

Kubilay S. ve Serkan K. 2011 [3] yılında yaptıkları çalışmada gazlı amortisörde kullanılan keçe tasarımını yalnızca hidrolik basınç uygulayarak 311 km boyunca ömür testi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada PU keçe ve 0.879 g/cc yoğunlukta yağ kullanılmıştır. Ömür testi ise $80^{\circ}\text{C} \pm 2$ sıcaklık, 0,4 m/sn açma-kapama hızı ve 250 bar ± 2 bar basınç altında gerçekleştirilmiştir. Testin sonucunda ortalama sızıntı 0,023cc/100m olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla yağ kaybının çalışma ömrü boyunca ne kadar olabileceği konusunda rakamsal veri ortaya koymuşlardır. Ayrıca keçedeki iç dudak üzerinde meydana gelen deformasyonun %50 seviyelerinde olduğunu ifade etmişlerdir [3]. Ancak gazlı amortisörler sahip oldukları boş hacmin genellikle %20'si kadar yağ, %80'i kadar sıkıştırılmış azot gazı ihtiva etmektedir. Bu tez çalışmasında da yapılacak olan ömür testlerinde amortisörün dibinde konik bir havuz kullanılacak, dolayısıyla kaçan yağ miktarı bu havuzdan şırınga ile çekilerek tespit edilebilecektir. Ömür testinin anlatıldığı başlık altında daha detaylı gösterim ve anlatım mevcuttur. Dolayısıyla yağ kaybı olup/olmadığı dikkate alınmış olacaktır.

Dr. Joachim Boßlet yapmış olduğu çalışmasında [5] C35 ile yakın özelliklerde olan C45 mil malzemesi üzerinde QPQ® nitrürasyon prosesini gerçekleştirdikleri, ticari olarak

TUFFTRIDE® olarak isimlendirdikleri üretim reçetesini Şekil 2.1'deki gibi TT diyagramı ile anlatmıştır [5]. Bu tez çalışmasındaki nitrürasyonlu millerde de HEF firması tarafından ilgili QPQ® reçetesi uygulanmış nitrürasyonlu miller kullanılmıştır.

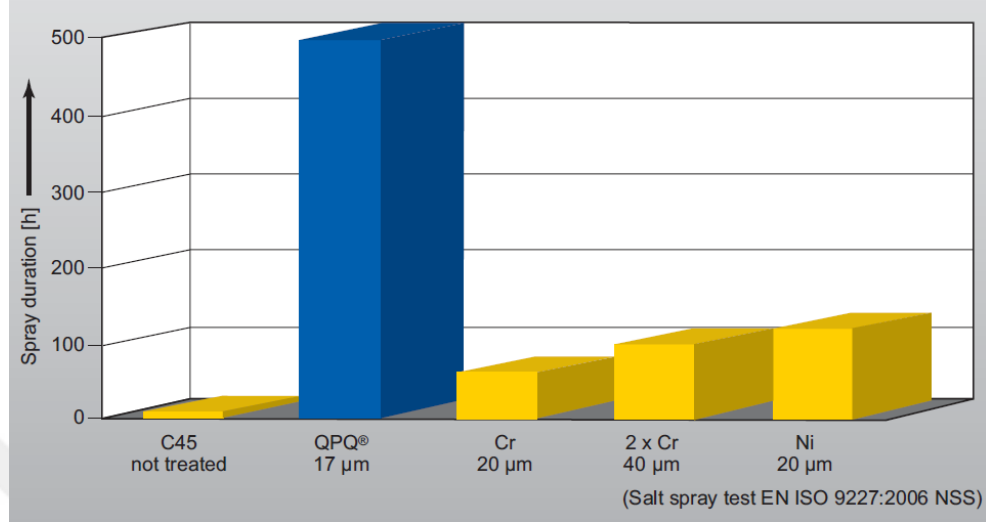
M. T. Bengisu ve A. Akay yapmış oldukları çalışmada [6] “Sürtünme aslında hem etkileşimli yüzeylerin arayüz özelliklerine hem de onları içeren sistemin dinamiğine bağlıdır. Mikroskobik seviyede, yüzeyler birbirine göre hareket ettikçe gerçek temas alanı değişir. Böylece makroskopik düzeyde, toplam sürtünme ve normal kuvvetler zamana bağlı olaylardır” demiştir [6]. Amortisör için bu çalışma değerlendirecek olduğumuzda mil çapı arttıkça sızdırmazlık ile ilgili yüzey alan artacağından daha fazla sürtünme meydana geleceği ve ayrıca çalışma hızının da aynı amortisörde farklı ömürler sunabileceği öngörülmüştür.



Şekil 2.1. TUFFTRIDE® ticari ismi ile QPQ prosesi TT (zaman-sıcaklık) diyagramı [5].

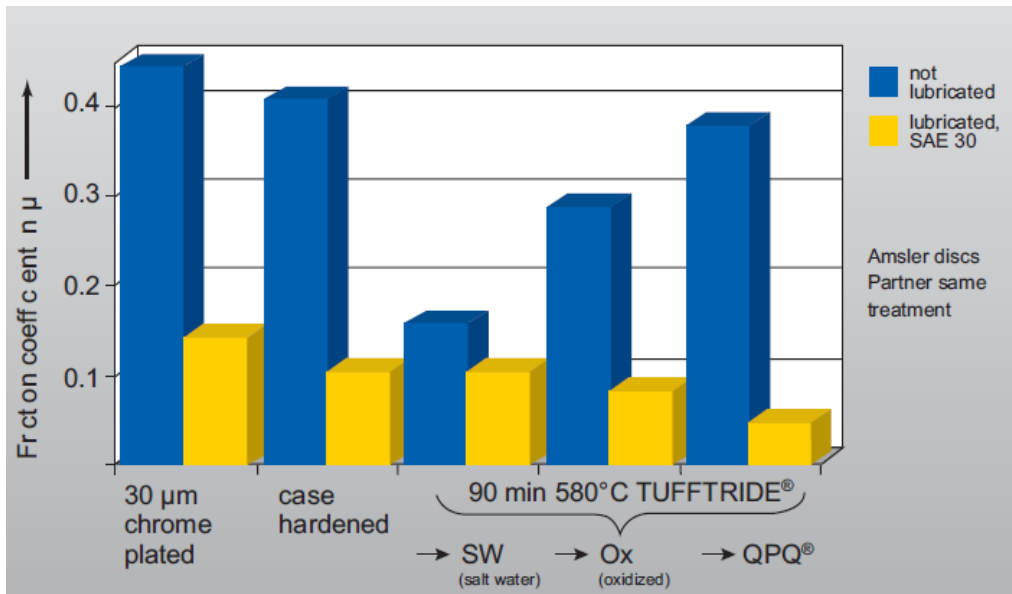
Dr. Joachim Boßlet yine aynı çalışmasında korozyon dayanımını incelemek ve karşılaştırmak için ısıtılmış C45, 17µm QPQ, 20 µm ve 40 µm krom kaplama ile 20 µm nikel kaplamalı C45 millerini EN ISO 9227:2006 NSS standardına göre tuz testi uygulamış ve sonuçları Şekil 2.2'deki gibi grafiklemiştir. Tuz testi

dayanımının diğer örneklere göre 5 kat arttığı görülmüştür. Maliyet olarak da değerlendirildiğinde QPQ prosesi diğer alternatiflerine göre daha uygundur.



Şekil 2.2. Farklı kaplama/ısıtılmış ve kaplamasız C45 mil malzemesinin tuz testi ile korozyon dayanımı sonuçları, C45, C45+ QPQ®, C45+20 µm /40 µm krom kaplama, 20 µm nikel kaplama korozyon dayanımı [5].

Dr. Joachim Boßlet çalışmasında sürtünme katsayılarını incelemek ve karşılaştırmak için 30 µm krom kaplamalı mil, yüzey sertleştirilmiş C45 ve aşama aşama Q, QP ve QPQ uygulanmış C45 millerin özelliklerini Şekil 2.3'deki gibi grafiklemiştir.



Şekil 2.3. C45 çelik mil malzemesi üzerinde QPQ® prosenin aşamalarında ve sert krom kaplamalı C45 üzerinden elde edilen sürtünme katsayıları [5].

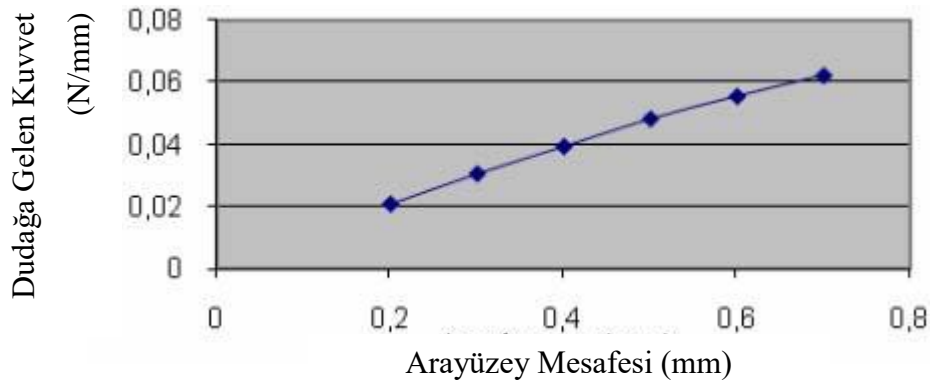
Mavi çubuklar yağsız ortamdaki sürtünme katsayısını, sarı çubuklar ise yağlı ortamdaki sürtünme katsayılarını ifade etmektedir. QPQ uygulanmış numuneler için hem yağlı hem yağsız ortamda çok daha düşük sürtünme katsayıları elde edildiği görülmektedir.

O. Devlen ve K. Sakarya'nın 2011 yılında yapmış oldukları çalışmada [7] "PTFE ürünler diğer malzemelere (NBR, PU vb.) kıyasla daha düşük sürtünmeler ve daha uzun ömür avantajları sunmaktadır." [7] demiştir. Tez kapsamında PTFE keçe her ne kadar çalışılmamış olsa da, NBR ve PU keçeler bu çalışma da test edilecek, dolayısıyla başka bir çalışma için karşılaştırma değeri taşıyacaktır.

2012 yılında W. Cai ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada [8] farklı sürelerde nitrürasyon işlemi uygulanmış ve uygulanmamış C45 çeliği üzerindeki aşınma dayanımını incelemiştir. Aynı aşınma koşullarında C45 çeliği 0,14 g kütle kaybı verirken, 120 dak nitrürasyon işlemi yapılmış C45 çeliği için ise 0,0029 g kütle kaybı kaydetmişlerdir. 90 dak ve üzeri uygulanan diğer nitrürasyonlu millerde de çok yakın sonuçlar yayınlamışlardır. Aşınma karakterindeki iyileşmenin ise nitrürasyon prosesinde oluşan azot difüzyonu sonucu tabakadaki ϵ -Fe₃N 'ün yüzey sertliğini arttırırken, Fe₃O₄'in ise sürtünme katsayısını düşüren bir karakter kazandırdığını öne sürmüşlerdir [8].

2015 yılında Jeong-Ick Lee yapmış olduğu çalışmada [9] iki farklı iç çaptan keçe testi yapmış, Ø20xØ8 ölçülerindeki keçe için 1.405 kgf (~13,8 N) ve Ø20xØ10 ölçülerindeki keçe için 1,450 kgf (~14,21 N) sürtünme kuvveti değerleri okumuştur [9]. Bu deneyim göstermektedir ki mil çapı değişikliği, aynı keçe malzemesi ve dudak kesit tasarımı kullanılsa dahi sürtünme kuvvetinde etkindir. Farklı çapta mil tasarımları için aynı keçe tasarımlarındaki sürtünme kuvveti farklılıkları da ayrıca çalışılmaya ve hatta modellenmeye açıktır.

2009 yılında Giuseppe Di Benedetto ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada [10] keçe malzemesinin, uygulama yerinde, uygulama ömrünü belirleyen en kritik parça olduğunu vurgulamıştır. Aynı çalışmada Şekil 2.4'te olduğu gibi keçe dudakları ile mil yüzeyi arasında oluşan arayüzey mesafesi değişkenliğinde, keçe dudaklarına etki eden kuvvet grafiksel olarak ifade etmişlerdir [10].



Şekil 2.4 Keçe dudaklarının mil yüzeyi ile arasında oluşan etkileşim arayüz mesafesine göre keçe dudaklarına etki eden kuvvet miktarı [10].

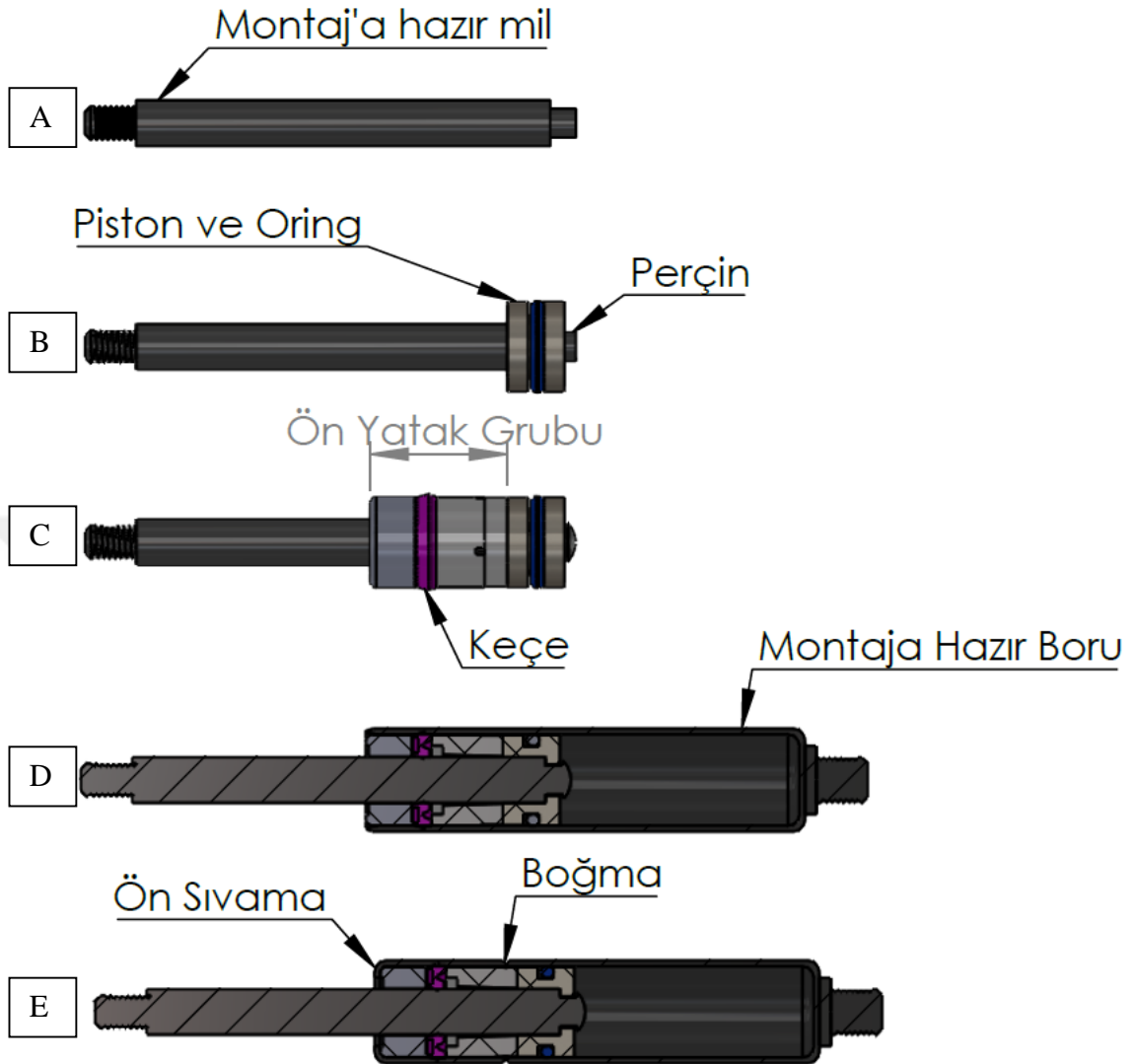
Bu grafikten yola çıkılarak keçe dudakları ile mil yüzeyi arasındaki etkileşim mesafesi değişkenliğinde, gazlı amortisör numunelerinin hazırlanıp, amortisör ömrüne olan etkisi de ayrıca çalışılması ihtiyacı görülmüştür.

2.2. Gazlı Amortisör Üretimi

Amortisör tasarım aşamasında öncelikle mil dış çapı ve boru iç çapına göre tüm iç parçalarının seçimi yapılır. Milin dış çapı hassas bir toleransa sahiptir. Bir malzemedeki toleransın hassasiyeti, aynı zamanda üretim aşamalarını da belirlemektedir. Gazlı amortisör ürününde mil çapının ölçüsü, doğrusalığı, merkez kaçıklığı oldukça hassas olduğundan, ön ve arka tarafı çift yakalamalı CNC’de işlenip, dış çapı ise taşlama prosesinde hassas ölçüye getirilir. Daha sonra ovalama, nitrürasyon/polisaj veya krom kaplama uygulanarak, yüzey pürüzlülüğünde de istenen değerlerin toleransı içinde montaja hazır mil üretilmiş olur.

