

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI MALZEMELERLE KAPLANMIŞ SEGMAN-SİLİNDİR
ÇİFTİNİN SÜRTÜNME VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet AKGÜNDÜZ

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. İdris CESUR**

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ


FARKLI MALZEMELERLE KAPLANMIŞ SEGMAN-SİLİNDİR
ÇİFTİNİN SÜRTÜNME VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

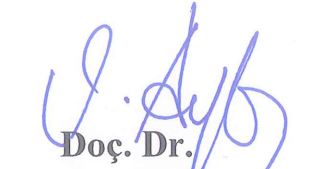
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Mehmet AKGÜNDÜZ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 12/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr.
Halit YAŞAR
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Vezir AYHAN
Üye


Doç. Dr.
İdris CESUR
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mehmet AKGÜNDÜZ

12/09/2019

TEŞEKKÜR

Tez yazımı ve deneysel çalışma boyunca tecrübelerini esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, teŐvik eden, çalıŐmalarımnda azmetmemi sağlayan, gerektiği yerde yönlendiren Doç. Dr. İdris CESUR hocamıza katkılarından ötürü teŐekkürlerimi sunarım.

Atölye deney çalıŐmalarımızda bizlere destek veren, yardımlarını esirgemeyen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Makine Mühendisliği atölye teknik personeline yardımları için teŐekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca malzeme tedarik noktasında yardımlarını esirgemeyen sapanca federal mogul fabrikasına teşekkür ederim.

Aileme ve erken yaŐta kaybettiğimiz meslektaŐım, dostum Mert ERGÜN'e...

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
ÖZET.....	viii
SUMMARY.....	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. İçten yanmalı motorlarda sürtünme davranışları ve özellikleri.....	4
2.1.1. Literatür özeti.....	6
2.2. Segmanların genel özellikleri.....	9
2.2.1. Segman Kategorileri.....	10
2.2.2. Piston segman malzemeleri ve kullanılan kaplama maddeleri.....	11
2.3. Kaplama yöntemleri.....	17
2.3.1. Termal Sprey Kaplamalar.....	17
2.3.2. Vakum metoduyla yapılan kaplamalar.....	21
2.3.3. Elektrokimyasal kaplamalar.....	22
2.4. Sürtünme ve aşınma mekanizmaları.....	22
2.4.1. Sürtünme Mekanizmaları.....	22
2.4.1.1. Sürtünme Çeşitleri.....	25
2.4.1.2. İçten yanmalı motorlarda sürtünme.....	26

2.4.2. Aşınma Mekanizmaları.....	26
2.4.2.1. Aşınma Çeşitleri.....	28
2.4.2.2. İçten yanmalı motorlarda aşınma.....	31
2.4.2.3. Aşınma ölçüm yöntemleri.....	32
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Materyal.....	34
3.2. Yöntem.....	35
3.2.1. Kullanılan araç-gereçler.....	35
3.2.2. Sürtünme Katsayısının Belirlenmesi.....	35
3.3. Analizler.....	37
3.3.1. Aşınmanın Ölçülmesi.....	37
3.3.2. Tasarım ve İmalat.....	38
BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI.....	43
4.1. Sürtünme Deney Verileri.....	43
4.2. Aşınma Deney verileri.....	47
4.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementsel Analiz incelemeleri (EDX).....	57
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ.....	62
KAYNAKLAR.....	64
ÖZGEÇMİŞ.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AÖN	:Alt ölü nokta
AR-GE	:Araştırma ve Geliştirme
ASTMG133-05	:Standart test metodu
Cr	:Krom
CVD	:Kimyasal buhar biriktirme yöntemi
DC	:Direkt akım
d/d	:Devir/Dakika
HVOF	:Yüksek hızda oksı-yakıt püskürtme yöntemi
İYM	:İçten yanmalı motor
Ni	:Nikel
Pd	:Paladyum
PVD	:Fiziksel buhar biriktirme yöntemi
SEM	:Taramalı elektron mikroskobu
ÜÖN	:Üst ölü nokta

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. İçten yanmalı motorların toplam enerji dağılımı(a) ve mekanik sürtünme dağılımı(b).....	5
Şekil 2.2. Bir piston kesitinde segman çeşitleri ve yerleri.....	11
Şekil 2.3. Segmanın farklı gerginlik, malzeme özelliği ve yüksekliğinde sürtünme, rodaj ve çalışma ömrü durumu.....	13
Şekil 2.4. Alevle toz püskürtme.....	18
Şekil 2.5. Yüksek hızda oksijen-yakıt püskürtme yöntemi: HVOF.....	19
Şekil 2.6. Plazma sprey kaplama yöntemi.....	20
Şekil 2.7. Elektrik arkı ile tel ergitme metodu.....	21
Şekil 2.8. Sürtünme kuvveti.....	23
Şekil 2.9. Sürtünme katsayısı ile kayma hızı arasındaki ilişki.....	24
Şekil 2.10. Kuru sürtünme.....	25
Şekil 2.11. Sınır sürtünme.....	25
Şekil 2.12. Yarı sıvı sürtünme.....	26
Şekil 2.13. Sıvı sürtünme.....	26
Şekil 2.14. Bir tribolojik sistemin elemanları.....	27
Şekil 2.15. Abrazif aşınma.....	28
Şekil 2.16. Oluk oluşumu Mekanizmaları.....	29
Şekil 2.17. Adezif aşınma.....	29
Şekil 2.18. Korozyon aşınma.....	30
Şekil 2.19. Yorulma aşınması.....	31
Şekil 3.1. Segman-gömlek numunelerinin şematik görünümü.....	35
Şekil 3.2. Yük denge kolu.....	36
Şekil 3.3. Güç Kaynağı.....	36
Şekil 3.4. Labview programı.....	37
Şekil 3.5. Hassas Terazisi.....	38

Şekil 3.6. Aşınma test cihazı katı modellemesi.....	39
Şekil 3.7. Termostat.....	40
Şekil 3.8. Sürücü.....	40
Şekil 3.9. Segman tutucu aparatlar.....	41
Şekil 3.10. Gömlek aşınması.....	41
Şekil 3.11. Segman aşınması.....	42
Şekil 4.1. Krom kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi.....	44
Şekil 4.2. Nikel kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi.....	45
Şekil 4.3. Mangan fosfat kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi.....	46
Şekil 4.4. Paladyum kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi.....	47
Şekil 4.5. Silindirin 40N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	48
Şekil 4.6. Silindirin 60N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	49
Şekil 4.7. Silindirin 80N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	50
Şekil 4.8. Silindirin 40N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	51
Şekil 4.9. Silindirin 60N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	52
Şekil 4.10. Silindirin 80N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	52
Şekil 4.11. Segmanın 40N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	53
Şekil 4.12. Segmanın 60N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	54
Şekil 4.13. Segmanın 80N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	54
Şekil 4.14. Segmanın 40N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	55
Şekil 4.15. Segmanın 60N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	56
Şekil 4.16. Segmanın 80N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.....	56
Şekil 4.17. Nikel kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi.....	57
Şekil 4.18. Mangan Fosfat kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi.....	58
Şekil 4.19. Krom kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi.....	58
Şekil 4.20. Paladyum kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi.....	59
Şekil 4.21. Ham segmanın SEM görünüşü ve EDX analizi.....	59
Şekil 4.22. Nikel kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşındırmasının SEM görünüşü ve EDX analizi.....	60
Şekil 4.23. Mangan Fosfat kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşındırmasının SEM görünüşü ve EDX analizi.....	60
Şekil 4.24. Krom kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği	

aşındırmasının SEM görünüşü ve EDX analizi.....	61
Şekil 4.25. Paladyum kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği	
aşındırmasının SEM görünüşü ve EDX analizi.....	61



FARKLI MALZEMELERLE KAPLANMIŞ SEGMAN-SİLİNDİR ÇİFTİNİN SÜRTÜNME VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

İçten yanmalı motorlarda güç kayıplarının en büyük sebebi sürtünmelerden kaynaklı kayıplardır. Bu kayıplar motor içinde çalışan parçaların birbirine sürtünmesi sonucu meydana gelmektedir. Sürtünme ile malzeme kaybı meydana geldiği gibi motor performansı ve yakıt tüketimi de bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Sürtünme kaybının yaklaşık yarısı segman ve silindir gömleği arasında meydana gelmektedir.

Bu çalışmada, ham segmana farklı malzemeler kaplanması durumunda segman-silindir çifti arasındaki oluşan sürtünme ve aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Segman numunesine, mangan-fosfat, nikel ve paladyum malzemeleri kaplanmıştır. Bu malzemeler, sürtünme katsayılarının düşüklüğü ve yüksek sıcaklığa dayanımları sebebiyle tercih edilmiştir. Kaplamalar için farklı kaplama tekniklerinden faydalanılmıştır. Silindir gömleği malzemesi federal mogul superstar serisi olarak kullanılmıştır. Deneyler, içten yanmalı motorların çalışma prensibe göre tasarlanan bir aşınma cihazında yapılmıştır. Deneylerde, farklı sıcaklık, yük ve hızın sürtünme ve aşınma karakteristiği üzerine etkileri araştırılmıştır.

Farklı yük, devir ve sıcaklıklarda yapılan segman-silindir gömleği aşınma deneylerinde düşük devirlerde sürtünmeye maruz bırakılan silindir gömleği numunelerinin, daha yüksek devirlerde yapılan deneylere göre fazla aşınmaya uğradığı, ayrıca gömlek ile segman numunelerinin daha çok tahrip olduğu, sürtündüğü gözlemlenmiştir. Segman elemanının da deney sonrası yapılan ölçümlerinde, kaplamalarının aşındığı tespit edilmiştir. Farklı yüklerle yapılan deneylerde ise yük değeri arttıkça motorun daha fazla zorlandığı, sürtünmenin arttığı görülmüştür. İkinci deney sıcaklık değerinde(80°C) yapılan deneylerde ise ilk deneye (30°C'de yapılan) göre kullanılan sıcaklık değeri artırılmış ve deney sonuçlarında çok büyük değişimler gözlemlenmemiştir. Ancak rejim sıcaklığına doğru aşınma değerleri azalma eğilimi göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Aşınma ve Sürtünme, Nikel, Mangan fosfat, Paladyum, Krom kaplama, Devir, Yük

INVESTIGATION OF THE FRICTION AND WEAR FEATURES OF SEGMENT-CYLINDER DOUBLE COATED WITH DIFFERENT MATERIALS

SUMMARY

The biggest cause of power losses in internal combustion engines is losses due to friction. These losses occur as a result of the friction of the parts working in the engine. Friction and material loss occur as well as engine performance and fuel consumption. About half of the friction loss occurs between the piston ring and the cylinder liner.

In this study, the friction and wear behavior between the piston ring-cylinder pair is investigated experimentally when different materials are coated on the raw piston ring. The segment sample was coated with manganese-phosphate, nickel and palladium materials. These materials were preferred because of their low coefficient of friction and high temperature resistance. Different coating techniques were used for coatings. The cylinder liner material was used as the federal mogul superstar series. The tests were carried out in a wear device designed according to the working principle of internal combustion engines. In the experiments, the effects of different temperature, load and speed on friction and wear characteristics were investigated.

Piston ring-cylinder liner wear tests carried out at different loads, speeds and temperatures have shown that cylinder liner samples subjected to friction at low speeds suffer more wear than the experiments performed at higher speeds, and that the liner and piston ring samples are more damaged and rubbed. In the measurements of the ring element after the experiment, it was determined that the coatings were worn. In the experiments carried out with different loads, it was observed that the higher the load value, the more difficult the motor was and the higher the friction. In the second test temperature (80 °C), the temperature value used was increased compared to the first test (30 °C) and no significant changes were observed in the test results. However, wear values towards the regime temperature tended to decrease.

Keywords: Abrasion and friction, Nickel, Manganese Phosphate, Palladium, Chrome Coating, Rotation, Load, Temperature.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünya üzerinde petrol tüketiminin artmasına karşın petrol rezervleri giderek azalmakta ve bu duruma bağlı olarak yeni enerji kaynakları arayışı ön plana çıkmaktadır. Bu ihtiyaçların küçük bir kısmı yeniden kazanılabilecek olan yenilenebilir enerji ile giderilebilirken büyük bir kısmı halen yeri doldurulabilir şekilde giderilememekte ve bu durum mevcut olan sistemlerde de iyileştirme ve verimsel artış arayışlarını zorunlu kılmaktadır. Bunun için malzeme kalitesi, sürtünme özelliği, aşınma dayanımı ve mukavemet özellikleri günümüz üretim teknolojisinde önemli yer tutmaktadır.

Herhangi bir tribolojik tabaka için; yüzey kalitesi, yağlama şartı ve sürtünme davranışı önem arz eder. Uzun yıllardır, piston segmanları aşınmayı önlemek, hem de sürtünmeyi azaltmak ve böylece yakıt tüketimini azaltmak için farklı malzemelerle kaplanmıştır (Priest ve Taylor, 2000). Günden güne gelişmesine ve yüksek teknolojileri ihtiva etmesine rağmen otomotiv sektöründe halen sürtünme kaybı ve verimsel düşüklük önemli yer tutmaktadır. Verimsel azlıkta sürtünen malzeme uyumu da kayda değer bir faktördür. Sürtünme kuvveti aralarında sürtünme olan cisimlerin cinsi ve pürüzlülük derecesine bağlıdır (Bayvas, 1978). Öyle ki sürtünme kuvvetini optimum değerlere çekebilmek için mevcut çalışma sistemlerini istenen ömür için yeniden tasarlama gereğine veyahut lokal olarak parçaların alternatiflerini geliştirmeye itmektedir. Aksi durumda aşınma, parçalar arası boşluğun artışına, istenmeyen hareket serbestliğine, hassasiyet kayıplarına ve böylece daha hızlı aşınmaya ve sonunda yorulmuş malzemenin kırılmasına sebep olmaktadır (Hutchings, 1992). İçten yanmalı motorlarda sürtünme, toplam güç kaybının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Çalışma prensibine göre silindir içerisindeki yakıt-hava karışımının yanması sonucu oluşan basınç, piston-biyel-krank mekanizmasıyla işe dönüştürülür ve çıkış miline aktarılır. Bu aktarımda, işin bir kısmı sürtünmeleri yenmek için harcanmaktadır. Bu işe sürtünme işi denir. İçten yanmalı motorlarda mekanik sürtünme bölgeleri birkaç sırayla

gruplandırılmaktadır. Bunlar: Piston grubu, subap düzeneği, krank mili (yataklar) ve diğer donanımlardır (yağ pompası vb.). Piston segmanı montajı genel sürtünme kayıplarına en çok sebep olan parçalardan biridir (Andersson, 1991; Ruddy, Economou ve Dowson, 1982). Segmanların özelliklerine bakıldığında genellikle dökme demirlerden imal edildikleri bilinmektedir. Ayrıca, piston segmanlarının önemli görevlerinden birisi pistonun aşağı yukarı hareketi sırasında sıçrattığı fazla yağların yanma odasına geçmesinin engellenmesidir (Andersson, Tamminen ve Sandström, 2002). Segmanları yüksek sıcaklık ve basınç altında zorlu çalışma koşullarından koruma isteği sebebiyle birçok kaplama yöntemi uygulanmakta ve kaplama için farklı alaşım ve malzemeler tercih edilmektedir. Piston segmanlarının malzemeleri, segmanların performans karakteristiğine ve hangi koşullar altında çalışmak zorunda olduklarına bakılarak seçilir. Çünkü iyi esneklik ve korozyona karşı direnç olduğu kadar, aşırı kullanım koşulları altında hasara karşı yüksek dayanım da önemlidir. Hasara sebep olan durumlar yüksek aşınma sonucunda meydana gelir. Makine elemanlarının yaklaşık olarak % 70'inin işe yaramaz hale gelmesinin sebebi aşınmadır (Hazar ve Öner, 2007).