Bu çalışmada deneye tabi tutulan krom kaplamalı miller, kaplamalı olarak temin edilmiş, metrik diş ve piston faturası CNC’de işlenmiştir. Nitrürasyonlu miller ise, Global Amortisör’de üretilmiş, HEF firmasında QPQ uygulanmıştır.

Montaja hazır olan mil malzemesi, öncelikle yüzey R_a değerleri ölçülüp görsel kontrol yapıldıktan sonra Şekil 2.5’teki A’dan E’ye doğru harflendirilmiş aşamalar ile üretimi sağlanır. Bu aşamalar aşağıdaki gibi harflere göre tek tek açıklanmıştır.



Şekil 2.5. Gazlı amortisör üretim aşamaları.

A: Öncelikle mil üretimi gerçekleştirilir. Mil üretimi ham mil malzemesinin CNC’de dış, fatura ve hassas açık boy ölçülerinde işlenmesi ile ilk aşaması tamamlanmış olur. İkinci aşamada ise taşlama prosesi ile mil dış çap ölçüsü hassas ölçüye çekilir. Dış çap ölçüsünün mil boyunca dağılım aralığı darlaşır. Daha sonra ovalama ve yıkama işlemleri gerçekleştirilir. Ovalama prosesinde yüzey pürüzlülüğü azaltılmış olur. Bu aşamalarda millerin darbe görmeden birbirlerine çarptırılmadan hassas şekilde taşınması büyük önem arz etmektedir. Son aşama ise ham mil malzemesinin son yüzey işlemi yapılır. Nitrürleme veya krom kaplama olmak üzere iki farklı son yüzey sertleştirme veya kaplaması gerçekleştirilir. Yüzey işlemi tamamlanan miller son kez ölçüsel kontrol, yüzey pürüzlülüğü ve görsel kontrollerden geçirilir.

B : Mil malzemesine piston grubu takılır, perçin ile piston grubu mil malzemesine sabitlenir.

C : Ön yatak grubu mildeki dış tarafına takılan bir özel aparat ile sıra sıra mile takılır. Bu aparatın amacı ise dişlerin keçe dudaklarına zarar vermeden takılabilmesini sağlamaktır.

D : Piston grubu, ön yatak grubu ve mil montajı tamamlandıktan sonra, talep edilen yağ miktarı montaja hazır bir tarafı açık olan boru içerisinde doldurulup, C aşamasındaki parçalar bütün olarak boru içerisinde yine özel bir aparat ile takılır. Yine özel aparat kullanılmasındaki amaç keçe dış dudaklarının, boruya takılırken herhangi bir şekilde zarar görmeden takılması içindir.

E : Son aşamada, amortisör özel bir makinada ön tarafı sıvanarak kapatılır. Ön grubun sabit olarak ön tarafta durması için şekilde gösterildiği noktadan boğma uygulanır.

Talep edilen kuvvet öncelikle amortisörün açık ve kapalı boyu için malzemelerine göre uygun bir basınç ile sağlanabildiği, emniyet limitleri içinde olduğu teknik olarak hesaplanarak önceden kontrol edilir. Daha sonra talep edilen kuvvetin bar basıncı hesabı yapıp, uygun bar basıncında gaz amortisörün ön tarafından basılır. Ön taraftan gaz basılabilmesine izin veren ise keçe dudaklarının tasarımın iç bükey olmasından kaynaklıdır (Bakınız Şekil 1.3).

Boya prosesi için amortisörler borusunun dış yüzeyi yağ çözücü ortama alınır, askıya asılan amortisörler robot kol ile tek tek elektrostatik epoksi boya ile boyandıktan sonra, 80 °C fırın içerisinde kurlenme sağlanır.

Son olarak serigrafi ve paketleme işlemlerinin yapılacağı amortisör ürünü üzerinde mutlaka kaç Newton gaz ihtiva ettiği işlenir.

2.3. Gazlı Amortisör Fonksiyonu

Gazların sıkıştırılabilmesi özelliği, gazlı amortisöre bir yükü kaldırabilme kabiliyeti sağlayan temel fonksiyondur. Gazlı amortisör kapandıkça, iç hacimde ilerleyen mil

hacmi kadar hacimsel daralma, ihtiva eden gaz basıncında “Boyle Kanunu”nda ifade edildiği gibi artışa sebep olacaktır.

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

(Boyle Kanunu)

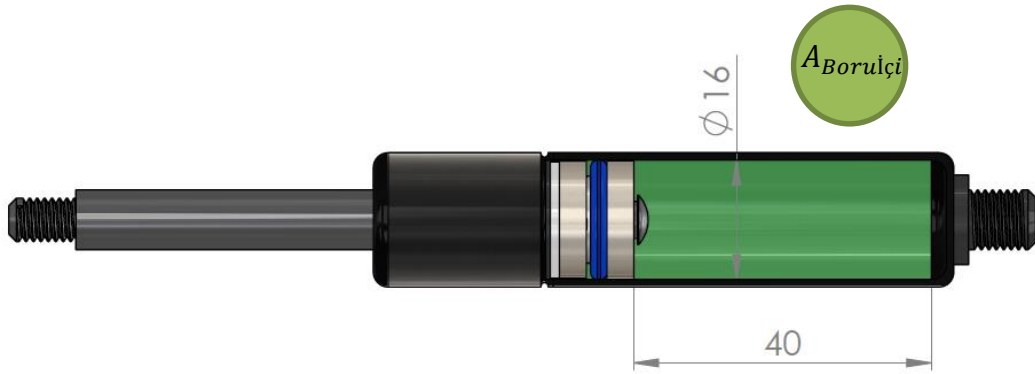
Basınç formülü aşağıda verilmiştir. P harfi genellikle bar (N/mm²) birimi ile kullanılan basıncı, F harfi N (Newton) cinsinden kuvveti, A harfi ise kuvvetin uygulandığı yüzey alanı ifade eder.

$$P = \frac{F}{A}$$

Gazlı amortisörlerin kullanım yerinde açık halindeki kuvvet ve kapalı halindeki kuvvet arasındaki artış oranlandığında yaylanma olarak ifade edilen katsayı elde edilmektedir. Bu katsayı hesabı aşağıdaki gibi formüle edilmiş ve formül üzerinde de denk olduğu kuvvet ve hacim ilişkileri de ifade edilmiştir.

$$X_{Yaylanma} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2}$$

Gazlı amortisör ürününde çalışma fonksiyonunun temelini oluşturan basınç hesaplamaları için Ø8 mil çapına, Ø16 boru iç çapına ve 40 mm stroke değerine sahip bir amortisörün hacimsel hesapları aşağıdaki gibi incelenmiştir. Bu hesaplamalarda yalın olmak ve basınç değişimini anlayabilmek için kullanılan yağ hacmi ihmal edilmiştir.

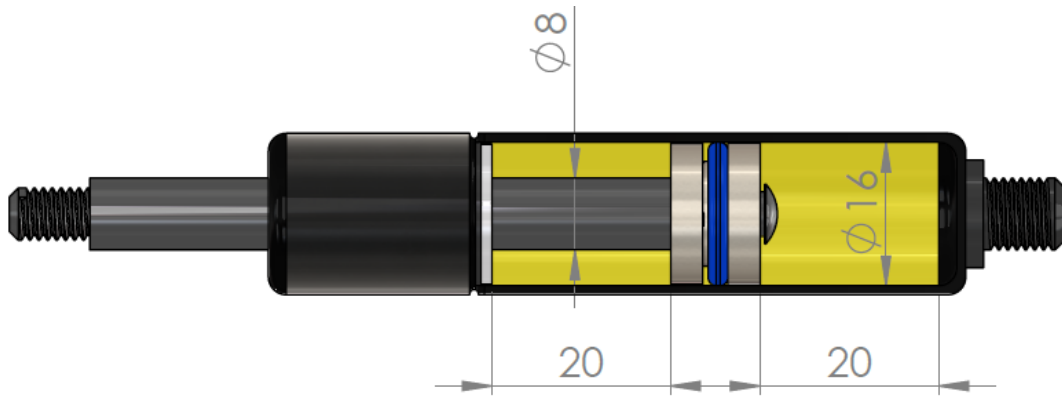


Şekil 2.6. Amortisör açık halde iken gaz basıncı ihtiva eden hacim, kesitte yeşil renk ile gösterilmiştir. Ölçüler mm'dir.

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi yeşil olarak gösterilen kesit, mil dışarda yani amortisör açık halde iken, iç hacimdeki boşluğu göstermektedir. Silindirik bir ürün olduğu için hacim hesabı dairenin kesit alanı x uzunluk olarak yapılacaktır. Gazlı amortisör ürünlerinde genellikle "cc" birimi kullanılır ki bu da cm^3 'e eşittir. Dolayısıyla formüllerde mm olan ölçüler cm'ye çevrilip kullanılmıştır. Aşağıdaki formüllerde $A_{Borulci}$ ile boru içi kesit alan hesabı, V_1 ile amortisör tam açık halde iken boru içi boş hacim hesaplanmıştır.

$$A_{Borulci} = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{1,6cm}{2}\right)^2 = 2,0096 cm^2$$

$$V_1 = A \times l = A_{Borulci} \times l = (2,0096 cm^2) \times (4 cm) = 8,0384 cm^3$$



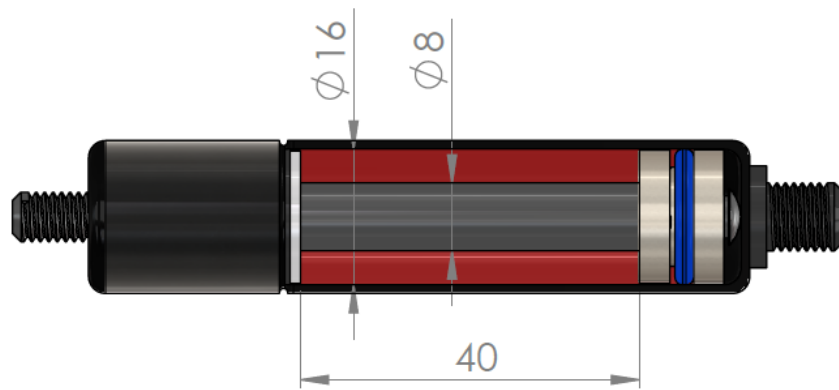
Şekil 2.7. Amortisör %50 (20 mm) kapatıldığında gaz basıncı ihtiva eden hacim, kesitte sarı renk ile gösterilmiştir (ölçüler mm'dir).

Şekil 2.7’de %50 stroke uzunluğunda amortisör kapatıldığında, A_{Mil} ile mil kesit alanı, V_2 gösterimi ile boş hacim hesabı, ilk hacimden (V_1) içeriye ilerleyen mil hacmi çıkartılması ile kalan boş hacim hesabı verilmiştir. Yaylanma hesabı ise X_2 olarak verilmiştir.

$$A_{Mil} = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{0,8cm}{2}\right)^2 = 0,5024 cm^2$$

$$\begin{aligned} V_2 &= V_1 - A_{Mil} \times l_{stroke} = (8,0384 cm^3) - (0,5024 cm^2) \times (2 cm) \\ &= 8,0384 cm^3 - 1,0048 cm^3 = 7,0336 cm^3 \end{aligned}$$

$$X_2 = \frac{F_2}{F_1} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{8,0384 cm^3}{7,0336 cm^3} = 1,143 \text{ (yaylanma)}$$



Şekil 2.8. Amortisör tamamen kapatıldığında gaz basıncı ihtiva eden hacim, kesitte kırmızı renk ile gösterilmiştir. Ölçüler mm’dir.

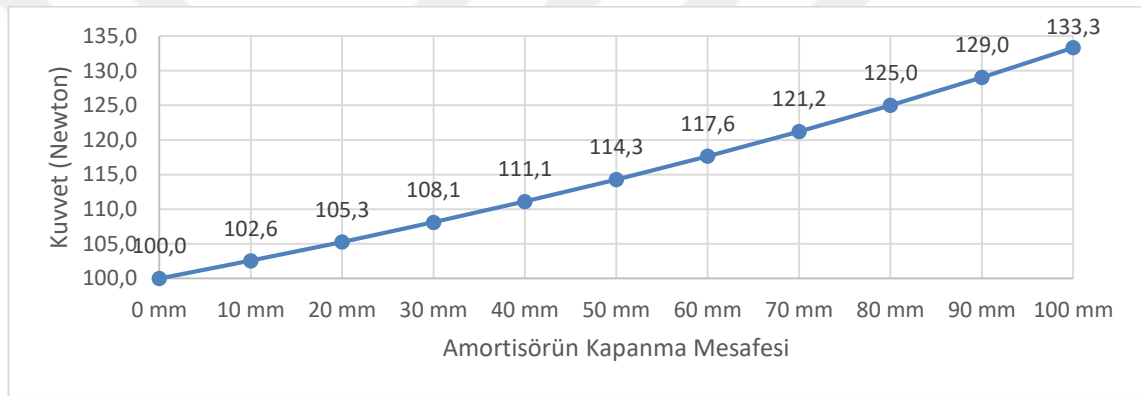
Şekil 2.8’de amortisör tamamen kapatıldığında, V_3 gösterimi ile boş hacim hesabı, ilk hacimden (V_1) içeriye ilerleyen mil hacminin çıkartılması ile kalan boş hacim hesabı verilmiştir. Yaylanma hesabı ise X_3 olarak verilmiştir.

$$\begin{aligned} V_3 &= V_1 - A_{Mil} \times l_{stroke} = (8,0384 cm^3) - (0,5024 cm^2) \times (4 cm) \\ &= 8,0384 cm^3 - 2,0096 cm^3 = 6,0288 cm^3 \end{aligned}$$

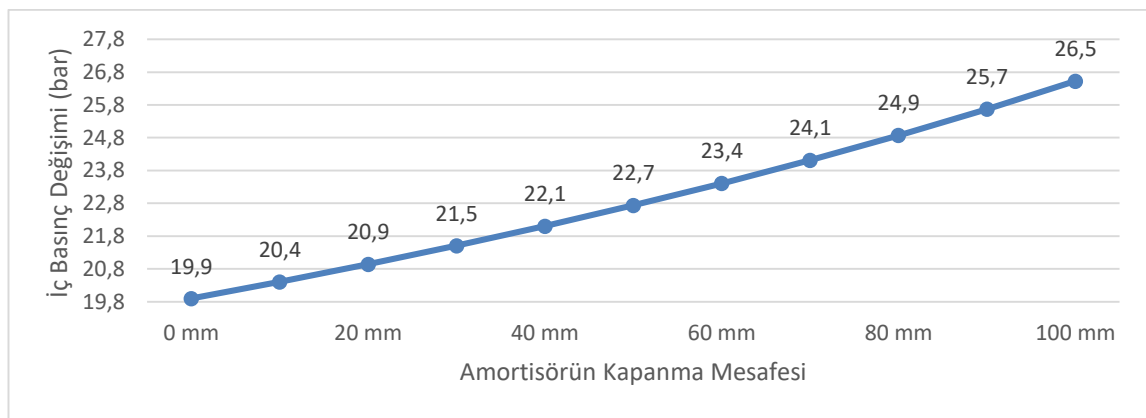
$$X_3 = \frac{F_3}{F_1} = \frac{P_3}{P_1} = \frac{V_1}{V_3} = \frac{8,0384 cm^3}{6,0288 cm^3} = 1,333 \text{ (yaylanma)}$$

2.4. Amortisör Çalışması Esnasında Basınç Değişiminin Etkisi

Gazlı amortisörün çalışma prensibi gereği, basınçlandırılmış kapalı kaptaki hacim içerisinde mil ilerledikçe (amortisör kapatıldıkça) içerideki gaz hacminin azalması sebebi ile iç basınç artmaktadır. İç basıncın artması aynı zamanda keçe dudaklarının tasarımı gereği, mil yüzeyine daha fazla baskı yapmasını dolayısıyla, sızdırmazlık yeteneğini artırırken, aşınma için daha fazla bir iç dudak baskısını meydana getirmektedir. Dolayısıyla amortisör çalışması boyunca keçe dudaklarına değişken bir yük uygulanmaktadır.