Fonksiyonel yüzey uygulamaları ve kaplamalar, metal yüzeylerin kayma özelliklerini iyileştirmek için çeşitli imkanlar sunar. Bu imkanlar için genellikle; sertlik, aşınma direnci, kaplama düzgünlüğü ve korozyon direnci gibi kaplamaların çeşitli fiziksel özellikleri kullanılır. Kaplamanın malzeme ve yüzey etkisi, motor performans kalitesini düşük kayıplarla, uzun hizmet ömrü ile minimum emisyonu karşılayacak şekilde etkilediği bilinmektedir (Ali, Dadoura, Ahmed ve Nigm, 2015).

Silindir içinde yanma sonrasında meydana gelen basınç ve etkidiği kuvvet sebebiyle segmanlar silindire doğru yaslanır. Bu sebeple çalışan motorda silindir ve segman arasında sürtünme oluşur ve bu da aşınmalara sebep olur. Ayrıca silindir ÜÖN'de yağlama diğer bölgelerden düşük seviyede gerçekleşir ve yanma sebebiyle yağlama yağı yandığından aşınma silindir içinde en çok orada görülür (Hazar, 2004).

Bu çalışmada farklı malzemelerle kaplı segmanların farklı devir, sıcaklık ve yük koşulları altında sürtünme katsayısı ve aşınma üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Kaplanmış piston segmanı yüzeylerinin aşınmaya karşı sertlik

özelliğlerinin kaplama sayesinde yükseldiğı görülmüştür (Kumar, Sinha ve Agarwal, 2019).

Sürtünme ve aşınma deneyleri doğrusal hareket eden bir aşınma cihazında yapılmıştır. Aşınma testleri ASTM G133-05 (standart test metodu) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma cihazı, motorlarda segman- silindir çiftinin gerçek şartlarda çalıştığı gibi doğrusal bir hareket yaparak çalışmaktadır. Aşınma test cihazı, içten yanmalı motorlarda olduğu gibi silindir sabit segman ise hareket etmek suretiyle gerçek motor şartlarına uygun olarak tasarlanmıştır. Aşınma test cihazında normal yükler, segman numunesinin bağlandığı taşıyıcı kola istenilen değerleri verecek şekilde ağırlıklar asılarak verilmiştir. Deneyler 50, 75, 100, 125 ve 150 d/d hızlarda, normal yükler ise 40, 60 ve 80 N olarak seçilmiştir. Deneyler, içten yanmalı bir motorun rejim sıcaklığında 80 °C ve 30 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

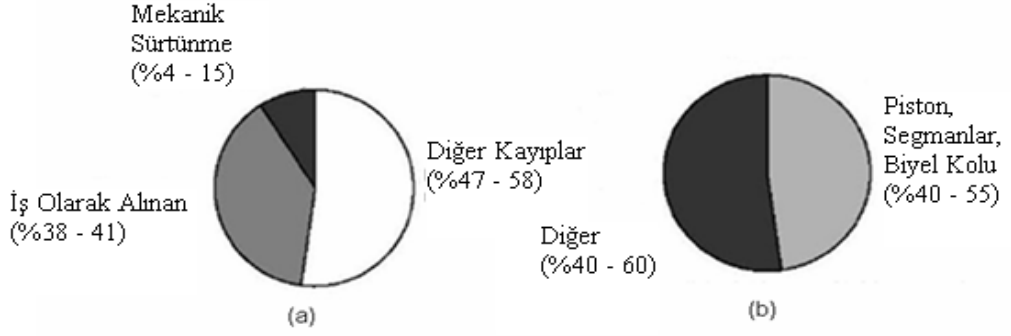
2.1. İçten Yanmalı Motorlarda Sürtünme Davranışları ve Özellikleri

Isı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelere motor denir. Yakıtı yanma odasında (silindir) yakarak oluşan ısı enerjisini krank-biyel mekanizmasıyla hareket enerjisine çeviren motorlara içten yanmalı motorlar denir. Motorlar verimsel durumlara göre içten veya dıştan yanmalı diye iki şekilde de sınıflandırılabilir. Krank milinin her bir 180 derecelik dönme hareketine ve pistonun Ü.Ö.N ile A.Ö.N arasında yaptığı harekete de zaman denir. İçten yanmalı motorlarda çalışma prensibine göre iki ve dört zaman olarak çeşitlendirilmektedir. Ayrıca içten yanmalı motorlarda kullanılacak hacim miktarına göre silindir sayısı artırılabilir. Hacim eş dağılımı ile rahat, sürtünmesiz-darbesiz çalışma şartları oluşturulması açısından silindir sayısının belirlenmesi sağlanır.

İçten yanmalı motorlar 17. yy.dan itibaren çeşitli araştırmacıların buluşlarıyla birikimli şekilde ilerlemeye başlamış, günümüze kadar gelmiş ve gelişmeye devam etmiştir. Bilimin tümevarım gibi bir özelliğe sahip olması sebebiyle yapılan tek silindirli motor, buhar motorları, havalı motor v.b. tip çalışmalar en son günümüzdeki yaygın 4 silindir motor halini almıştır. Ancak 20.yy başlarından beri seri üretime geçilen otomotiv sektöründe günümüzde verim halen düşük seviyelerdedir. Bunun için birçok araştırmacı kayıplarla ilgili çalışma sürdürmektedir.

İçten yanmalı motorlardaki aşınmanın birçok sebebi vardır. Aşınma, çeşitli mekanik etkilerle cisimlerin yüzeylerinden mikro taneciklerin kopması sonucunda meydana gelen malzeme kaybıdır. Bu şekilde yüzeyler ilk haldeki şekillerini kaybeder; parçalar arasındaki boşluklar büyür ve amaçlanan fonksiyon normal şekilde yerine getirilemez. Makine elemanlarının yaklaşık olarak % 70'inin işe yaramaz hale gelmesinin sebebi aşınmadır (Hazar ve Öner, 2007).

Sürtünme kayıpları, maksimum moment ile özgül yakıt sarfını ciddi şekilde etkilemektedir. Mekanik kayıplarda %10 seviyesinde yapılacak bir iyileştirme yakıt tüketiminde %1,5'lik bir kazançta dönüşmektedir (Tung ve Mcmillan, 2004).



Şekil 2.1. İçten yanmalı motorların toplam enerji dağılımı(a) ve mekanik sürtünme dağılımı(b) (Kılıç, 2006).

Bu tez çalışmasında segman-silindir arası sürtünme özellikleri araştırılmış ve deneylerle veriler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu bölge daha çok piston sürtünmesi denen kısma denk gelmektedir. Piston sürtünmesi de kendi içinde farklı çeşitlere ayrılmaktadır.

Piston grubu sürtünmesi:

- Piston- Silindir gömleği sürtünmesi
- Segman- Silindir gömleği sürtünmesi
- Piston pimi
- Krank- Biyel sürtünmesi

İçten yanmalı motorlarda(İYM) en çok sürtünme meydana gelen noktalarından biri de pistonun en alt noktaya gelip hareketini tamamladıktan sonra, yavaşlayarak hareketini değiştirip ters yöne gitmeye çalışması sırasında(Alt Ölü Nokta: AÖN) ve pistonun en üst noktada piston stroku boyunca hareketini yapıp dönüşünde yavaşlayarak sürtünmeyi yenmeye çalıştığı noktada (Üst Ölü Nokta: ÜÖN) meydana gelmektedir. Ayrıca Şekil 2.1.'de de görüldüğü gibi piston-segman bölgesindeki sürtünme miktarı fazladır.

2.1.1. Literatür Özeti

İçten yanmalı motorlarda bugüne kadar birçok araştırma yapılmış ve araştırma geliştirme(AR-GE) çalışmaları devam etmektedir. 2019 yılına gelindiğinde Almanya'nın Hamburg, Stuttgart, Berlin, Frankfurt ve Köln şehirlerinin bazı caddeleri dizel araç kullanma yasağına geçmiş bulunmakta. Ayrıca Çin, Hindistan, Fransa, İngiltere ve Norveç gibi ülkeler, farklı tarihlerde benzinli ve dizel araçlara yasak getirmeye hazırlanıyor. Ancak dizel ve benzinli motorlu araçlar Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için halen lüks sayılmakta ve elektrikli araç devrimi yapılması biz ve bizim gibi ülkelerde uzun zaman alacağına benzemektedir. Direkt olarak elektrik motoru ile tahrik edilen araçların pahalılığı ve menzil değerlerinin tatminkar seviyelerde olmayışı elektrik motorlu araçların tercihini geciktirmektedir. Geçiş süreci açısından İYM'nin verimsel artışı yapılarak hibrid (içten yanmalı motor + elektrik motoru) sistemle beraber kullanılması önümüzdeki en az 50 yıl için daha gerçekçi bir yaklaşım olarak görülmektedir.