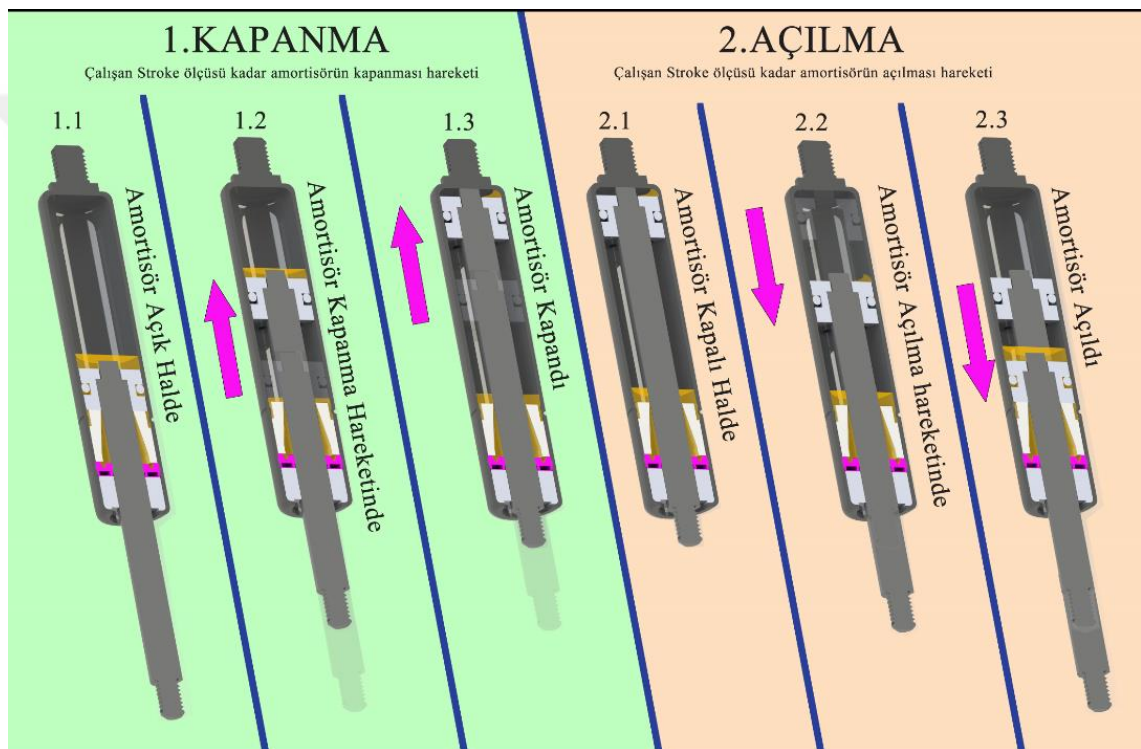
Şekil 2.9. Amortisör kapanırken teorik kuvvet değişimi, Ø8 mm mil çapı, Ø16mm boru iç çapında 100 mm stroke bir amortisör tasarımında amortisör kapanması esnasındaki teorik kuvvet değişimi.



Şekil 2.10. Amortisör kapanırken teorik iç basınç değişimi grafiği, Ø8 mm mil çapı, Ø16 mm boru iç çapında 100 mm stroke bir amortisör tasarımında amortisör kapanması esnasındaki teorik iç basınç değişimi.

2.5. Amortisörün Montaj ve Kullanım Yönünün Önemi

Gazlı amortisör tasarımlarında iç boş hacimde sürtünmeyi azaltmak, keçe aşınmasını en aza indirmek için mutlaka belirli bir miktarda yağ barındırılmalıdır. Triboloji biliminin 3 temel konusundan biri olan yağlama, keçe dudagındaki aşınmayı en aza indirmek için ayrıca çalışılması gereken bir konudur. Bu yağın miktarı ise ileri bölümlerde de değinileceği gibi yapılan ömür testlerinde deneyimlenen yağ kayıpları göz önüne alınarak tasarım parametrelerine uygun şekilde hesaplanıp uygulanmalıdır.



Şekil 2.11. Ömür testinde amortisörün dikey çalışması ve ömür testinde 1 çevrim (cycle) olarak ifade edilen kapama-açma süreci.

Standart amortisörün kullanım şekli, montaj pozisyonu dolayısıyla yağın keçe üzerinde birikmesi ve keçe dudaklarını kuru bırakmaması için mutlaka mil aşağı yönde olacak şekilde montajlanması ve kullanılması gerekmektedir (bakınız Şekil 2.11). Aksi takdirde keçe dudakları kuru kalacak ve yağsız bir ortamdaki sürtünmeden kaynaklı aşınma oranı daha fazla olacaktır. Bu çalışma boyunca gazlı amortisör dikey ve mil aşağı yönde test edilecektir. Şekil 2.11’de bir amortisörün dikey pozisyonda ve mil aşağı yönde olduğu durumda açılıp-kapanması 6 adımda gösterilmiştir. Serbest haldeki yağın keçe dudaklarını ve mil yüzeyini dikey kullanımda sürekli yağladığı

görülmektedir. Bu çalışmada amortisör testleri dikey pozisyonda ve mil aşağı yönde yapılacaktır.

2.6. Malzemeler

Bu tez çalışması kapsamında hazırlanacak olan amortisör numunelerinde kullanılan bazı malzemeler ve teknik detayları aşağıda paylaşılmıştır.

❖ MİL MALZEMELERİ

- Nitrürasyonlu C35 Mil (QPQ[®]),
- Krom Kaplamalı C45 Mil,
- Krom Kaplamalı SS316 Mil.

❖ KEÇE MALZEMELERİ

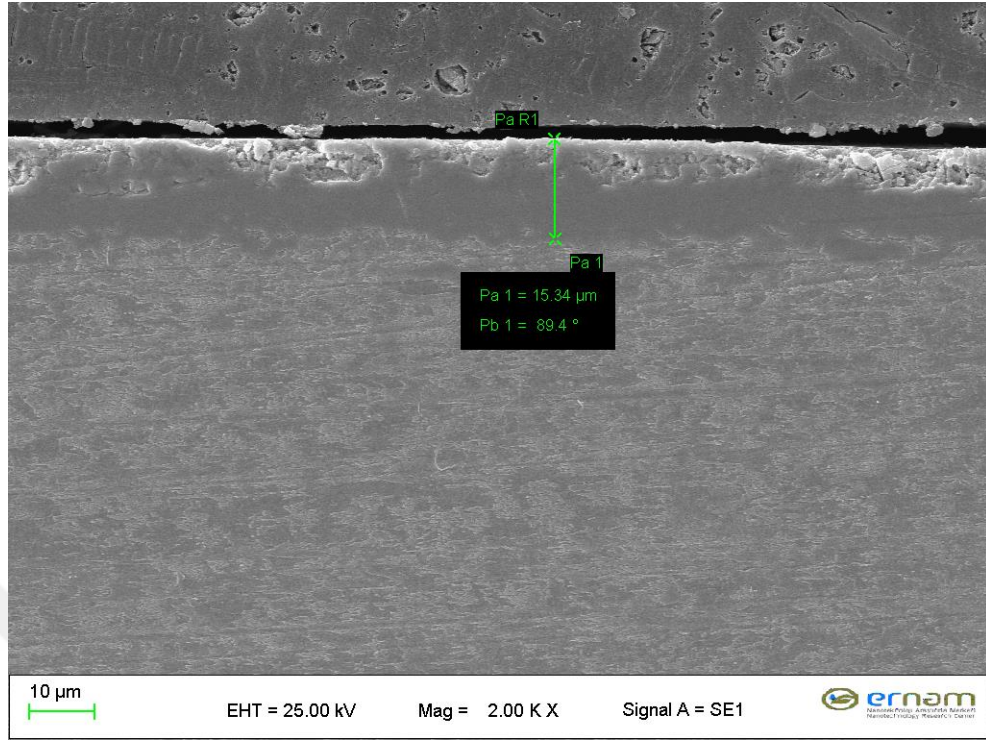
- 90 ShR NBR Keçe, Tablo 2.1 [11].
- 90 ShR PU Keçe, Tablo 2.2 [12].

❖ YAĞ MALZEMESİ

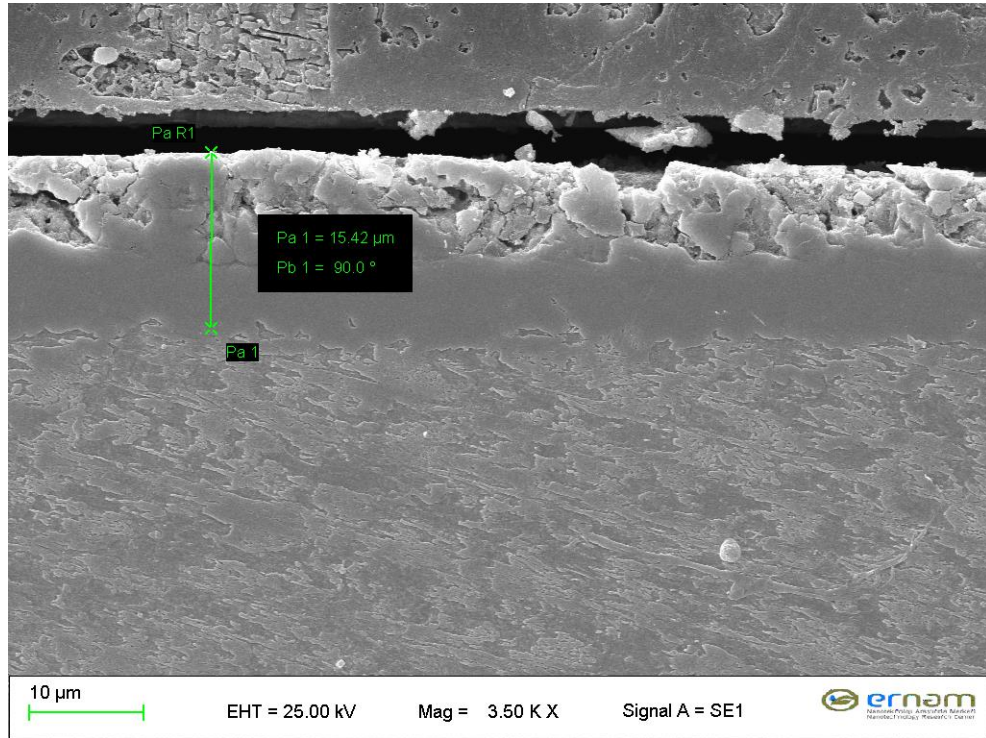
- SHELL SPIRAX S2 ATF AX, Tablo 2.3 [13].

Nitrürasyonlu C35 mil numuneleri, taşlama ve ovalama prosesleri ile dış yüzeyde hassas toleranslar içerisinde üretildikten sonra nitrürasyon prosesi uygulanmıştır. Nitrürasyon prosesinde ise 350-400 °C ile ön ısıtma, 580 °C derecede cyanate tuzundan azot kopartılıp demir nitrür olarak malzeme yüzeyinde difüzyon 90 dak boyunca devam ettirilir. Bu aşama tuz nitrürasyon olarak bilinir. Akabinde 370-420 °C aralığında oksidasyon, oda sıcaklığında polisaj ve son işlem olarak 370-420°C aralığında yeniden oksidasyon işlemi uygulanmıştır.

Nitrürasyonlu mil numunesinden kesit alınıp, bakalit uygulanmıştır. Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te nitrürlenmiş C35 milin ve nitrürasyon tabakasının kesit SEM görüntüsü verilmektedir. Nitrürasyon sonucunda C35 çelik malzemesinde yaklaşık 15 µm tabaka kalınlığı ölçülmüş, belirgin bir beyaz tabakaya rastlanılmamıştır.



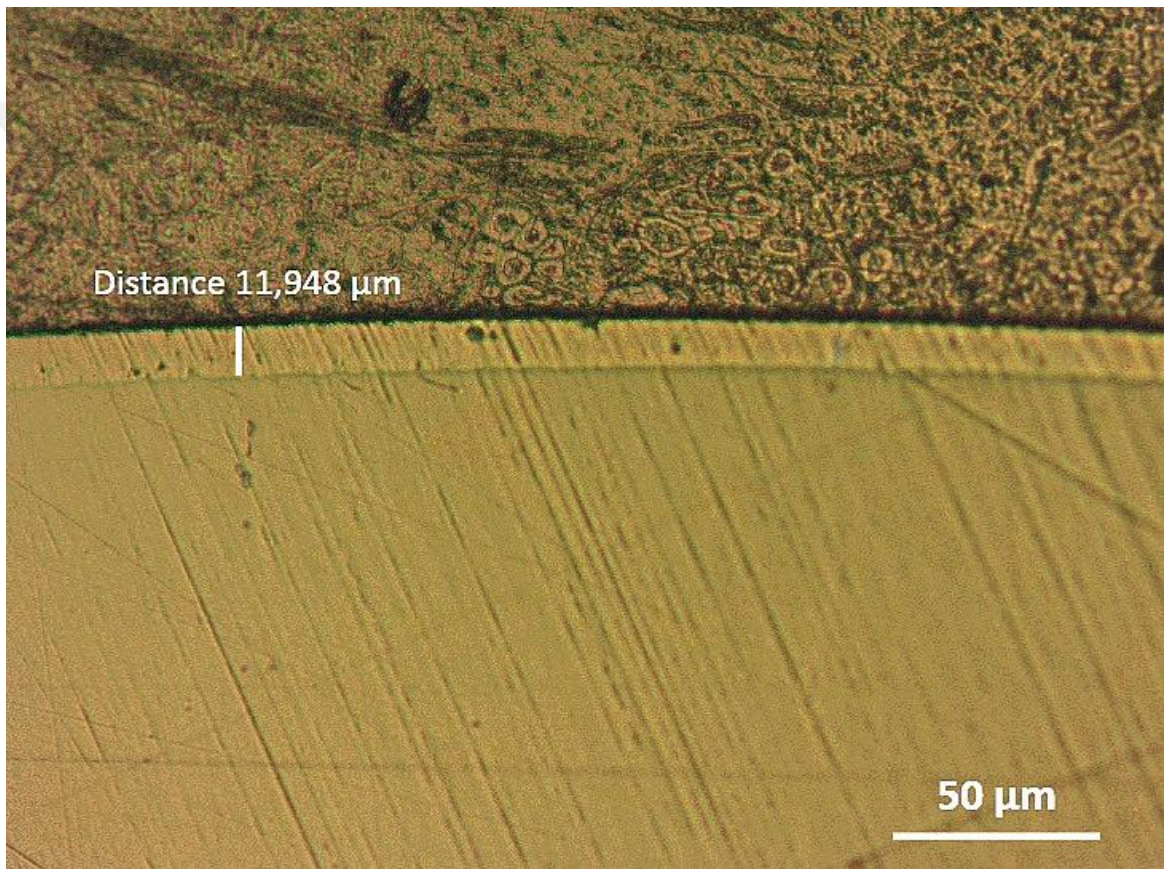
Şekil 2.12. Nitrürlenmiş C35 milin ve nitürasyon tabakasının kesit SEM görüntüsü (tabaka kalınlığı ~15 µm).



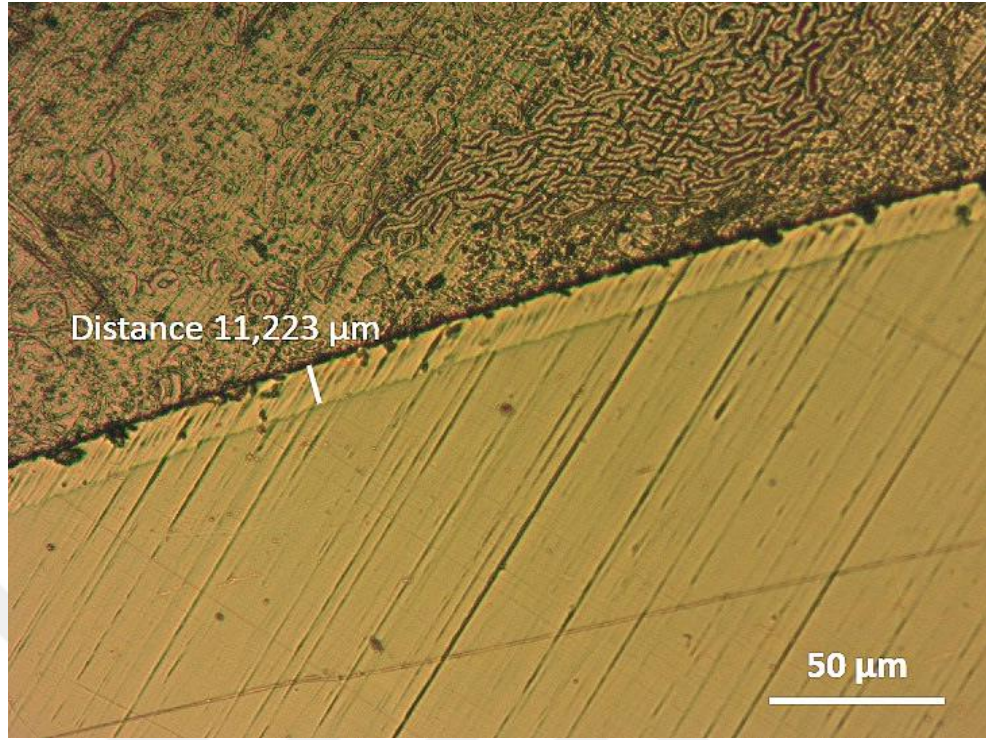
Şekil 2.13. Nitrürlenmiş C35 milin ve nitürasyon tabakasının kesit SEM Görüntüsü (tabaka kalınlığı ~15 µm).

Krom kaplamalı C45 mil numuneleri ise, C45 malzemesine elektroliz yöntemi ile krom kaplama uygulanarak hazırlanmıştır. Kaplama kalınlığı yapılan ölçümlerde yaklaşık 12 μm olarak ölçülmüştür.

SS316 (AISI 316) malzemesine de krom kaplama uygulanmıştır. Elektroliz yöntemi ile kaplama işlemi uygulanmıştır. Kaplama kalınlığı yapılan ölçümlerde yaklaşık 11 μm ve kaplama sertliği ISO 409/2 standardına göre 927 HV(0,2) olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.14. Krom kaplı C45 milin ve kaplama tabakasının kesit optik mikroskop görüntüsü (tabaka kalınlığı $\sim 12 \mu\text{m}$).



Şekil 2.15. Krom kaplı SS316 milin ve kaplama tabakasının kesit optik mikroskop görüntüsü (tabaka kalınlığı ~11 μm).

NBR keçe malzemesinin teknik özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir. PU keçe malzemesinin teknik özellikleri ise Tablo 2.2’de verilmiştir. Her iki keçe malzemesinin de sertlik ölçümlerinin birbirine yakın olması sebebi ile yakın sonuçlar elde edilmesi durumunda sertliklerinin yakın olmasının ilişkilendirilmesi veya farklı sonuçlar elde edildiğinde, sonuçlar ile malzeme farklılığının ilişkilendirilmesi ayırt edilebilecektir.

Tablo 2.1. NBR 90 ShR Keçe Malzemesinin Özellikleri [11].

ÖZELLİKLER	METOT	NBR 90 ShR Keçe
Sertlik, Tip A	ASTM D2240 (90±5)	89
Çekme Dayanımı	ASTM D412 10 min. (MPa)	19.0
Elastisite	ASTM D412 80 min. (%)	106
Camsı Geçiş Sıcaklığı (Tg)		-39 °C

E014 IRM 901 Oil, Sertlik Değişimi	ASTM D471	3
E034 IRM 903 Oil, Sertlik Değişimi	ASTM D471	-8

Tablo 2.2. PU 90ShR Keçe Malzemesinin Özellikleri [12].

ÖZELLİKLER	METOT	PU 90 ShR Keçe
Sertlik, Tip A	DIN53505 (90±5)	92
Çekme Dayanımı	DIN53504 (MPa)	51
Elastisite Modülü	DIN 53504-S2 (MPa)	12
Abrazyon Kaybı	DIN ISO 4649-A (mm ³)	30
Kopma Uzaması	DIN53504 (%)	460
Servis Sıcaklığı	(°C)	-40 ile 100

Tablo 2.3. Kullanılan Yağın Fiziksel Özellikleri (Shell Spirax S2 ATF AX) [13].

ÖZELLİKLER	METOT	SHELL SPIRAX S2 ATF AX
Kinematik Viskozite	ISO 3104 (40°C)	34.6 mm ² /s
Kinematik Viskozite	ISO 3104 (100°C)	7.1 mm ² /s
Viskozite İndeksi	ISO 2909	174
Yoğunluk	ISO 12185	874 kg/m ³
Parlama Noktası (COC)	ISO 2592	180 °C
Akma Noktası	ISO 3016	-45 °C

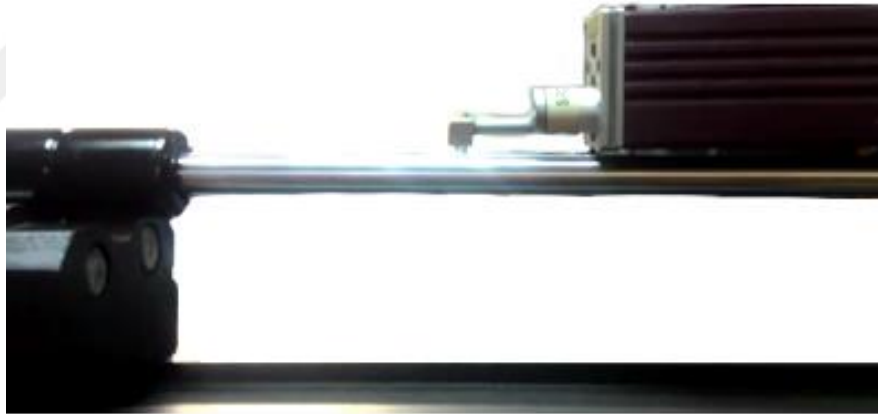
Hazırlanan tüm amortisör numunelerinde kullanılan yağ malzemesinin teknik özellikleri ise Tablo 2.3'te özetlenmektedir.

2.7. Testler

Gazlı amortisörlerin çalışma ömrünü belirlemek için açma-kapama (çevrim) testleri yapılmaktadır. Bu açma-kapama testleri esnasında belirli açma-kapama aralıklarında (örneğin 30.000 açma-kapama testinde başlangıçta ve her 5.000’de bir) amortisörün kaybettiği yağ, kuvvet (F_1, F_2, F_3, F_4), sürtünme kuvveti (F_R), mil yüzey pürüzlülüğü (R_a, R_z) kayıt altına alınıp raporlaştırılmaktadır.

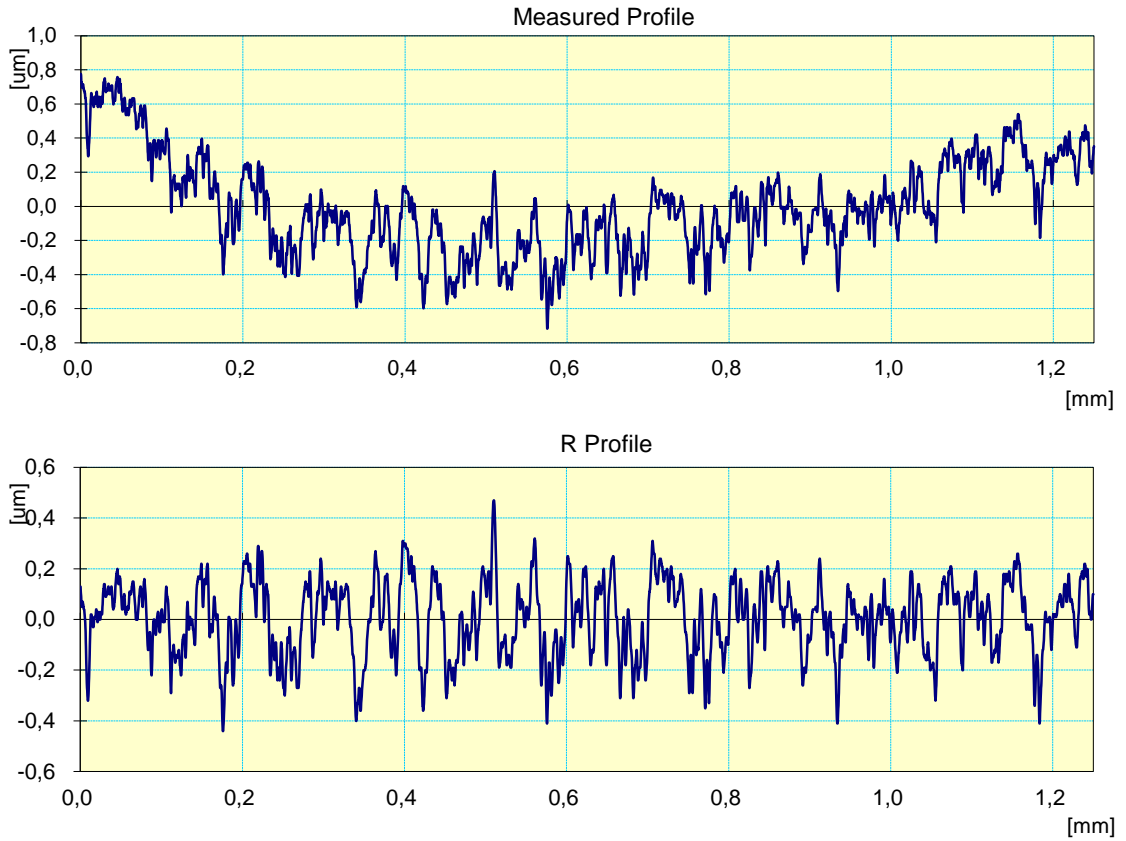
2.8. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü

Mil yüzey pürüzlülüğü, keçe aşınmasına direk etki eden bir faktördür. Bu nedenle amortisörlerde mil yüzey pürüzlülüğü kontrol altında tutulmakta ve amortisör ömrünü arttıracak keçe malzemesi-yüzey pürüzlülüğü ilişkisi araştırılmaktadır. Bu çalışmada Mitutoyo SurfTest SJ-210 portatif yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır.



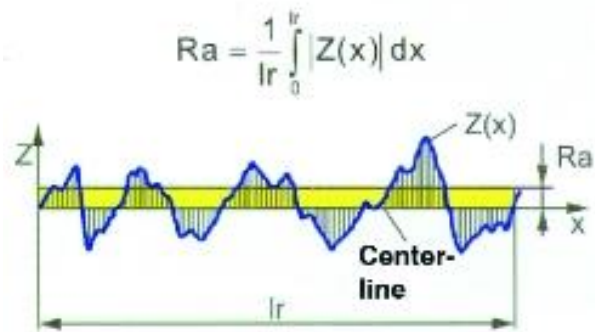
Şekil 2.16. Mitutoyo surfTest SJ-210 ile amortisör mil yüzeyinde yüzey pürüzlülük ölçümü.

Şekil 2.16’da üretimi tamamlanmış bir amortisör boru tarafından çift silindir V yatak ile yataklanarak, mil yüzeyinden pürüzlülük ölçümünün nasıl yapıldığı görülmektedir. İnce uç kalibre edildikten sonra mil yüzeyinde ileri ve geri yönde tarama yaparak Şekil 2.17’deki gibi sonuç grafikleri vermektedir.



Şekil 2.17. Örnek yüzey pürüzlülüğü ölçüm grafikleri.

Bu grafikte okunan maksimum ve minimum değerler arasındaki fark yüzey pürüzlülüğü değerini ifade etmektedir. Cihaz grafikteki değerler ışığında R_a ve R_z değerlerini de ayrıca verebilmektedir.



Şekil 2.18. Yüzey pürüzlülüğü parametresi olan R_a değerinin grafik üzerinde gösterimi.

verilen zamandır. 5 mm pozisyonuna gelinip 5 saniye beklendiğinde sabit konumdayken okunan kuvvet belirli bir miktar düşer ve pistonun ön ve arka tarafındaki basıncın dengelenmesi ile sabitlenir. Okunan bu sabitlenmiş ilk değer statik bir ölçüm sonucu olarak F_3 olarak tanımlanır.



Şekil 2.21. ZWICK FB020 üniversal amortisör kuvvet ölçümü test cihazı.

Daha sonra stroke mesafesinin son 5 mm'sine kadar dinamik olarak ilerleme ve ölçüm yapılır. Stroke mesafesinin son 5 mm'sine gelindiğinde tekrar 5 saniye beklenir ve statik olarak F_2 değeri okunur. Amortisör son 5 mm için de ilerler. Artık amortisör tamamen kapanmış konumdadır. Şimdi ise test cihazı amortisörün açılmasına izin verecek şekilde yukarı doğru hareket eder ve 5 mm sonra durup statik olarak değer okur. Bu değer ise F_4 'tür. F_4 okunduktan sonra dinamik olarak amortisörün açılmasına devam edilir. Son 5 mm kala yeniden statik ölçüm yapılır. Ölçülen bu değer ise F_3 olarak tanımlanır.

$$F_1 - F_3 = F_2 - F_4 = F_R \text{ (Sürtünme Kuvveti)}$$

Elde edilen bu 4 kuvvet değerinden yukarıdaki formül ile sürtünme kuvveti hesaplanır. Amortisörün F_2 kuvveti ile F_1 arasındaki oran ise yaylanma olarak ifade edilen katsayıyı verir. Yaylanma bir amortisörün açık halde iken sahip olduğu kuvvetin, kapalı hale geldiğinde kaç katı bir kuvvete çıkacağını ifade eder.

$$\frac{F_2}{F_1} = X \text{ (Yaylanma Katsayısı)}$$

2.10. Açma-Kapama (Çevrim) Ömür Testi

Ömür testi olarak da bilinen açma-kapama çevrim testleri, amortisörlerin kaç açma-kapama çevrimi sonunda sahip olduğu F_1 , F_2 , F_3 , F_4 ve F_R kuvvetlerini belirlenen yüzde oranında veya talep edilen kuvvet limitlerine ulaşana kadar çalışabildiği çevrim sayısıdır. Her bir açma-kapama hareketi amortisörün çalışan mil uzunluğu yani stroke olarak ifade edilen ölçüsünün 2 katı kadardır. Örneğin uygulama yerinde %10 F_1 gaz kaybına kadar çalışabilecek 100 mm stroke ölçüsündeki bir amortisör, ömür testi sonucunda 50.000 çevrim'e kadar %10 gaz kaybına yaklaşmış ise, bu amortisörün çalışma ömrünün 100.000 stroke olduğu dolayısıyla 100.000×100 mm sonucunda 10 km kadar bir aşınma söz konusudur. Ömür testi boyunca, kuvvet değişimini takip etmek için belirli periyotlarda amortisör sökülüp, ZWICK kuvvet ölçme test cihazına bağlanıp hassas kuvvet ölçümleri yapılmaktadır. Daha sonra yeniden ömür testi cihazına (Şekil 2.21) bağlanan numune teste devam eder. Bu ölçümler ise teste başlamadan önce ve belirlenen çevrim periyotlarında bir gerçekleştirilir. Talep edilen yüzde gaz kaybı elde edilene kadar test bu şekilde sürdürülür.

Bu çalışma da kullanılan ömür testi cihazı Global Amortisör firması tarafından imal edilmiş olup, pnömatik pistonlar, manyetik sensörler ve elektronik kart vasıtası ile açma-kapama hareketi yaptırılmakta ve elektronik olarak kaç açma-kapama yaptığını kaydetmektedir.

Gazlı amortisör Şekil 2.22'deki gibi pnömatik kafa ile sabit kafa arasında sabitlenir. Belirli hızda açma-kapama yapılır. Belirli periyotlarda bir sökülerek bazı ölçümler ve incelemeler yapılarak yeniden cihaza bağlanıp süreç devam ettirilir. İlk, son ve her bir çevrim aralığında amortisörün kaybettiği yağ miktarı, F_1 - F_2 - F_3 - F_4 - F_R değerleri, mil

yüzey pürüzlülüğü ve görsel mil yüzey kontrolü sağlanır. Doğruluğu arttırmak için en az 3 numune testinin birbirine yakın sonuçlar vermesi istenir.



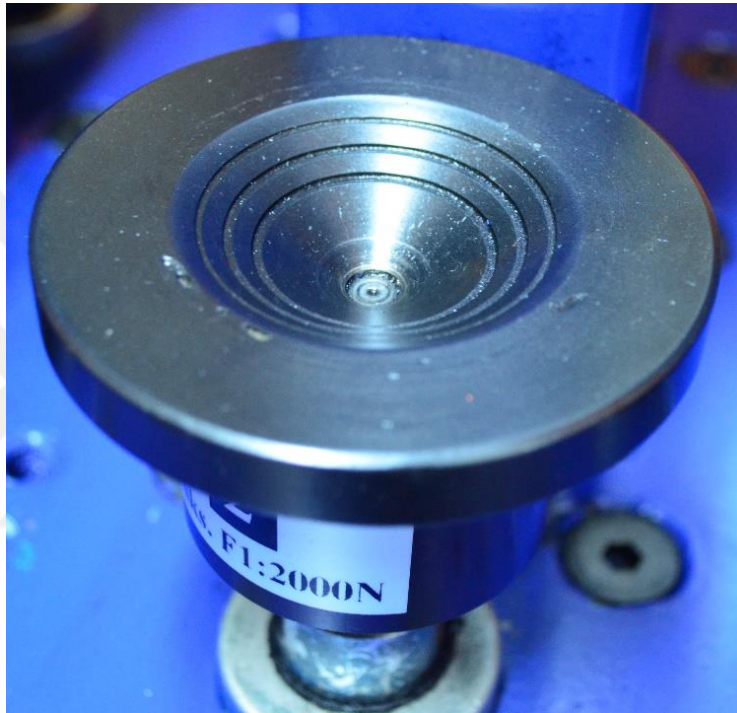
Şekil 2.22. Gazlı amortisör ömür testi cihazı.

Kuvvet Değerleri: Sürtünme kuvvetinin, F_1 - F_2 - F_3 - F_4 kuvvetlerinin ölçümü ise Zwick test metodu ile sağlanır. Ömür testi boyunca uygulanan açma-kapama hızı, oda sıcaklığı sabit tutulur. Bu bilgiler ışığında genel olarak %15 gaz kaybı elde edilene kadar elde edilen çevrim süresi amortisörün kullanılabilir ömrünü belirleyici rol alır.