Yapılmış bazı çalışmaların literatür özeti aşağıda sıralanmıştır:

Liu (2014) yapmış olduğu çalışmada, düz tip dizel motor silindirlerinin aşınma önleyici özelliklerini ortaya çıkartmak için silindir gömleği ve piston segmanının çalışma durumu taklit edilmiştir. Bunun için dinamik sürtünme katsayısını ve aşınma derinliğini ölçmek amacıyla bir SRV IV aşınma test cihazı kullanılmıştır. Aşınmış yüzey topografyası taramalı elektron mikroskobu ile gözlenmiştir. Sonuçlar, aynı sürtünme çiftinde piston halkasının(segman) aşınmasının silindirinkinden daha büyük olduğunu göstermiştir.

Qu, He, Yang, Li ve Fu (2017) yapmış oldukları çalışmada ortam sıcaklığında çalışan ağır hizmet tipi dizel motorlarının, piston segmanları ve silindir gömleklerinin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemek için yapmış oldukları laboratuvar testleri ortaya konmuştur. Bir segman parçası, silindir gömleklerinin düz bir örneğine karşı test edilmiştir. Karşılaştırma dokulu olmayan silindir gömlekleri ile dokulu silindir gömleklerinin honlama işlemi arasında yapılmıştır. Sonuçlar, yüzey dokusunun farklı

yüklerde sürtünme ve aşınma performansı üzerinde çeşitli etkiler yarattığını göstermektedir. Ortam sıcaklığında, silindir gömleğinin aşınma mekanizması, düşük yükte (200N) yapışkan aşınma iken daha sonra aşınma mekanizması olmuş, en sonunda ise yapışkan aşınma ve yıpranma aşınması şeklinde karışık aşınmasına dönüşmüştür. Yüksek yükte (300N veya 400N) ve honlama uygulanmış yüzey dokusu yağlamayı geliştirmiştir. Bir piston segmanının krom kaplanması aşınma direnci performansını arttırmıştır. Ayrıca, silindir gömleğinin honlama yapılmış kabartmalı yüzey dokusu, piston segmanlarının aşınma kaybını azaltmada önemli bir rol oynamıştır.

Abdullah, Adril, Muchtar ve Ariffin (2010) tarafından yapılan çalışmanın amacı, piston segmanı ve silindir gömleği arasında çalışma sırasındaki sürtünmeyi yanma odasında en aza indirmektir. Piston segmanı için sürtünmeye karşı aşınma direnci seviyesi, difüzyon kaplama tekniği kullanılarak geliştirilmiştir. Bunun için piston segmanı ASSAB DF-3 çelikten ve % 0,9 karbon (C), % 0.85 krom (Cr), % 96,6 demir (Fe), % 1,2 manganez (Mn) ve % 0.55 titanyum gibi çeşitli maddelerden yapılmıştır. Difüzyon işlemi için kullanılan kimyasal maddeler: krom, amonyum klorür (NH₄Cl) ve alüminyum oksit (Al₂O₃) karışımıdır. Piston segmanı, krom karışımları ile birlikte, farklı zaman aralıklarında ısıtılmıştır. Sürtünme ve aşınmayı iyileştirmek için, bir difüzyon kaplama tekniği kullanılarak % 99,5 krom tozu ile kaplanmış olan piston segmanı, aşınma direncinden ötürü orijinal piston segmanına kıyasla daha yüksek bir sertlik sağlar. Sertlik, ısıtma sırasında korunan süreye bağlıdır. Ayrıca modifiye edilmiş piston segmanının, sürtünme katsayısında daha iyi bir azalmaya ve ayrıca aşınmaya bağlı daha az kütle kaybına yol açtığı da gösterilmiştir. Bu özellikler ile motor çalışması sırasında daha iyi dayanıklılık ile sonuçlanabilir veriler elde edilmiş ve yağlama arızası nedeniyle hasarı önleyebilir sonucuna varılmıştır.

Akalın ve Newaz (2001) yaptıkları çalışmalarında farklı yağ sisteminde silindir gömleği ve piston segmanı arasındaki sürtünmeleri araştırmışlardır. Normal piston ve segman elemanları segmanı tutan parça olarak kullanılmıştır. Segman tutucular, çift referans pim ile yükü iletmektedir. Piston segmanı ile silindir gömleği yüzeysel teması segman elastikiyeti sayesinde sağlanır. Segmanın takıldığı kısımdaki tilt hareketi sınırlanmamıştır. Piston segmanı ve silindir gömleği arası anlık sürtünme kuvvetini

tespit için gerilimölçer cihazları kullanılmıştır. Hava silindiri ve yük kolu kısmına bağlanan yük sensörü ile tatbik edilen dinamik yüklerin ölçümü yapılmıştır. AÖN ve ÜÖN'deki sürtünme katsayısının yüksek değer oluşu, bu bölgede metal temaslarının olduğunu vermektedir. Bu çalışma ile hız artışı durumunda karma yağlama sisteminde sürtme katsayısı azalmaktadır. Sonuçlara bakılarak yüzey durumu, sıcaklık ve farklı süratlerin yağlama rejimi için önemli parametreler olduğu görülmüştür.

Kılıç (2006) yüksek lisans çalışmasında motor sürtünme değer ölçümleri için farklı metotlar araştırılmış ve 'Ortalama indike basınç ölçme metodu' temelinde ilgili programlarla krank-biyel-piston sistem modellemesi yapılmıştır. Modellenen sistemde sonlu elemanlar analizi kullanılarak, kuvvete duyarlı bir biyel modeli yapılmış ve biyel için gerilme yüklenme durumu incelenmiştir. Bunun sonucunda motor üzerindeki sürtünmeler, uzama ölçümlerinde kullanılan strain-gage'ler için yer tespiti yapılmıştır. Bunun yanında modele farazi sürtünme kuvveti eklenmiş ve biyel mekanizması üzerine gelen gerilme dağılım farklılığı gözlenmiştir. Sonuçlarla biyel üzerindeki gerilme durumu için bilgi edinilmiş ve biyel üzerinde sürtünme sonucu uzama ve gerilme dağılımına küçük bir miktar da olsa etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Hirapara, Patel, Sharma, Ranjan ve Patel (2015) çalışmalarında, piston segmanına uygulanan termal püskürtülen molibdenin aşınma direnci incelenmiştir. Molibden kaplı piston segmanının aşınma direnci, sıradan dökme demir piston segmanlarına kıyasla yüksektir. Yaşam döngüsü ile ilgili deneyler, belirtilen işletim parametreleri için IS Standardı uyarınca sıkıştırılmış doğal gaz motoru üzerinde gerçekleştirilmiştir. Piston segmanındaki aşınma etkisi, frene özgü yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, fren termal verimliliği, frene özgü enerji tüketimi ve NO_x, CO, CO₂, HC, O₂ ve egzoz emisyonları gibi performans parametrelerine dayanılarak araştırılmıştır. Sonuç hem kaplama hem de kaplama olmayan koşullar için karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak plazma püskürtme yöntemi sert metali kaplamada en iyi yöntem olarak belirlenmiştir, bu sayede malzemenin aşınma direncinin arttığı görülmektedir.