Yağ Kaybı: Amortisörden kaçan yağın biriktiği havuzda toplanan yağ miktarı çizgi referansları veya şırınga ile çekilerek ölçülmesi ile her bir çevrim’de kaçan yağ miktarı tespit edilir. Tribolojik olarak mil yüzeyi ile keçe arasında sürtünmeyi azaltıcı rol oynayan yağ kaybı hızı, amortisörün yağsız kalabileceği ömrü belirlemede rol alır.

Genellikle talep edilen maksimum kuvvet kaybı bu süreden daha kısa sürdüğünden amortisör ömrünü belirlemek için kuvvet değerleri daha belirleyici rol alır.

Yağın kalitesi ise mil yüzey pürüzlülüğünün çalışma süreci boyunca etkisi, keçe malzemesine olan kimyasal etkisi dikkate alınması gereken bir başka konudur. Yağın kimyasal özellikleri kuvvet değerleri ve yüzey pürüzlülüğüne direk etki etmektedir.



Şekil 2.23. Gazlı amortisör ömür testi cihazında amortisörden kaçan yağın toplanacağı konik dip havuz.

Yüzey Pürüzlülüğü: Test öncesinde ve sonraki her bir çevrim sonucunda mil yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılır. Görsel olarak da mil yüzeyinde beyaz ışık altında herhangi bir çizik, deformasyon, iz oluşumu olup olmadığı kontrol edilir. Bu bilgiler ışığında mil yüzeyi kalitesinin çalışma süresi boyunca değişimi izlenir.

Bu tez çalışmasında yapılacak olan tüm ömür testi deneylerinde %10 gaz kaybına ulaşana kadar her 5.000 çevrim’de bir Zwick kuvvet ölçümleri yapılacak, elde edilen sonuçlar EK-1 ve EK-2’deki şablonlar kullanılarak raporlanmıştır.

3. BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR

3.1. Giriş

Yapılacak olan testlerde amortisörün üretimi ile, etkisinin araştırılacağı değişken tutulacak parametreler hariç diğer tüm özellikleri aynı olacak şekilde;

- 3 farklı mil yüzeyinin, aynı NBR keçe kullanımında mil yüzey özelliğindeki değişkenlerin etkileri,
- 2 farklı keçenin, aynı yüzey özelliklerdeki QPQ mil kullanımında keçe malzemesinin değişkenlerinin etkileri,

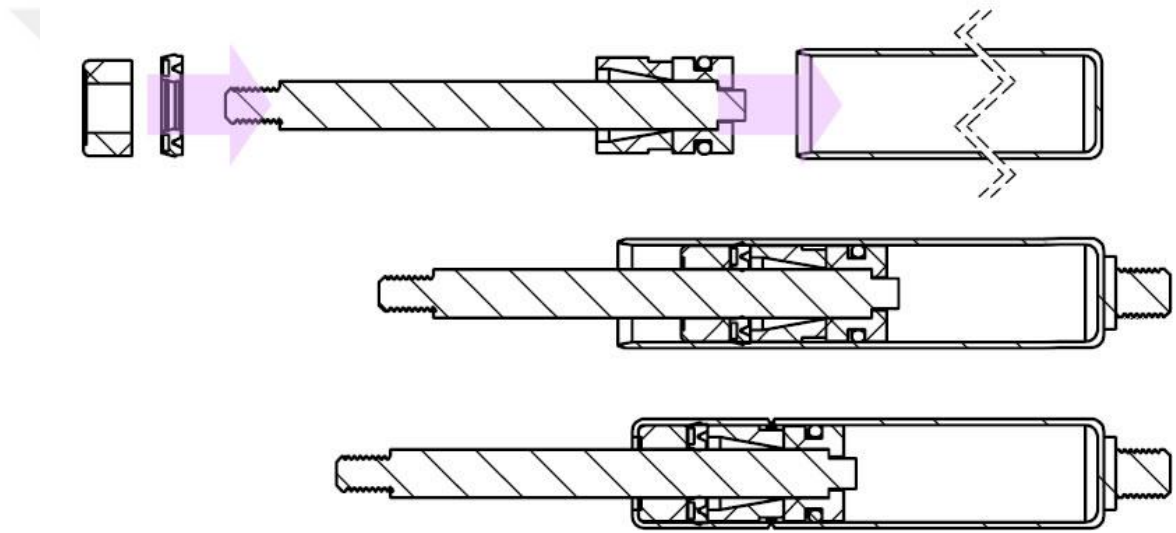
ayrı ayrı çalışılmıştır. Amortisörün ömür testine olan etkisi, mil yüzeylerindeki pürüzlülüğün etkisi, amortisörün sürtünme kuvvetindeki değişim, sızdırmazlık, vb. etkenler üzerinde çalışma yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Ek.1-2’de verilmiş olan test metodu şablonu, deney sonuçları veri tabanı ve sonuçların değerlendirileceği grafik şablonları geliştirilip, yapılacak olan tüm deneyler belirlenmiş ve bu yeni şablonda ifade edilerek çalışmalar takip edilmiştir.

En yaygın gazlı amortisör mil çapları Ø4, Ø6, Ø8, Ø10, Ø12, Ø14, Ø20 ve Ø22 (mm) ölçülerindedir. Bu çalışmada Ø8 mil çapı ve Ø18 (mm) boru çapındaki standart bir amortisör ürünü ile çalışılmıştır. Tüm parametreler eşit olacak şekilde mil malzemesi, yüzey kaplaması, keçe malzemesi değişkenliğinde çalışma yapılmış ve her numunenin çalışma ömrü tespit edilmiştir. Elde edilen verilerin diğer gruplar için de emsal teşkil etmesi beklenmektedir.

3.2. Gazlı Amortisör Numune Hazırlama

Gazlı amortisör üretiminde birçok hassas nokta bulunmaktadır. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi parçalar bir araya getirilerek üretilmektedir. Mil parçasına o-ringli piston perçinlenerek birleştirilmekte, form verilmiş boru malzemesi ise yıkama proseslerinin akabinde herhangi bir talaş içermeyeceğinden emin olunduktan sonra belirlenen oranda yağ ile doldurulup, keçe malzemesinin iç ve dış dudakları zarar görmeyecek şekilde öncelikle mile, akabinde de tüm parçalar ile birlikte boru malzemesine montajlanmaktadır.

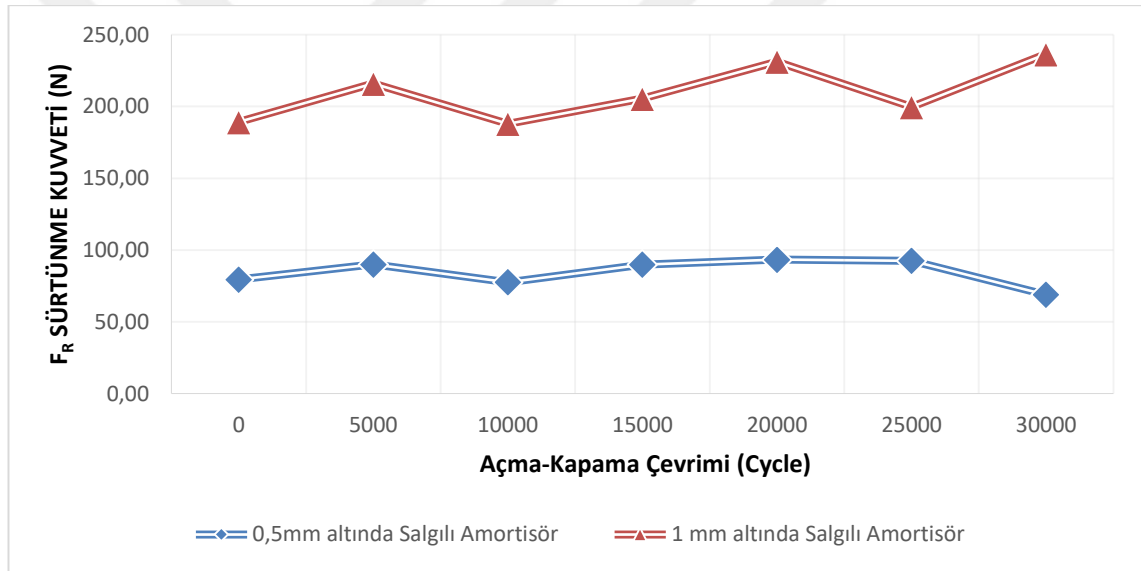


Şekil 3.1. Gazlı amortisör parçalarının montajlanması.

Özellikle bu tez çalışmasında numuneler hazırlanırken keçe malzemesinin iç ve dış dudaklarının zarar görmemesi için yüzeyi parlatılmış konik aparat parçaları incelenmiş ve sağlıklı bir montaj işlemi gerçekleştirilmesine özen gösterilmiştir. Şekil 3.1’de montaj aşamasında aparat kullanım yerleri mor renkli geniş ok işaretleri ile gösterilmiştir. Amortisörün birçok üretim aşamasının amortisör ömrüne olan etkisi tartışmasız büyüktür. Ancak keçe dudaklarının zarar görmeden montajlanması, amortisör boru iç yüzeyinde ve mil dış yüzeyinde herhangi bir deformasyon/çizik olmaması büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında hazırlanan numunelerde bu konulara ayrıca hassasiyet gösterilmiştir.

3.3. Mil Salgısının Amortisör Ömrüne Olan Etkisi

Gazlı amortisör ürününde mil parçasının birçok yataklama ve sızdırmazlık elemanı ile amortisör borusuna merkezlendiği durum Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Mil parçasındaki salgı, iç parçaların merkezlenme miktarı veya iç parçaların toplamından oluşan yataklama uzunluğu kaynaklı merkezlenme miktarı birlikte düşünüldüğünde oluşan toplam salgı miktarı amortisör keçesinin silindirik dudaklarının bir tarafına çok baskı yapılırken öteki tarafına az baskı yapılması durumunu ortaya çıkaracaktır. Keçe dudağını mil merkezinden uzaklaşan tarafı düşük ara yüzey etkileşimi göstereceğinden sızdırmazlığın zayıf noktası haline gelecektir.

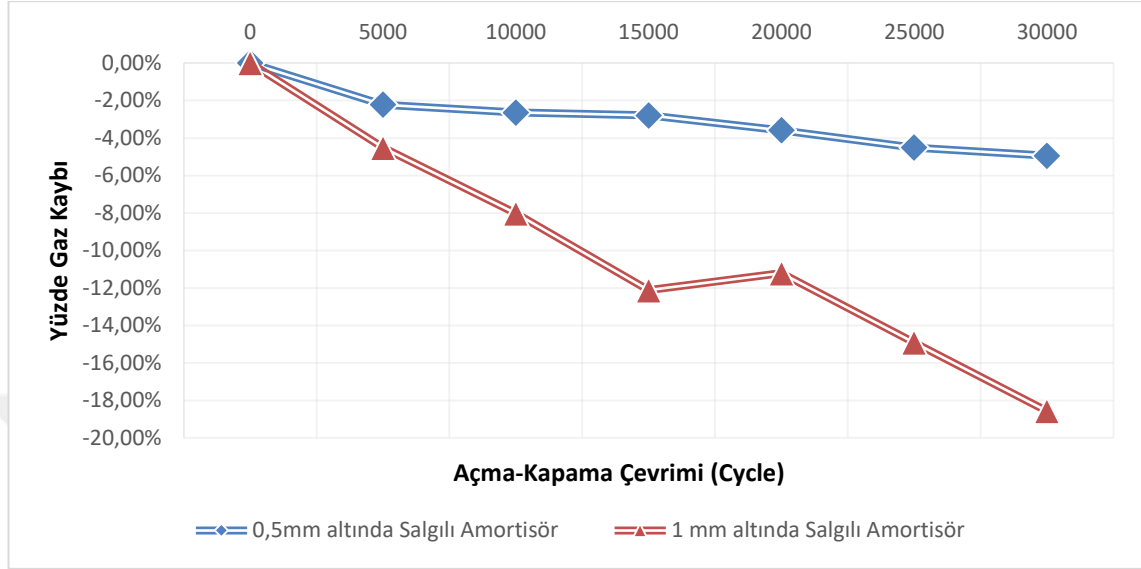


Şekil 3.2. Salgının sürtünme kuvvetine olan etkisi, sürtünme kuvveti-çevrim grafiği.

Bu durum keçe dudağının bir tarafının mile çok fazla baskı yapması da demektir ki sürtünme kuvveti keçe dudağının fazla baskı yaptığı noktada kasıntı ile birlikte artacaktır. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te bu durum deneyim edilmiştir. 10-21 grubu 205 stroke F1:900N olan standart bir amortisör tasarımında bu grafiklerdeki değerler kaydedilmiştir. 0,5 mm salgı farkı, amortisör ömründe %8,6’lık bir düşüş ortaya koymuştur.

Bu tez çalışmasında yapılacak olan test çalışmalarındaki tüm numunelerin mil salgısı 0,5 mm altındadır. Böylelikle salgının kuvvet kaybına olan etkisi numuneler arasında farklılığa sebep olmaması için kontrol altında tutulmuş ve yapılacak deneysel

çalışmadaki doğruluğu arttırmak için mil salgısının önemine dikkat çekilmiştir.



Şekil 3.3. Salgının amortisör ömrüne olan etkisi, yüzde gaz kaybı – Çevrim grafiği.

3.4. Mil Yüzey Pürüzlülüğünün Amortisör Ömrüne Olan Etkisi

Mil yüzey pürüzlülüğünün amortisör ömrüne olan etkisini analiz etmek için Tablo 3.1'deki amortisör özelliklerinde Tablo 3.2'deki gibi 3 farklı numuneden 3'er adet hazırlanıp ömür testi uygulanmıştır. Bu numunelerde tüm değişkenler aynı, yalnızca mil malzemeleri ve kaplamaları farklıdır.

Tablo 3.1. Test Edilecek Amortisörlerin Özellikleri.

Özellik	Değer
Mil	Ø8 mm
Boru İç Çapı	Ø16 mm
Keçe	NBR 90 ShR
Kuvvet	600 N
Çalışan Stroke	202 mm
Yağ Viskozite İndeksi	174 (ISO 2909) [13].
Yağ Kinematik Viskozite	34,6 mm ² /s [13].

Tablo 3.2. Numune Kodlama Yapısı.

Numune Kodlaması	Ana Mil Malzemesi	Yüzey Kaplaması
CN _{xx}	C35	Nitrürasyon
CC _{xx}	C45	Krom Kaplama
SC _{xx}	SS316L	Krom Kaplama
<i>“xx” ile ifade edilen kısım numune no’sunu belirtecek ve her numuneden 3’er adet hazırlanacaktır.</i>		

3.4.1. Test Sonuçları

Yapılan ömür testleri ve kuvvet ölçümleri sonucunda, elde edilen veriler tablolar halinde eklenmiştir. Mil malzemesinin değişkenliğinde diğer parametreler sabit tutulduğunda test öncesi ve sonrası mil yüzey pürüzlülükleri ile yüzde olarak gaz kaybı sonuçları numune bazında Tablo 3.3’te sunulmuştur.

Ayrıca nitrürasyonlu C35 milden hazırlanan amortisör numunesi ömür testi sonuçları Tablo 3.4’te, krom kaplamalı C45 milinden hazırlanan amortisör ömür testi numunesi sonuçları Tablo 3.5’te ve krom kaplamalı SS316L milinden hazırlanan amortisör numunesi ömür testi sonuçları Tablo 3.6’da sunulmuştur.

Tablo 3.3. Test Öncesi ve Sonrası Yüzey Pürüzlülükleri Ölçümleri ve Gaz Kayıpları.

Numune Kodu	Mil Malzemesi	Kaplama	Test Öncesi	Test Sonrası	
			Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra (µm)	Gaz Kaybı (%)
CN01	C35	Nitrürasyon	0,090	0,075	10,01
CN02	C35	Nitrürasyon	0,090	0,080	10,69
CN03	C35	Nitrürasyon	0,080	0,095	8,92
CC01	C45	Krom	0,070	0,075	9,68
CC02	C45	Krom	0,070	0,065	7,39
CC03	C45	Krom	0,065	0,090	10,55
SC01	SS316L	Krom	0,055	0,060	5,51
SC02	SS316L	Krom	0,065	0,070	9,72
SC03	SS316L	Krom	0,055	0,090	8,69

Tablo 3.4. CNxx Kodlaması ile Hazırlanan C35 + Nitrürasyonlu Mil ile Hazırlanmış Numunelerin Ömür Testi Sonuçları ve Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri.