Ali ve diğeri (2015) araştırmaları için motor silindir gömleği malzemesi, yüksek sıcaklık ve yüksek basınçlı gazdan doğrudan etkilenir ve her zaman piston segmanları ve silindir gömleği ile aralarında yüksek hızda sürtünme meydana gelir. Fonksiyonel yüzey uygulamaları ve kaplamalar, metal yüzeylerin kayma özelliklerini iyileştirmek için çeşitli imkanlar sunar. Bu imkanlar için genellikle; sertlik, aşınma direnci, kaplama düzgünlüğü ve korozyon direnci gibi kaplamaların çeşitli fiziksel özellikleri kullanılır. Silindir ölçüm teknikleri için birçok çeşit ve alet kullanılır. Bu çalışmada dizel motor için, yüzey işleme ve yüzey kaplama malzemeleri, yüzey finisajı, kaplama yüzeyinin mekanik özellikleri, silindir gömleği yüzeyinin ölçüm teknikleri, tribolojik davranış ve malzeme yüzey kalitesi için kaplama üretilen malzemeler incelenmiştir. Analizlerden, her kaplama malzemesinin veya yüzey kaplamasının kendi içindeki özelliklerini malzemede içerdini göstermiştir. Sonuç olarak, kaplamanın malzeme ve yüzey etkisi, motor performans kalitesini düşük kayıplarla, uzun hizmet ömrü ile minimum emisyonu karşılayacak şekilde etkilediği görülmüştür.

2.2. Segmanların genel özellikleri

Segmanlar kullanıldığı yere göre farklı amaçlar ihtiva etmektedir. 4 zamanlı ve 2 zamanlı motorlarda silindir bloğu içinde çalışan pistonların üzerine açılmış segman kanallarının içinde çalışan gri dökme demirinden ya da çelik alaşımından yapılmış halka şeklindeki parçalardır. Genel manada motorun üst bölümü ile alt bölümü arasında gaz geçişini engelleyen esnek metal parçadır. Adeta bir hava pompası prensibiyle çalışan motorun, çalışması esnasında oluşan yüksek sıcaklık değerleri nedeniyle, pistonun genişmesi sonucu sıkışık duruma geçmesini engellemek için, piston baş kısmında fazladan boşluk bırakılır. Bundan dolayı piston baş kısmına takılan segmanlar, İYM zamanları oluşumu için ciddi görevler yerine getirirler. Yanma sonucunda (ateşleme) meydana gelen aşırı sıcaklık sebebiyle piston başı çok fazla ısınır. Böylelikle üzerine bağlı olan segmanlar da ısınır. Isı artışı olan segmanlar, ısıyı silindir gömleğine doğru yönlendirir, sonrasında da soğutma suyu kısmına geçerek piston bölgesinin soğumasını sağlar. Görüldüğü gibi segmanlar adeta bir ısı aktarıcısı olarak ısı transferini gerçekleştirirler. Çalışma sırasında, segman silindir gömleği kısmı ile daimi bir sürtünme davranışı içerisinde. Metal metale malzeme aşınma durumunun meydana

gelmemesi için ortam yağlaması yapılmış olmalı, böylece sürtünme azalımı için segman ve silindir gömleği arasında ince bir yağ tabakası tatbik edilmiş olmalıdır. Segmanlar, ayrıca silindir cidarında bulunan kullanım fazlası yağı sıyırması ile piston ve silindir gömleği çalışma kısmında ince bir yağ tabakası oluşumunu meydana getirirler.

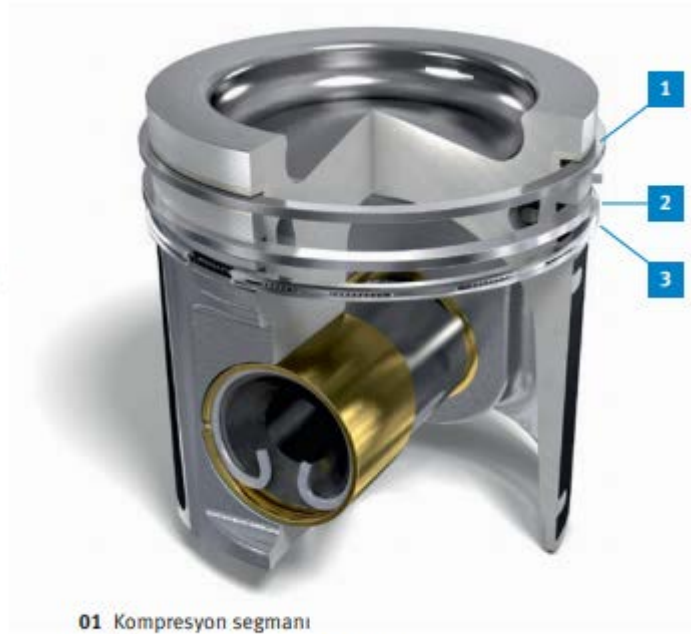
Herhangi bir tribolojik tabaka için, yüzey kalitesi yağlama şartı ve sürtünme davranışı önem arz eder. Uzun yıllardır, piston segmanları aşınmayı önlemek, hem de sürtünmeyi azaltmak ve böylece yakıt tüketimini azaltmak için farklı malzemelerle kaplanmıştır (Priest ve Taylor, 2000).

Segmanlardan beklenen özellikler:

- Fazlaca motor performans kaybı olmaması için düşük sürtünme direnci.
- Kimyasal zorlamalara, termodinamik yorulmaya ve sıcak korozyona karşı yüksek direnç ve aşınma dayanımı göstermesi.
- Piston segman silindirin iç yüzeyini aşırı aşındırmamalıdır, aksi durumda motor çalışma ömrü ciddi oranda azalır.
- Uzun çalışma ömrü, tüm çalışma süresi boyunca işletim güvenliği ve uygun maliyet.

2.2.1. Segman kategorileri

Yaygın kullanımında genelde 2-5 arası piston segmanı kullanılırken, bunlardan 2-4 arasında kompresyon segmanı ve 0-3 arası yağ kontrol segmanından oluşmaktadır. Segman tipi genelde 3 çeşit olup, bunlar kompresyon segmanı, kompresyon ve sıyırma segmanı ve yağ sıyırma segmanlarından meydana gelir. Şekil 2.2.'de segmanların piston üzerindeki bağlantısı gösterilmiştir.



- 01 Kompresyon segmanı
- 02 Kompresyon ve sıyırma segmanı
- 03 Yağ sıyırma segmanı

Şekil 2.2. Bir piston kesitinde segman çeşitleri ve yerleri.

Dizel motorların yağ kontrol segmanları iki parçalı yapıya sahiptir. Ateşlemeli motorlarda yağ kontrol segmanı üç parçalı yapı halinde olabilir. Segmanlar ve segman yuvaları yanma odası ile krank yatağını birbirinden ayıran bir conta görevi üstlenmektedir. Piston segmanlarının önemli görevlerinden birisi pistonun aşağı yukarı hareketi sırasında sıçrattığı fazla yağların yanma odasına geçmesinin engellenmesidir (Andersson ve diğerleri, 2002).

Segmanlar farklı görevler ve kabiliyetler için değişik kesitlere sahip olabilirler. Bu kesitler konik yüzey profili, pahlı segman kesitleri ve kama şekilli segman kesitleri olabilir. Dikdörtgensel düz kesit segmanlar sızdırmazlık açısından tatmin eder seviyelerdedir. Pahlı segmanlar motorun çalışmasıyla segman yuvası içinde burkulabilir. Konik şeklindeki segmanların yararı ise motorun rodaj yani alıştırma süresini kısaltmaktadır.

2.2.2. Piston segman malzemeleri ve kullanılan kaplama maddeleri

Bir içten yanmalı (İYM) motordaki sürtünme kaybı tüm enerji kayıplarının % 4-15'i arasındadır. Isı kaybı şeklinde büyük miktarda yakıt enerjisi israf edilir. Tribolojik bakış

açısından bakılırsa, segman astar ara yüzü, piston düzeneği, valf dizisi ve rulmanlar gibi motor bileşenlerinde sürtünmeyi azaltabilen yağlama mekanizmaları ve kaplamaları geliştirmek için bir gereksinim vardır (Mufti ve Priest, 2009). Bu bileşenlerin ayrıca daha yüksek motor yüklerinde, hızlarda ve sıcaklıklarda dayanıklı olması beklenir. Genel olarak, bu bileşenlerde % 15 yakıt enerjisi sürtünme ile kaybedilir. Piston segmanı montajı genel sürtünme kayıplarına en çok sebep olan parçalardan biridir (Andersson, 1991; Ruddy, Economou ve Dowson, 1982).

Piston segmanlarının aşınması, temel olarak, yağlama yağındaki az miktarda katı parçacık nedeniyle üç gövdeli aşındırıcı aşınma ile daha da artırılan aşındırıcı aşınma mekanizmasından kaynaklanır (Visscher, Dowson ve Taylor, 1998).

Kaplanmış piston segmanı yüzeylerinin aşınmaya karşı sertlik özelliklerinin kaplama sayesinde yükseldiği görülmüştür (Kumar, Sinha ve Agarwal, 2019).

Kaplamalar günümüzde birçok sektörde farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Kaplamalar kimi yerde korozyona karşı koruma beklentisi ile yapılırken başka bir uygulamada ise sıcaklığa veya sürtünmeye karşı koruma için karşımıza çıkmaktadır.

Aşınma ve yanma izlerine karşı direncin artırılması için CKS:Cr-Aluminyum oksit, GDC: Cr-Elmas ve plazma kaplama önde gelen seçeneklerdir. Dökme demirin yapısının yağ tutabilir ve grafitin kendiliğinden yağlayıcı özellikte oluşları, segman yapımında niçin dökme demir kullanıldığının yanıtıdır. Günümüzde sadece en üst segman değil, aynı zamanda iki veya daha fazla gaz segmanının kromla kaplanması eğilimi vardır.

Silindir gömleği yüzeylerinde çalıştırılacak segmanlar, pistonlarda olduğu gibi fosfatla da kaplanmaktadır. Kaba yüzeylerde çalışmak üzere işlem görmüş segmanlar, herhangi bir silindir layneri ile iyi bir uyum sağlayabilir. Bu laynerler kromla kaplı veya ısı sertleştirilmiş türden olabilir. Oysa kromla kaplı segmanlar, kesin olarak aynı işlemi görmüş silindir gömlekleri ile kullanılmamalıdır.

Piston segmanlarının bir diğer önemli görevi pistonun sıcaklığını yönetmektir. Yanma olayı sırasında pistonun absorbe ettiği ısının ana bölümü piston segmanları tarafından silindire tahliye edilir. Isının tahliye edilmesinde özellikle kompresyon segmanları belirleyici rol oynar. Piston segmanları sayesinde meydana gelen bu ısı tahliyesi ile pistonların çok kısa süre içerisinde silindir içi sıkışma yaşamaları veya pistonun hızlıca erimesi gibi sorunların meydana gelmesi engellenmiş olur.

	Sürtünme	Rodaj	Çalışma ömrü
Yüksek segman gerginliği	●	●	●
Düşük segman gerginliği	●	○	●
Aşınmaya dayanıklı malzeme		●	●
Daha yumuşak malzeme		●	●
Düşük segman yüksekliği	●	○	●
Yüksek segman yüksekliği	●	●	●

● avantajlı - pozitif ○ orta-nötr ● dezavantajlı - negatif

Şekil 2.3. Segmanın farklı gerginlik, malzeme özelliği ve yüksekliğinde sürtünme, rodaj ve çalışma ömrü durumu.

Şekil 2.3.'ten de görüldüğü gibi segmanın farklı koşullar altında davranışı değişiklikler göstermektedir. Günümüzde en çok aranan malzeme özelliklerinden birisi olan uzun ömür, içten yanmalı motorlarda sürtünme ile ve rodaj süresi ile ters orantılıdır.

Piyasa koşullarında en çok kullanılan segman kaplama türlerinden bazıları aşağıda verilmiştir. Bu malzemeler seçilirken sürtünme katsayısı düşük, yüksek sıcaklığa dayanıklı ve aşınma dirençlerinin düşük olması esas alınmıştır.

Molibden kaplamalar:

Yanık izlerinden kaçınılması için kompresyon segmanlarının çalışma yüzeyi (yağ sıyırma segmanlarında değil) molibden ile doldurulabilir veya tüm yüzeyi kaplanabilir. Kaplama işlemi, hem alev ile püskürtme hem de plazma ile püskürtme yöntemi ile gerçekleştirilebilir. Molibden, yüksek erime noktası sayesinde (2620°C) sıcaklığa karşı çok yüksek direnç sağlar. Ayrıca, kaplama metodu sayesinde gözenekli bir malzeme yapısı elde edilir.

Molibden özellikleri:

- Sıcağa karşı yüksek direnç.
- İyi acil durum özellikleri.
- Kromdan daha yumuşak.
- Krom segmanlara kıyasla aşınmaya karşı daha az dirençli (kirlere karşı daha hassas).
- Segman titreşmesine karşı daha hassas (dolayısıyla örneğin vuruntulu yanma ve diğer yanma bozuklukları gibi aşırı zorlanma durumunda molibden atması meydana gelebilir).

Galvanik krom kaplamalar:

Krom kaplamaların çoğu, galvanik tekniklerle gerçekleştirilir.

Galvanik krom kaplama özellikleri:

- Yüksek çalışma ömrü (aşınmaya karşı direnç).
- Sert, dayanıklı yüzey.
- Daha az silindir aşınması (kaplamasız piston segmanlarına kıyasla yakl. %50).
- Yanık izlerine karşı iyi direnç.
- Molibden kaplamalara göre acil durum özellikleri daha düşüktür.
- Aşınmaya karşı iyi direnç nedeniyle, rodaj süreleri takviyesiz piston segmanlarına, çelik lamelli yağ sıyırma segmanlarına veya U-Flex yağ sıyırma segmanlarına göre daha uzundur.

CK kaplamalar (Krom-Seramik) ve DC kaplamalar (Diamond Coated - Elmas Kaplı):

Bu kaplamalar, sabit bağlantılı katı maddelerin depolandığı bir çatlak ağına sahip, galvanik bir şekilde uygulanan bir krom tabakasından meydana gelir. Depolama maddesi olarak seramik (CK) veya mikro elmaslar (DC) kullanılır.

CK kaplama ve DC kaplamaların özellikleri:

- Son derece pürüzsüz olan yüzey sayesinde düşük sürtünme kayıpları.
- Depolanan katı maddeler sayesinde en yüksek aşınma direnci ve uzun çalışma ömrü.
- Yanık izlerine karşı iyi direnç.

- Piston segmanında düşük öz tabaka aşınması ve bu esnada aynı şekilde düşük kalan silindir aşınması.

Bu sayede CKS(krom seramik) kaplama ile sadece tercih edildiği araçların motor ömür artışıyla sınırlı kalmayıp, dizayn yeteneğini de geliştirerek, yeni jenerasyon dizel motorların düşük emisyon egzoz gazı oluşturmalarını sağlamışlardır.

Piston segman yüzeyleri, krom kaplamaya ek olarak, termal olarak (plazma) püskürtülür tek bir kaplama veya bir inlay kaplama malzemesi olarak molibden, metal kompozit, metal-seramik kompozit veya seramik kompozitlerle kaplanabilmekte ve istenilen değerlere yaklaşılmaktadır (Dufrane, 1989).

PVD veya CVD tarafından üretilen ince, sert kaplamalar; titanyum nitrür (TiN), krom nitrür (CrN); Ancak bu tip kaplamalar şu anda rekabet motorları açısından küçük seri üretim için özel olarak kullanılmaktadır (Broszeit, Berg, Friedrich ve Cremer, 1999).

Çok katmanlı Ti-TiN kaplamalar, dökme demir piston segmanlarına deneysel olarak yerleştirilmiş ve kaplama, özellikle tabaka sayısı yüksek olduğunda, krom kaplanmış veya fosfatlı bir yüzeye kıyasla aşınmaya karşı daha dirençli olduğu görülmüştür (Zhuo, Peijun, Leheng, Xinfu, Aimin ve Wenquan, 2000).

Genel manada malzeme tayininde amaç, doğaya karşı olumsuz etkileri minimize etmenin yanında sürtünme ve aşınmanın etkilerinin azaltılmasıdır. Bu misyon, İYM'lerin farklı çalışma aralıkları (hız, yük, sıcaklık) olduğundan zordur.