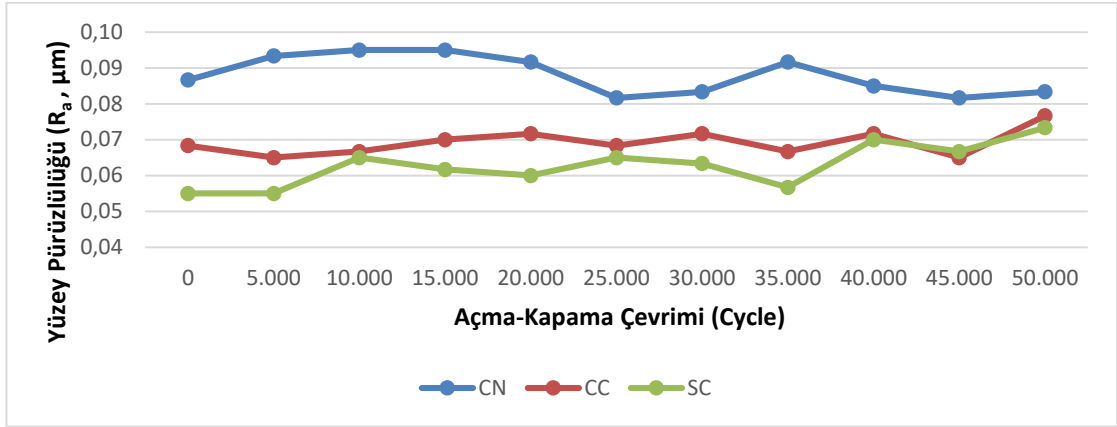
NUMUNE KODU	ÇEVİRİM	F1 [N]	F2 [N]	F3 [N]	F4 [N]	FR [N]	KUVVET KAYBI %	R _a [µm]	T. Öncesi Ort. R _a	T. Sonrası Ort. R _a	Gaz kaybı ort.
CN01	0	623,5	898,7	656,9	933,1	33,4	0,00	0,090	0,09	0,08	-10,5
	5.000	593,7	865,8	654,4	912,6	60,7	-4,78	0,095			
	10.000	582,4	840,2	650,5	906,1	68,2	-6,60	0,095			
	15.000	578,8	842,5	654,8	899,5	76,1	-7,17	0,090			
	20.000	574,4	840,6	659,1	894,6	84,7	-7,87	0,085			
	25.000	565,0	837,0	654,4	882,1	89,5	-9,38	0,070			
	30.000	570,5	831,6	650,0	884,3	79,6	-8,50	0,085			
	35.000	573,0	815,1	644,9	891,7	71,8	-8,09	0,090			
	40.000	556,1	821,4	643,2	868,7	87,6	-10,81	0,085			
	45.000	562,5	824,1	621,5	850,3	59,0	-9,79	0,070			
	50.000	561,0	819,7	620,7	851,5	59,7	-10,01	0,075			
CN02	0	616,5	892,2	650,0	914,5	33,5	0,00	0,090	0,09	0,08	-10,5
	5.000	594,7	863,2	640,5	891,9	45,9	-3,55	0,095			
	10.000	581,0	839,1	643,5	900,0	62,5	-5,76	0,095			
	15.000	579,1	847,6	642,6	880,5	63,4	-6,06	0,095			
	20.000	571,1	828,1	640,8	882,7	69,7	-7,37	0,095			
	25.000	566,6	830,0	631,6	871,8	65,0	-8,10	0,095			
	30.000	561,0	820,6	640,5	871,4	79,4	-9,00	0,080			
	35.000	557,7	807,1	634,6	881,3	76,9	-9,54	0,095			
	40.000	550,7	818,4	632,0	850,2	81,3	-10,68	0,100			
	45.000	548,3	801,4	619,7	841,2	71,4	-11,07	0,095			
	50.000	550,6	805,7	607,9	834,7	57,3	-10,69	0,080			
CN03	0	629,2	908,6	656,2	936,0	27,1	0,00	0,080	0,09	0,08	-10,5
	5.000	607,8	863,0	644,9	935,0	37,2	-3,40	0,090			
	10.000	592,4	868,6	653,5	909,1	61,2	-5,85	0,095			
	15.000	595,4	859,8	642,9	909,7	47,5	-5,36	0,100			
	20.000	594,3	859,1	644,0	906,4	49,7	-5,55	0,095			
	25.000	585,5	849,8	635,4	895,4	49,9	-6,93	0,080			
	30.000	574,3	846,0	655,7	899,4	81,4	-8,72	0,085			
	35.000	582,1	836,5	643,3	896,3	61,2	-7,48	0,090			
	40.000	567,6	831,0	652,8	883,0	85,2	-9,78	0,070			
	45.000	557,0	827,9	661,4	872,1	104,4	-11,47	0,080			
	50.000	561,6	827,4	646,9	866,3	85,4	-10,75	0,095			

Tablo 3.5. CCxx Kodlaması ile Hazırlanan C45 + Krom Kaplamalı Mil Numunelerinin Ömür Testi Sonuçları ve Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri.

NUMUNE KODU	ÇEVİRİM	F1 [N]	F2 [N]	F3 [N]	F4 [N]	FR [N]	KUVVET KAYBI %	Ra [μm]	T. Öncesi Ort. R_a	T. Sonrası Ort. R_a	Gaz kaybı ort.
CC01	0	623,0	897,1	646,3	919,3	23,3	0,00	0,070	0,07	0,08	-9,1
	5.000	602,3	873,3	638,9	897,3	36,6	-3,32	0,075			
	10.000	596,1	857,9	638,9	899,4	42,8	-4,32	0,070			
	15.000	597,3	857,9	641,3	900,2	44,0	-4,12	0,075			
	20.000	591,4	871,5	671,0	905,3	79,6	-5,07	0,075			
	25.000	575,5	848,8	663,3	891,0	87,8	-7,63	0,075			
	30.000	587,8	851,7	653,8	899,3	65,9	-5,65	0,075			
	35.000	581,7	857,4	673,4	897,3	91,7	-6,63	0,070			
	40.000	579,3	849,6	645,0	884,8	65,7	-7,01	0,075			
	45.000	566,2	847,7	668,1	878,5	101,9	-9,12	0,070			
	50.000	562,7	842,5	683,7	876,1	120,0	-9,68	0,075			
CC02	0	630,8	911,6	659,7	936,7	28,9	0,00	0,070	0,07	0,08	-9,1
	5.000	610,5	883,8	652,3	912,7	41,8	-3,22	0,060			
	10.000	602,6	870,4	651,1	913,6	48,5	-4,46	0,065			
	15.000	601,6	871,0	654,9	913,5	53,3	-4,62	0,065			
	20.000	599,7	868,6	657,4	917,0	57,7	-4,94	0,070			
	25.000	597,6	870,2	652,2	907,6	54,5	-5,26	0,065			
	30.000	596,3	865,7	666,3	918,7	70,0	-5,46	0,070			
	35.000	595,6	857,6	666,4	921,8	70,8	-5,58	0,060			
	40.000	586,2	857,4	657,2	907,4	71,0	-7,07	0,070			
	45.000	576,4	839,3	656,6	903,2	80,2	-8,63	0,065			
	50.000	576,9	853,7	662,0	905,3	85,0	-8,54	0,065			
CC03	0	607,1	879,0	640,6	901,4	33,5	0,00	0,065	0,07	0,08	-9,1
	5.000	590,3	849,7	631,5	885,3	41,2	-2,76	0,060			
	10.000	582,0	851,8	643,3	880,8	61,4	-4,14	0,065			
	15.000	582,9	843,6	641,9	890,7	59,0	-3,98	0,070			
	20.000	579,7	849,4	643,1	881,5	63,4	-4,51	0,070			
	25.000	572,1	847,4	643,7	874,8	71,6	-5,76	0,065			
	30.000	571,1	842,0	671,0	881,2	99,9	-5,93	0,070			
	35.000	571,8	842,3	660,1	888,5	88,2	-5,80	0,070			
	40.000	569,9	831,1	642,6	879,4	72,7	-6,12	0,070			
	45.000	561,0	833,0	652,6	868,0	91,5	-7,58	0,060			
	50.000	551,5	831,6	665,4	867,4	113,9	-9,16	0,090			

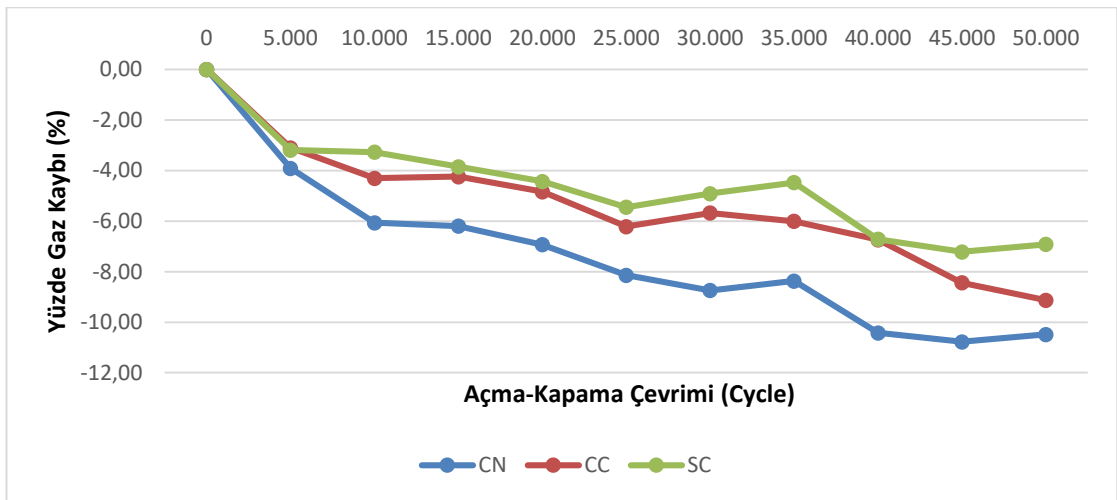
Tablo 3.6. SCxx Kodlaması ile Hazırlanan SS316L + Krom Kaplamalı Mil Numunelerinin Ömür Testi Sonuçları ve Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri.

NUMUNE KODU	ÇEVİRİM	F1 [N]	F2 [N]	F3 [N]	F4 [N]	FR [N]	KUVVET KAYBI %	Ra [µm]	T. Öncesi Ort. R _a	T. Sonrası Ort. R _a	Gaz kaybı ort.
SC01	0	618,4	892,0	642,8	913,4	24,4	0,00	0,055	0,06	0,07	-6,9
	5.000	599,7	865,9	632,7	891,6	33,0	-3,02	0,055			
	10.000	603,6	872,5	637,2	898,8	33,6	-2,40	0,060			
	15.000	599,9	868,3	636,9	891,6	37,0	-2,99	0,060			
	20.000	598,0	867,9	645,0	897,8	47,0	-3,30	0,060			
	25.000	588,3	857,2	652,2	895,1	63,9	-4,87	0,070			
	30.000	594,7	858,7	640,4	896,4	45,7	-3,84	0,060			
	35.000	595,5	859,0	645,6	904,0	50,1	-3,70	0,060			
	40.000	583,7	856,5	637,7	892,0	54,0	-5,62	0,080			
	45.000	583,8	848,8	635,1	881,4	51,3	-5,61	0,070			
	50.000	582,5	845,1	632,6	882,9	50,0	-5,81	0,060			
SC02	0	603,7	864,1	624,8	891,4	21,1	0,00	0,055	0,06	0,07	-6,9
	5.000	583,7	844,2	617,2	871,4	33,5	-3,31	0,055			
	10.000	580,1	842,0	626,1	873,1	46,0	-3,91	0,065			
	15.000	579,9	834,4	621,3	870,1	41,4	-3,95	0,060			
	20.000	570,8	841,5	648,0	873,1	77,2	-5,45	0,065			
	25.000	571,4	834,9	630,0	874,0	58,6	-5,36	0,065			
	30.000	569,4	821,0	648,2	875,3	78,9	-5,68	0,070			
	35.000	573,5	817,9	644,8	881,7	71,3	-5,00	0,060			
	40.000	559,1	828,9	627,6	867,3	68,5	-7,39	0,065			
	45.000	556,9	818,9	644,6	859,0	87,8	-7,76	0,060			
	50.000	556,6	820,8	624,8	853,8	68,2	-7,81	0,070			
SC03	0	606,3	876,6	639,2	902,2	33,0	0,00	0,055	0,06	0,07	-6,9
	5.000	586,6	849,7	627,7	885,2	41,1	-3,24	0,055			
	10.000	584,9	844,6	633,6	886,8	48,6	-3,52	0,070			
	15.000	578,3	845,1	645,2	886,8	66,9	-4,61	0,065			
	20.000	578,8	848,5	641,9	884,6	63,1	-4,53	0,055			
	25.000	569,1	842,6	643,9	884,3	74,9	-6,13	0,060			
	30.000	574,6	841,1	640,6	888,6	66,0	-5,22	0,060			
	35.000	577,6	835,2	643,6	893,5	65,9	-4,72	0,050			
	40.000	563,0	836,1	649,0	879,1	86,0	-7,13	0,065			
	45.000	556,0	831,1	654,8	870,2	98,7	-8,28	0,070			
	50.000	562,9	832,5	638,9	871,4	75,9	-7,15	0,090			



Şekil 3.4. Test sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülükleri grafiği.

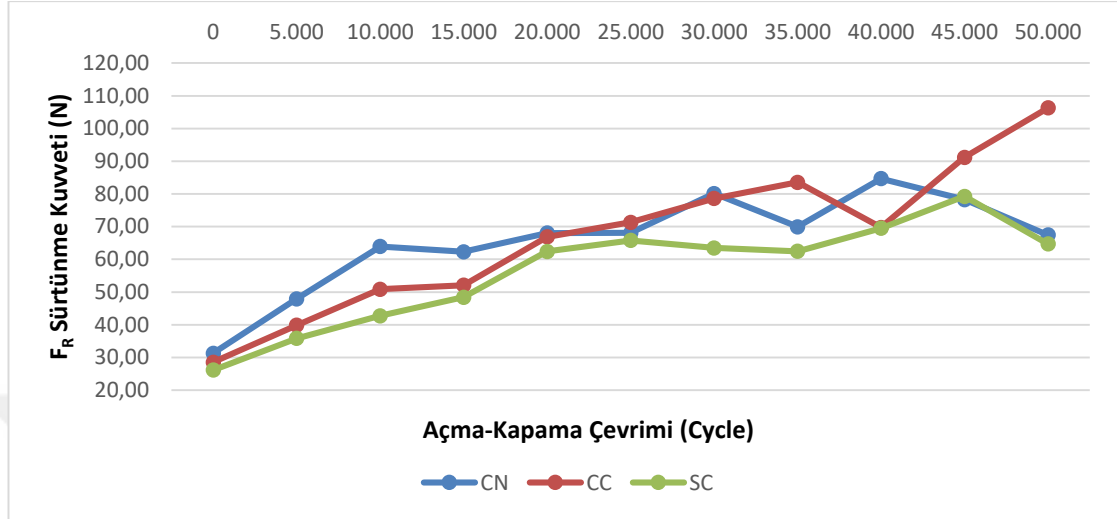
Yüzey pürüzlülüklerindeki ortalama değişimler incelendiğinde, 50.000 çevrim ömür testi sonucunda 0,02 µm boyutunda değişimler izlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğündeki değişim Şekil 3.4’te grafikleştirilmiştir. Nitrürasyonlu millerin yüzey pürüzlülüğü krom kaplamalı olanlara göre daha yüksek ölçülmüştür. Buna karşın krom kaplamalı numunelerde yüzey pürüzlülüğü artış eğiliminde iken, nitrürasyonlu milde artış/düşüş eğiliminde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.5. Test sonucunda elde edilen ortalama yüzde gaz kayıpları grafiği.

Amortisörün ömür testleri boyunca gaz kayıpları Şekil 3.5’te gösterilmiştir. Şekil 3.4 ile karşılaştırıldığında, yüzey pürüzlülüğü değişim ve mutlak büyüklük, amortisörün gaz kaybında ters orantı ile örtüşmektedir. Yani yüzey pürüzlülüğü düşük olan amortisörün gaz kaybı, yüzey pürüzlülüğü yüksek olan amortisöre göre çok daha az olmuş ve ömür

testi boyunca yüzey pürüzlülüğündeki değişim ile amortisör gaz kaybındaki değişim tutarlı olarak görülmüştür.



Şekil 3.6. Test sonucunda elde edilen ortalama sürtünme kuvvetleri grafiği.

Sürtünme kuvvetindeki değişim ise Şekil 3.6'da gösterilmiştir. CC numunesindeki 40.000 çevrimden sonraki ani sürtünme kuvveti artışı haricinde sürtünme kuvvetleri nispeten yakın çıkmıştır. Sürtünme kuvvetine etki eden temel bileşenler, amortisördeki parçaların salgıları, sızdırmazlık parçalarının hareketli mil parçası ile oluşturduğu ara yüzey etkileşimindeki aşınma ve baskıdır. İlk 10.000 çevrime kadar lineer ilerleyen sürtünme kuvvetindeki değişim, yüzey pürüzlülükleri ile ilişkilendirilebilir. Yüzey pürüzlülüğü düşük olan amortisörün, sürtünme kuvveti de düşük çıkmıştır. Dolayısıyla mil yüzey pürüzlülüğü düşüğe, sürtünme kuvvetinin de düştüğü görülmüştür. Şekil 3.6'daki CC numunesindeki 40.000 çevrimdeki ani artış, Şekil 3.5'teki gaz kaybı ilerleyişinde benzer etkide bir düşüş göstermemiştir.

3.5. Keçe Malzemesinin Amortisör Ömrüne Etkisi (PU Keçe)

Keçe malzemesinin amortisör ömrüne olan etkisini incelemek için daha önce NBR ve QPQ mil ile yapılmış olan testlere karşın PU keçeli ve QPQ mil ile ayrıca numune çalışması yapıp ömür testleri karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Bu sayede iki keçe malzemesinin amortisör ömrüne olan etkisi doğrudan yorumlanabilmiştir.

Tablo 3.7. PU Keçe Testindeki Numune Özellikleri.

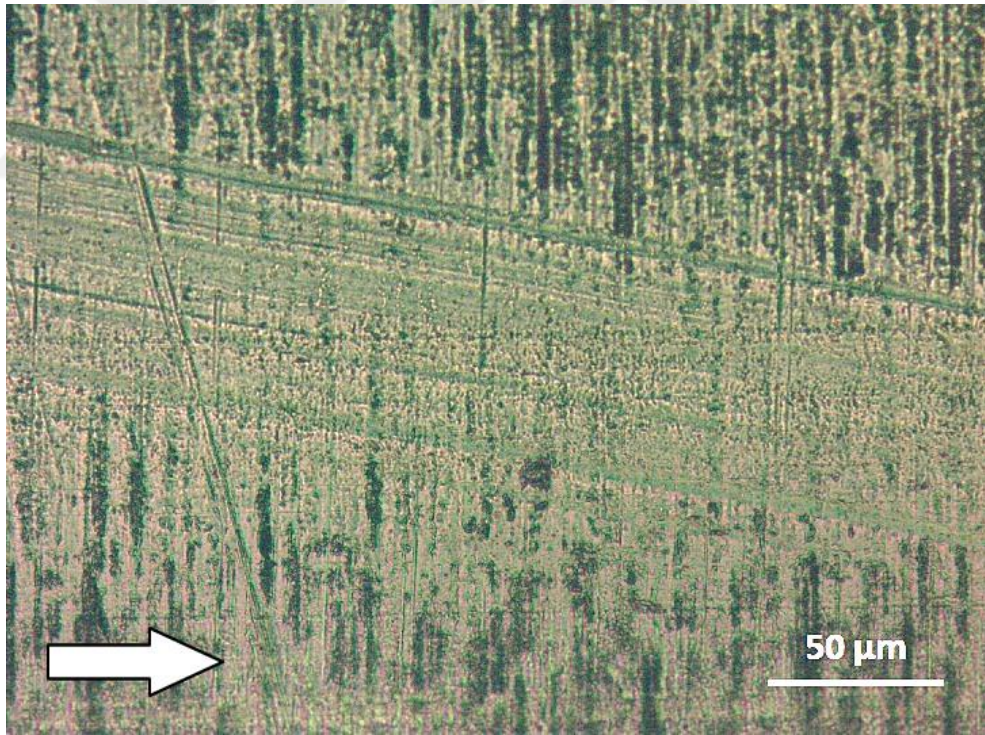
Özellik	Değer
Mil	Ø8 mm
Boru İç Çapı	Ø16 mm
Kuvvet	600 N
Keçe	PU 94 ShR
Çalışan Stroke	202 mm
Yağ Viskozite İndeksi	174 (ISO 2909) [13].
Yağ Kinematik Viskozite (40 °C)	34,6mm ² /s [13].
Mil	Nitrürasyonlu 0,8 µm R _a

Tablo 3.8. PU Keçeli Amortisör Ömür Testi Sonuçları.

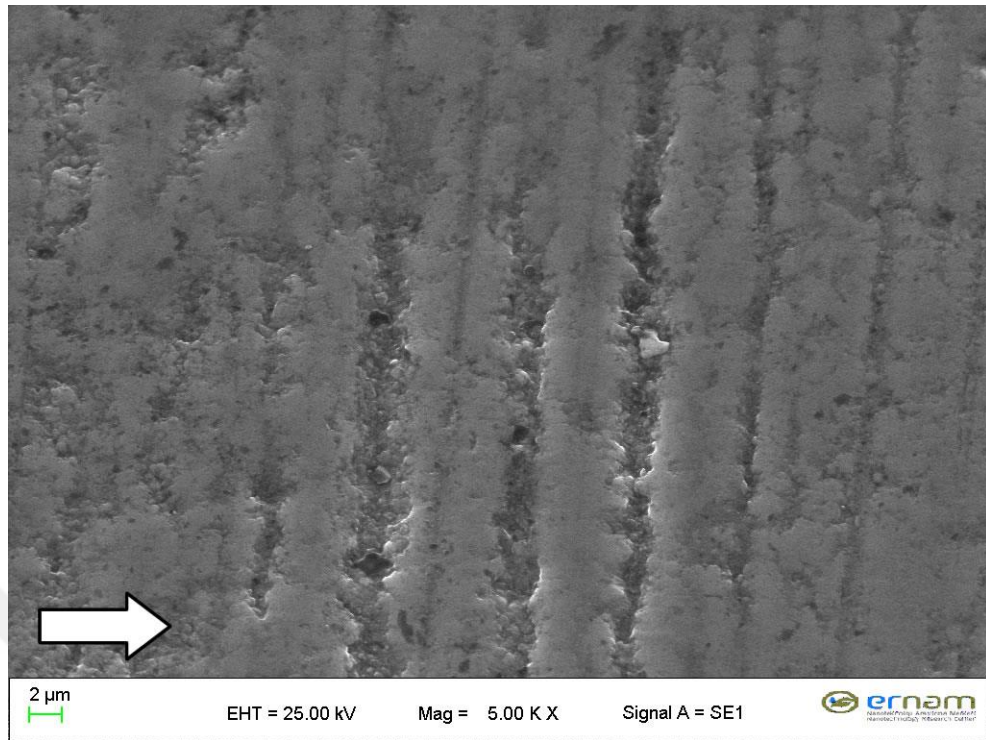
ÇEVİRİM	F1	F2	F3	F4	FR	KUVVET KAYBI %
0	607,04	843,97	709,10	946,03	102,06	0,00
5.000	604,92	805,57	742,45	943,10	137,53	-0,35
10.000	586,19	800,85	789,28	1.003,94	203,09	-3,43
15.000	593,00	820,44	739,42	966,86	146,42	-2,31
20.000	601,26	833,75	740,33	972,82	139,07	-0,95
25.000	612,00	842,39	735,67	966,06	123,67	0,82
30.000	592,05	829,21	734,09	971,25	142,04	-2,47
35.000	608,83	838,97	730,06	960,20	121,23	0,29
50.000	585,54	813,61	725,90	953,97	140,36	-3,54
70.000	574,55	777,71	701,83	904,99	127,28	-5,35
78.000	581,14	775,98	686,94	881,78	105,80	-4,27
86.000	569,20	755,04	688,79	874,63	119,59	-6,23
94.000	566,66	746,27	674,30	853,91	107,64	-6,65
113.000	566,92	723,21	668,74	825,03	101,82	-6,61
121.000	533,51	706,46	674,02	846,97	140,51	-12,11

Tablo 3.7’de özellikleri verilmiş olan PU keçeli QPQ milli numuneye ömür testi uygulanmış, testin sonucu Tablo 3.8’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre NBR keçeli ve

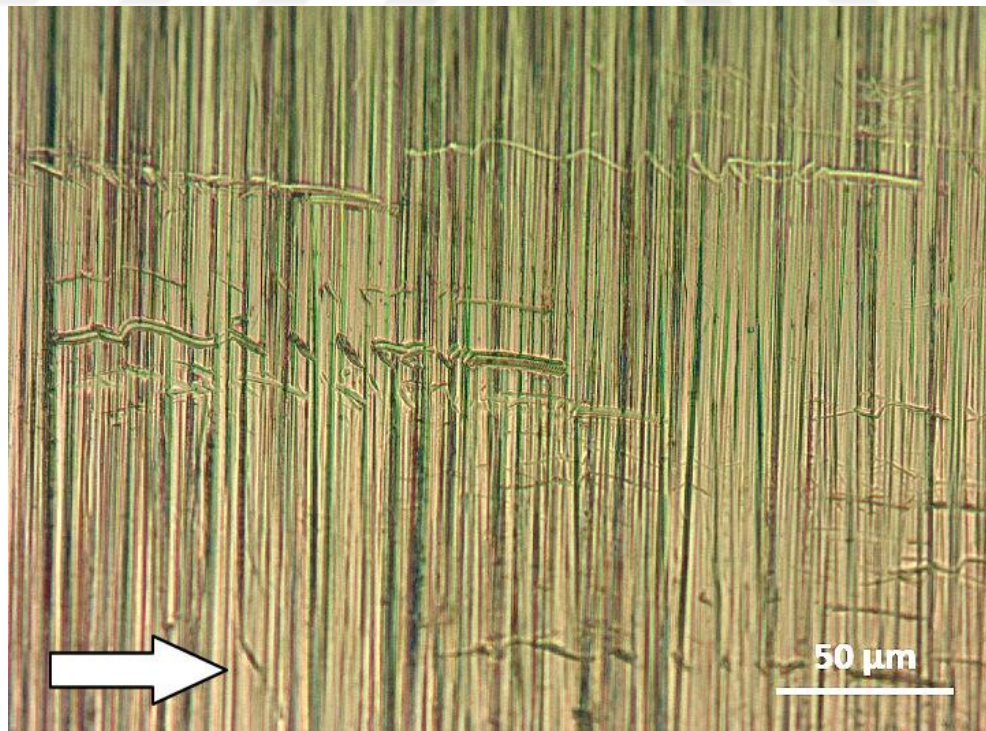
nitürasyon uygulanmış mil ile hazırlanan numunelerde FR sürtünme kuvvetinin 100N'un altında kaldığı görülürken, PU keçeli, nitürasyon uygulanmış mil ile hazırlanan numunelerde 200N'a kadar ulaştığı gözlenmiştir. Ayrıca NBR keçeli amortisörlerde yağ kaybı 0,5 cc'yi geçmemiş iken, PU keçeli numunelerde 1,8cc'ye kadar yağ kaybı ölçülmüştür. Bu bilgilere karşın, PU keçe daha rijit bir karakter göstermiş ve 113.000 çevrime kadar %6,61'lik bir gaz kaybı göstermiştir. Ömür testleri sonucu mil yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 3.7-Şekil 3.11'de görülmektedir. Hem krom kaplı hem de nitürlenmiş millerde kayma yönünde makro ve mikro abrazyon çiziklerine rastlanılmıştır. Dikey çiziklerin taşlama esnasında oluşan çizikler olduğu düşünülmektedir. Nitürasyon uygulanmış mil yüzeyinin daha pürüzlü olduğu da dikkat çekmektedir. Krom kaplı numunelere göre başlangıç pürüzlülüğünün yüksek olması bundan kaynaklanmaktadır.



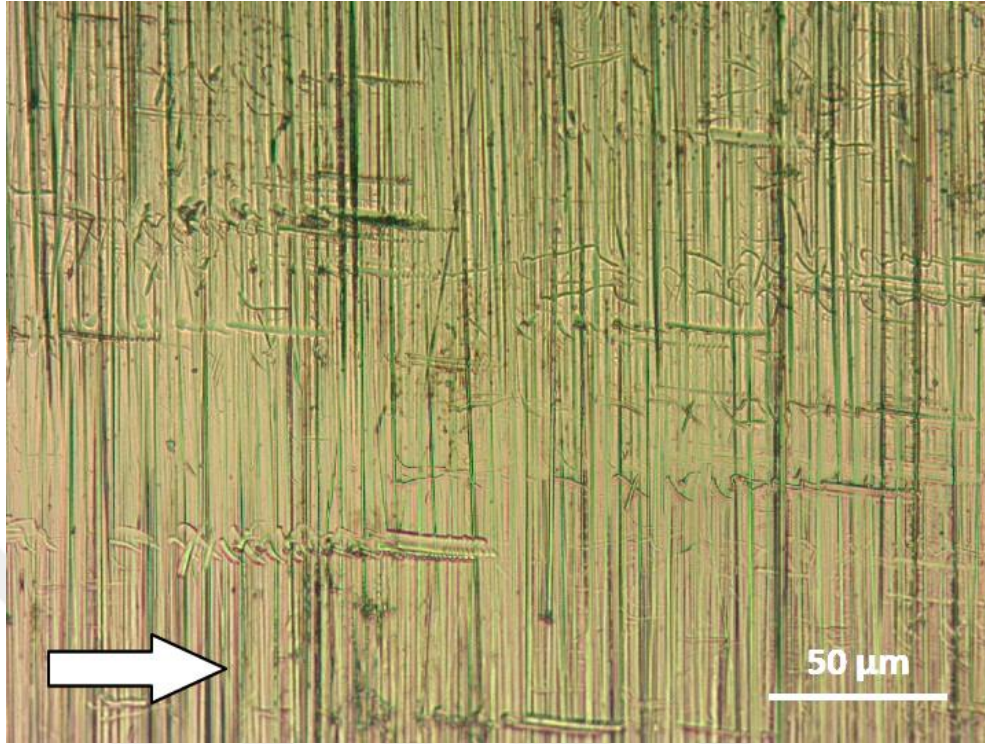
Şekil 3.7. Nitürlenmiş C35 milin ömür testi sonrası yüzey optik mikroskop görüntüsü (ok kayma yönünü göstermektedir).



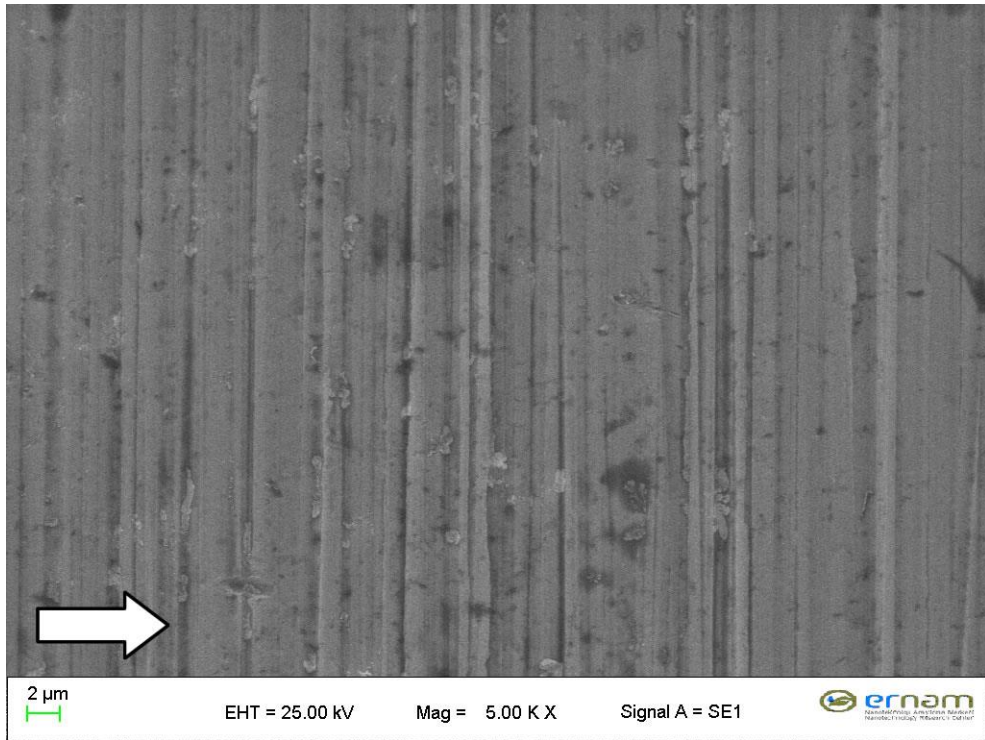
Şekil 3.8. Nitrürlenmiş C35 milin ömür testi sonrası yüzey SEM görüntüsü (ok kayma yönünü göstermektedir).



Şekil 3.9. Krom kaplı SS316 milin ömür testi sonrası yüzey optik mikroskop görüntüsü (ok kayma yönünü göstermektedir).



Şekil 3.10. Krom kaplı SS316 milin ömür testi sonrası yüzey optik mikroskop görüntüsü (ok kayma yönünü göstermektedir).



Şekil 3.11. Krom kaplı SS316 milin ömür testi sonrası yüzey SEM görüntüsü (ok kayma yönünü göstermektedir).