Tungsten disülfid düşük derecede sürtünme katsayısı içeren bir maddedir. Yüksek yük şartlarında sürtünme değerleri düşük özellik göstermektedir. Sürtünme katsayısı 0,01 ve 0,2 aralığında bir değer alır. Aşırı sıcaklık ve basınç durumlarında yağlama kabiliyetini yitirmez. Kaplandığı kısımlarda -270 °C/+650 °C ve 20 bar basınç şartında vazifesini yapar. Yoğunluğu 7,5 g/cm³'tür. Yağlayıcı yağların ve greslerin içerisine tatbik edilerek yağ maddesinin yüksek sıcaklık ve basınç şartlarında çalışma kabiliyetlerini geliştirir. Bir başka kullanım şekli ise malzeme yüzeylerine kaplanarak kullanımıdır. Otomotiv

sektöründe ve uçak komponentlerinde, yuvarlanmalı ve kaymalı yataklarda, kalıp parçalarının olduğu yerlerde, kesici takımlarda vb. sürtünme özelliğinin azaltılması ve parçaların ısı ve basınç mukavemetini artırmak maksadıyla kaplama maddesi olarak kullanılmaktadır.

Deneysel çalışmada kullandığımız kaplamaların özellikleri ise şunlardır:

Mangan fosfat kaplama: genellikle silah ve otomotiv sektöründe yağlı ortamda çalışan parçaların kaplaması işleminde kullanılır. Fosfat kaplama rengi siyahtır. Mangan fosfat kaplaması yüksek sıcaklıkta icra edilir ve öncesinde mangan aktivasyonu ile birlikte kullanılır. Mangan fosfat kaplanan parçalar daha sonra koruyucu yağ banyosuna sokulur. Koruyucu yağ hem metal parçaların korozyona karşı korunmasını sağlar hem de yağı uzun süre bünyesinde tutmasını sağlar.

Akımsız nikel kaplama: İş parçalarını korozyona karşı korumak, aşınmalarını önlemek, yüzey sürtünme katsayılarını azaltma ve aşınma dirençlerini arttırmak amacıyla uygulanan bir yüzey kaplama işlemidir. Dışarıdan bir güç kaynağı (elektrik akımı) olmadan yapılan bir kaplama işlemidir. Akımsız nikel çözeltisinde, nikel iyonları, indirgeyici kimyasallar ve çözelti pH'ının kararlılığı için katkı kimyasalları bulunur. Kullanım amacına göre, farklı fosfor seviyelerinde akımsız-nikel çözeltileri kullanılır. Bu kaplama işlemi, kaplanacak yüzeylerin uygun şartlara getirilmesinden sonra uygulanır. Kaplanacak parçaların yüzey şekilleri farketmeksizin, akımsız nikel kaplanmış parçanın her noktasında kaplama kalınlığı eşittir. Bu özellik, akımsız nikel kaplamanın en önemli üstünlüklerinden biridir (Woydt ve Ebrecht, 2008).

Paladyum kaplama: Paladyum beyaz renkli bir metaldir. Doğal ortam şartlarında kararmayan yumuşak bir malzemedir. Kaplamada kullanıldığında nikel kaplama kadar bir sertlik ve kalınlık elde edilir. Paladyum genellikle asit tipi banyolarda, özel durumlar için ise alaşım formunda alkali çözeltilerde kaplanır.

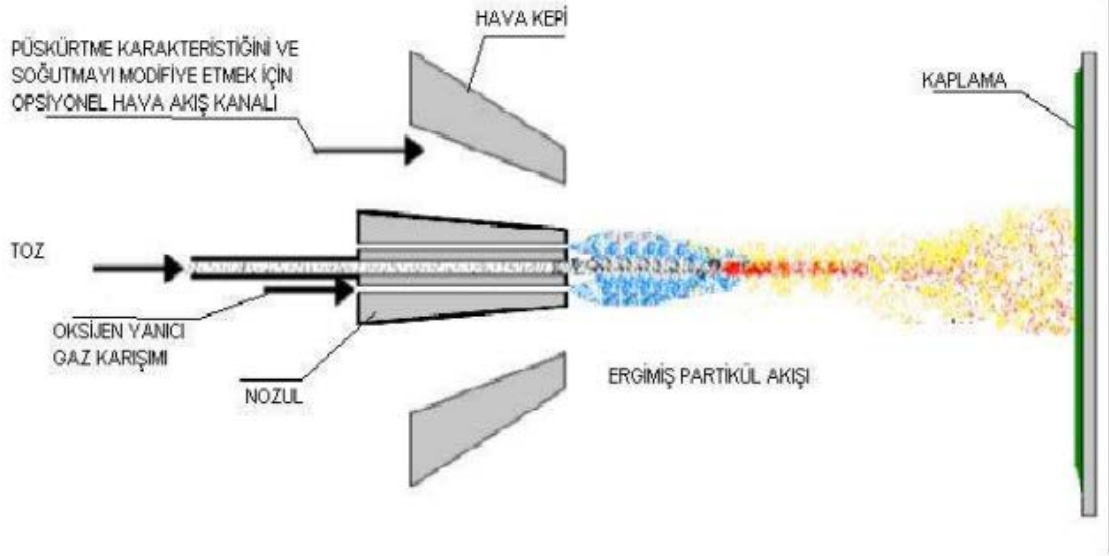
2.3. Kaplama yöntemleri

Kaplama daha iyi bir görüntü kazandırmak için veya maddeyi dış etkilere karşı koruma için yapılan işleme denir. Kaplamalar ile malzemenin çalıştığı bölge ve sistem şartlarında iyileşme artar, kullanıldığı makine elemanlarının ömür süresinde artış ve çalışma tolerans aralığı artmaktadır. İçten yanmalı motorlarda basınç, sıcaklık, sürtünme gibi durumlara karşı da çeşitli kaplamalar kullanılmakta ve istenilen çalışma koşullarına göre de uygun kaplama yöntemi seçilip uygulanmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır:

2.3.1. Termal sprey kaplamalar

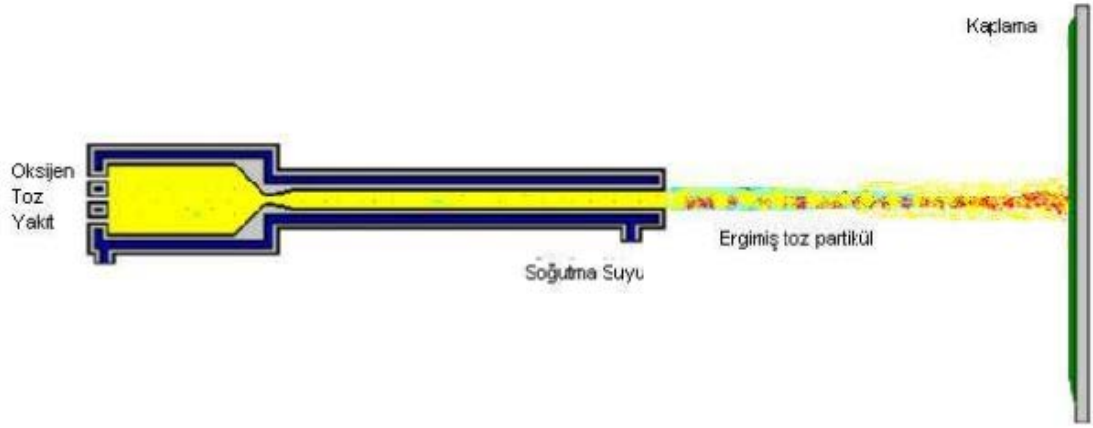
Termal sprey prosesleri genel olarak aynı çalışma prensibine dayanan ve ısıtılan toz veya diğer maddelerin hızlandırılarak kaplanacak yüzeye çarptırılması ile yapılan kaplama türüdür. Yüksek hızla ve ısıyla yüzeye çarpan materyal yapısı bozulur ve yüzeye ısının da etkisiyle yapışır. Bu şekilde parçacıkların üst üste binmesi ile kaplama meydana gelir ve parçacıklar yüzeye metalik ya da mekanik olarak bağlanmış olur.