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Yüzey pürüzlülüğü ve mil malzemesi-kaplaması değişkenliğinde yapılan ömür testleri sonucunda 10.000 çevrime kadar sürtünme kuvvetlerinin lineer olarak arttığı gözlenmiştir. 10.000 çevrim sonunda sürtünme kuvveti değişkenlik göstererek seyretmiştir. Bu değişkenliğin sebebi ise birden fazla etkinin toplamı olarak yorumlanmıştır. Örneğin keçe dudaklarının yıpranması sürtünme kuvvetini arttırırken, çalışma boyunca gaz kaybı yaşanması ise keçelere yapılan etki kuvvetini azalttığından, sürtünme kuvvetini de azaltma yönünde etki edecektir.

Ömür testi boyunca CN numunelerinin pürüzlülüğü azalırken, SC ve CC numunelerinin pürüzlülüğü artmıştır. Yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümlerine göre ise, krom kaplamalı milin yüzey pürüzlülüğündeki artış hemen hemen tüm numunelerde aynı oranda ölçülürken, nitrürasyon uygulanmış 3 numunenin 2'sinde azalmış ancak birinde artmıştır. Ortalama olarak bakıldığında ise nitrürasyonlu numunelerde pürüzlülük düşmüştür. Dolayısıyla gazlı amortisör çalışıkça krom kaplamalı numunelerde yüzey pürüzlülüğü artarken, nitrürasyon uygulanmış numune de yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. 50.000 çevrim için test öncesi ve sonrası mutlak ortalama pürüzlülük değişimi ise 0,1 µm olarak ölçülmüştür.

Tablo 4.1. Ömür Testi Öncesi ve Sonrasındaki Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü ve Kuvvet Kaybı Değerleri.

	Test Öncesi Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri (R_a , μm)	Test Sonrası Ortalama Yüzey Pürüzlülükleri (R_a , μm)	Kuvvet Kaybı %
CN	0,09	0,08	-10,5
CC	0,07	0,08	-9,1
SC	0,06	0,07	-6,9

Yalnızca yüzey pürüzlülüğünün etkisi değerlendirilmek istendiğinde Tablo 4.1’de görülebileceği gibi yüzey pürüzlülüğü azaldıkça, kuvvet kaybı da yakın oranda azalmıştır. Dolayısıyla mil yüzey pürüzlülüğü amortisör ömrünü belirlemek için doğrudan etken olmuştur.

50.000 çevrim sonunda en çok gaz kaybı CN numunelerinde görülürken, en az gaz kaybı SC numunelerinde gözlenmiştir. Yapılan tüm testlerin sonucunda pürüzlülük azaldıkça gaz kaybı ciddi oranda azalmıştır. Ancak sürtünme kuvveti dikkate alındığında CN ve SC numunelerine göre sürtünme kuvveti CC numunelerinde ciddi oranda artmıştır. Çalışma sonuçları BalkanTrib’17 Sempozyumunda sunulmuş ve katılımcı akademisyenlerin yorumlarına da sunulmuştur [14].

Mil yüzey pürüzlülüğünün amortisör ömrüne etkisi çalışmalarında amortisör salgısı, kullanılan tüm diğer komponentlerin aynı olması, aynı basınçlarda gaz şarj edilmiş olmaları yapılan testin mukayesesinin doğruluğunu arttırmakta önemli rol oynamıştır.

NBR ve PU keçe kullanımının amortisörün kullanım ömrüne olan etkisi ise Tablo 3.4 ve Tablo 3.8’in incelenmesi sonucunda, PU keçeli amortisörün, NBR keçeli amortisöre göre sürtünme kuvvetinde 2 kat artış olmasına karşın, sızdırmazlık anlamında 2 katın üzerinde performans göstererek çalışma ömrü sağladığı görülmüştür. Sürtünme kuvvetindeki artış aynı zamanda sızdırmazlık anlamında daha büyük bir kuvvet ile mil-keçe ara yüzeyinde etkileşim olduğunu göstermektedir. Mil-keçe yüzeyindeki etkileşimi bir katsayı olarak düşünürsek, benzer oranda amortisör ömrünün arttığı da söylenebilir. Ancak PU keçeli amortisörün ömür testinde görülebileceği gibi 113.000 çevrime kadar %6,61 basınç kaybı yaşanmış iken, 121.000 çevrimde %12,11’lik ani bir basınç kaybı yaşanmıştır. Aynı zamanda NBR keçeli numunelerde 0,5 cc altında bir yağ kaybı

görülür iken PU keçeli amortisör numunesinde 1,8 cc'ye kadar yağ kaybı ölçülmüştür. Bu ani basınç kaybı ve yağ kaybının tartışmasız sebebi keçe dudaklarındaki deformasyondur. Yüksek sürtünme kuvvetinden dolayı keçe dudağında biriken gerilme deformasyon ile sonuçlanmıştır.

Özetlemek gerekirse;

- Mil yüzeyindeki yüzey pürüzlülüğü azaldıkça, amortisör ömrünün arttığı tespit edilmiştir.
- 90 ShR PU keçe malzemesi, 90 ShR NBR keçe malzemesine göre yüzeyi en pürüzlü olan mil yüzeyi (ömür sonucu açısından en aşındırıcı,ağır şart) etkisinde 2,26 kat daha uzun kullanım ömrü sunmuştur. Keçe malzemesinin aşınma ve sızdırmazlık dayanımları, mil yüzey pürüzlülüğüne göre amortisör ömrünü belirleyen en kritik etken olduğu görülmüştür.
- Amortisörün salgısı azaldıkça, amortisör çalışma ömrü artmaktadır. Bu çalışmada 0,5mm altı salgılı numunelerde yakın sonuçlar elde edilmiştir.

4.2. Öneriler

Tablo 4.1'deki sonuçlara göre yüzey pürüzlülüğü düştükçe gaz kaybının da daha az olduğu görülmüş ve yüzey pürüzlülüğünün gazlı amortisörün çalışma ömründe doğrudan etkili olduğu tespit edilmiştir. Mil yüzeyindeki pürüzlülükte yapılabilecek iyileştirme çalışmalarının doğrudan amortisör ömrünü iyileştireceği açıktır. Ancak pürüzlülük alanında yapılacak olan iyileştirmeler bir eşik noktasından sonra yapışı sebep olabilir.

Gazlı amortisörün çalışma ömrüne etki edebilecek farklı viskozitelerde yağ kullanımının etkisi, çalışma salgısına etki edebilecek farklı yataklama uzunluklarının etkisi, keçe dudaklarına uygulanan farklı bar basınçlarının etkisi (düşük ve yüksek basınç), mil çapı değişkenliğinin ömür testine olan etkisi, keçe iç dudak çapı ile mil dış çap ölçüsü farkının birbirine sıkı geçecek belirli ölçü aralıklarının dolayısıyla farklı dudak baskı kuvvetlerinin etkilerinin ayrı ayrı çalışılması ve yorumlanmasının bu çalışmayı tamamlayıcı olarak rol oynayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Soydan, Y., Ulukan, L., 2013. Temel Triboloji. Kopisan, 16s.
2. 2018. Publication of Stabilus full year results for fiscal year 2018 (Annual Report 2018). (Web Sayfası: <http://ir.stabilus.com/download/companies/stabilus/Annual%20Reports/LU1066226637-JA-2017-EQ-E-00.pdf>), (Erişim tarihi: Aralık 14, 2018).
3. Sakarya, K., Karakoç, S., 2011. Ağır hizmet uygulamalarında kullanılan sızdırmazlık elemanlarında yenilikler., 57-72. *VI. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi*, 12-15 Ekim 2011, İzmir, Tmmob Makina Mühendisleri Odası, 593.
4. Yıldız,, Kopmaz, O., Gökyer, Y. , 2015. Binek araçlarda kullanılan gazlı pistonlu bagaj kapağı açma-kapama mekanizmalarının incelenmesi. **Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi**, Cilt(20): 1-10.
5. Boblet, D. J., Kreutz, M., 2000. TUFFTRIDE / QPQ Process. (Web Sayfası: <http://www.houstonunlimitedinc.com/pdf/Tufftride.pdf>), (Erişim tarihi: Temmuz 2000).
6. Bengisu, MT., Akay, A. , 1999. Stick–slip oscillations: dynamics of friction and surface roughness. **The Journal of the Acoustical Society of America**, Cilt(105): 194-205.
7. Devlen, O., Sakarya, K., 2011. PTFE ürünlerinde gelişmeler ve sızdırmazlık teknolojisinde kullanım alanları., 349-364. *VI. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi*, İzmir, Tmmob Makina Mühendisleri Odası, 593.
8. Cai, W., Meng, F., Gao, X., Hu, J. , 2012. Effect of QPQ nitriding time on wear and corrosion behavior of 45 carbon steel. **Applied Surface Science**, Cilt(261): 411-414.
9. Lee, JI. , 2015. The development of gas seal lip technology on piston rod for reducing. **Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society**, Cilt(16): 7166-7175.
- 10 Di Benedetto, G., Organisciak, M., Popovici, G., Stijepić, A. , 2009. Film Thickness Prediction of Radial Lip. **FME Transactions**, Cilt(2): 87-90.

- 11 Irman, DW., Bollman, H., 2010. Skf sealing NBR00450 (NB9016) technical datasheet. (Erişim tarihi: Aralık 2010).
- 12 (2012) *PU9201 Material Datasheet*. Datasheet, Kastas Sealing Technologies A.S..
- 13 Shell Spirax S2 ATF AX v1.1 Teknik Bilgi Formu. (Web Sayfası: <http://www.ozgunshell.com/yuklemeler/shell-spirax/SHELL%20SPIRAX%20S2%20ATF%20AX.pdf>), (Erişim tarihi: Şubat 2015).
- 14 YALÇIN, Ç. B., SAVAŞ, S. , 2017. The effect of rod material on tribological properties of gas springs. **BalkanTrib 2017 9. Uluslararası Triboloji Konferansı, Cilt(9)**.
- 15 Raparelli, T., Manuello, A., Mazza, L. , 1997. Experimental and numerical study of friction in an elastomeric seal for pneumatic cylinders. **Tribology International, Cilt(30): 547-552**.
- 16 OliverHeipl, Murrenhoff, H. , 2015. Friction of hydraulic rod seals at high velocities. **Tribology International, Cilt(85): 66-73**.
- 17 Belforte, G., Conteb, M., Mazza, L. , 2014. Low friction multi-lobed seal for pneumatic actuators. **Wear, Cilt(320): 7-15**.
- 18 Belforte, G., Conteb, M., Bertetoc, A. M., Mazza, L., Raparellia, T., Visconte, C. , 2017. Indirect contact pressure evaluation on pneumatic rod seals. **Tribology International, Cilt(118): 240-245**.
- 19 Yüzey pürüzlülük ölçümleri. (Web Sayfası: <http://yamasa.com.tr/242/1/4/yamasa/yuzeyolcumparametreleri.aspx>), (Erişim tarihi: Şubat 2018).

EKLER

EK 1. TEST ŞABLONU & NUMUNE PARAMETRELERİ



ROD MATERIAL EFFECT ON GAS SPRINGS AS TRIBOLOGY



08.06.17

Purpose of the study : The main purpose of this study is to investigate the effect of shaft surface technology on the feel of gas shock absorbers.	Executive	MSc. Çağatay B. YALÇIN
	Advisor	Assoc. Prof. Soner SAVAŞ
	GGS Authorized Person	Serhat AKKUŞ
	GGS Quality Control	Sedat DİLMEN

Sample No	Bulk Material	Surface	Test Sample		HARDNESS	ROUGHNESS	THICKNESS OF COATING
			Gas Springs	Rod			
CNxx	C35	Nitriding	3	3			
CCxx	C35	Chrome Coated	3	3			
SCxx	SS316	Chrome Coated	3	3			
* as datasheet							

Other Important Compenants on Gas Springs			TECHNICAL DRAWING	
1	Gas Springs Type	8/18	Technical drawing is in the attachment.	
2	Seal			
3	Oil	7 cc		
4	Force	600N		
5	Tube	ST 14		
6	Oring			
*Other all components are same				

Experimental Tests to be Applied				
	Which Lab.	When	TEST	TEST STANDARD
1	GGS / MBM	Before/After	Roughness	
2	GGS	Before/During Test	Force Measurements since %10 Lost	
3	GGS	During Test	During Test, Gravimetric Oil Measurements since %10 Lost	
4	MBM	Before/After	Microscopy Image	
5	MBM	Before/After	Hardness Test	

EK 2. TEST SONUÇLARI VERİTABANI ŞABLONU



ROD MATERIAL EFFECT ON GAS SPRINGS AS TRIBOLOGY



SAMPLE NO	CYCLE	F1	F2	F3	F4	FR	Loss Force %	Ra	NOT	Ort. Ra BAŞ	Ort. Ra SON	GAZ KAYBI ORT.												
													Quantitative Analysis											
													Executive											
													Advisor											
GGS																								
GGS Quality																								
MSc. Çağatay B. YALÇIN																								
Assoc. Prof. Soner SAVAŞ																								
Serhat AKKUŞ																								
Sedat DİLMEN																								
CN01	0	623,47	898,67	656,88	933,06	33,42	0,00	0,09	50.000 cycle sonunda %10.01 gaz kaybı olmuştur.Yağ kaybı yoktur.35000 cycle da başlayan sürtünmeden kaynaklı mil yüzeyinde tırnağa takılmayan yatay ve dikey çizgiler gözlenmiştir. TEST ÖNCESİ 0.09 TEST SONRASI 0.075	0,09	0,08	-10,5												
	5.000	593,65	865,83	654,38	912,63	60,72	-4,78	0,095																
	10.000	582,35	840,17	650,51	906,07	68,16	-6,60	0,095																
	15.000	578,78	842,50	654,83	899,47	76,05	-7,17	0,09																
	20.000	574,38	840,60	659,10	894,62	84,72	-7,87	0,085																
	25.000	564,98	836,97	654,43	882,10	89,45	-9,38	0,07																
	30.000	570,45	831,64	650,01	884,31	79,56	-8,50	0,085																
	35.000	573,01	815,11	644,85	891,70	71,83	-8,09	0,09																
	40.000	556,10	821,40	643,17	868,68	87,61	-10,81	0,085																
45.000	562,46	824,05	621,49	850,28	59,03	-9,79	0,07																	
50.000	561,03	819,74	620,74	851,46	59,72	-10,01	0,075																	
CN02	0	616,52	892,21	649,97	914,48	33,45	0,00	0,09	50.000 cycle sonunda %10.69 gaz kaybı olmuştur.Yağ kaybı yoktur.25000 cycle da başlayan sürtünmeden kaynaklı mil yüzeyinde tırnağa takılmayan yatay ve çizgiler gözlenmiştir.	0,09	0,08	-10,5												
	5.000	594,66	863,19	640,52	891,89	45,86	-3,55	0,095																
	10.000	581,03	839,09	643,49	900,03	62,47	-5,76	0,095																
	15.000	579,13	847,57	642,56	880,50	63,44	-6,06	0,095																
	20.000	571,08	828,13	640,80	882,74	69,72	-7,37	0,095																
	25.000	566,57	830,03	631,57	871,75	64,99	-8,10	0,095																
	30.000	561,04	820,59	640,46	871,35	79,42	-9,00	0,08																
	35.000	557,70	807,09	634,60	881,28	76,90	-9,54	0,095																
	40.000	550,68	818,42	632,01	850,24	81,32	-10,68	0,10																
45.000	548,29	801,36	619,65	841,18	71,36	-11,07	0,095																	
50.000	550,60	805,74	607,89	834,71	57,29	-10,69	0,08																	
CN03	0	629,16	908,64	656,22	935,95	27,06	0,00	0,08	CN03 Amortisör 50.000 cycle sonunda % 8.92 gaz kaybı olmuştur.Yağ kaybı yoktur.25.000 cycle da başlayan sürtünmeden	0,09	0,08	-10,5												
	5.000	607,76	863,02	644,93	935,00	37,17	-3,40	0,09																
	10.000	592,35	868,62	653,50	909,06	61,15	-5,85	0,095																
	15.000	595,42	859,80	642,91	909,65	47,49	-5,36	0,10																
	20.000	594,25	859,08	643,99	906,43	49,74	-5,55	0,095																
25.000	585,54	849,79	635,43	895,44	49,88	-6,93	0,08																	

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Çağatay Berkan YALÇIN
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 04.03.1992 - Kadıköy
Medeni Durum: Bekar
e-mail: cberkanyalcin@gmail.com
Yazışma Adresi: Cihangir Mah. Meşrutiyet Cad. Gediz Sok. No:16 D.8
 Avcılar/İST. 34310

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniv. Mühendislik Fakt. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölüm	2015
Lisans, (Erasmus+)	West Pomeranian University of Technology	2014
Lise	Beylikdüzü Cahit Zarifoğlu Lisesi, İstanbul	2010

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2015-Halen	Global Gazlı Amortisör Ltd. Şti.	Malzeme & Tasarım Mühendisi
2016-Halen	Pixelance Yazılım ve Mühendislik Ltd. Şti.	Kurucu, Yazılım Geliştirici

YABANCI DİL

İngilizce