Alevle toz püskürtme yönteminde toz alaşımlar vakumla oksijen-asetilen alevinin iç yüzeyinden kaplama yapılacak yüzeye püskürtülerek proses oluşturulur. Kaplama işlemi sırasında parça sıcaklığı 200°C'nin altında kalması sebebiyle soğuk sistem olarak isimlendirilir. Alev sıcaklığı 3300°C civarı, yapışma direnç basıncı 40-70 bar ve yüzey pürüzlülüğü % 10 ile % 20 arasındadır. Yapışma mekaniktir. Kaplama kalınlığı ise 0,05-2,5 mm arasındadır. Şekil 2.4.'te alevle toz püskürtme prensip şekli gösterilmiştir.



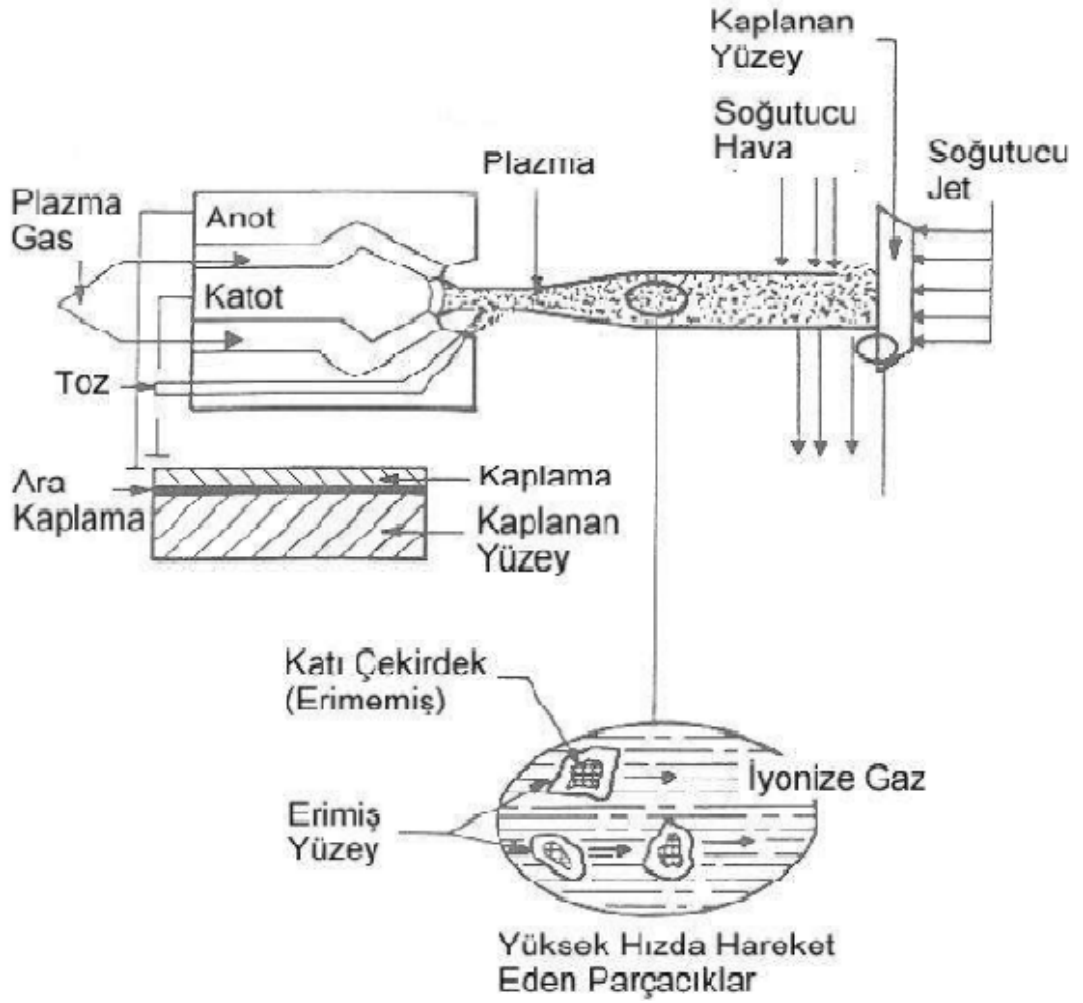
Şekil 2.4. Alevle toz püskürtme.

Yüksek hızda oksijen-yakıt püskürtme yönteminde; HVOF tabancasının yanma odasında yakıt (propilen, propan ve hidrojen), gaz halde oksijen ile sürekli yanmaktadır. Yanıcı gaz basıncı 4 ile 6 bar arası değerler arasındadır, böylece basınç farkından dolayı püskürtülme hızı da farklı olabileceğinden kontrol altında daha sık dokulu ve sert kaplama yapılabilir. HVOF kaplama yöntemiyle gaz hızı 2100 m/s hızı aşarken, partikülü 400-800 m/s hıza ulaştırır. Alevin sıcaklık değeri 2500-3000 °C civarındadır. Bu değer diğer alev sprey yöntemlerinden kat kat üstündür. Gaz yakıtların yanında kerosen gibi sıvı yakıtlarda kullanılabilir. Havacılık, uzay, petrol, kağıt gibi sektörlerde sürtünme ve aşınmaya karşı dayanım esaslı sebebiyle sert krom kaplama HVOF ile yapılır ve PVD, CVD gibi yöntemlere alternatif kabul edilir. Şekil 2.5.'te HVOF yönteminin uygulama şekli görülmektedir.



Şekil 2.5. Yüksek hızda oksijen-yakıt püskürtme yöntemi: HVOF.

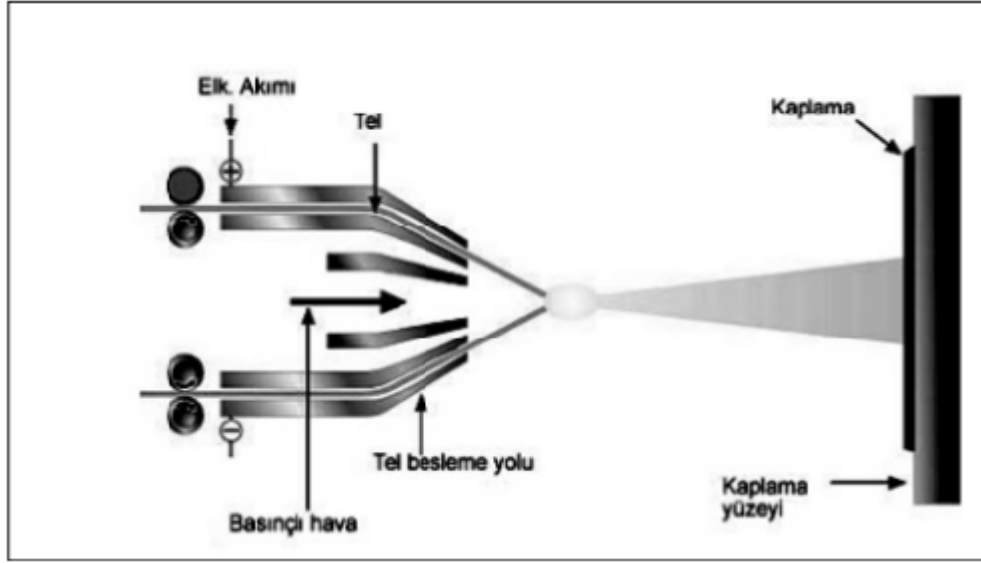
Plazma sprej yöntemi metallerin korozyon, sıcaklık ve aşınma gibi faktörlere karşı direnç özelliklerinin artırılması seramik kaplamalar ile mümkün hale gelmiştir. Ayrıca bu yöntemle tokluk ve şekil değiştirilebilirlik özelliği korunmaktadır. Plazma sprej kaplama yüksek erime derecesine sahip kaplamalar için tatbik edilir. Bu teknikte anot ile katot arasında ark yaratılır ve soy gaz ark içinden geçirilerek 6000 °C’de plazma oluşturulur. Plazmanın tabancadan çıkışı esnasında bir taşıyıcı gaz aracılığı ile metal tozlar plazma içine püskürtülür. Plazma metal tozları eriterek kaplamayı yüzeyde oluşturur. Şekil 2.6.’da plazma sprej kaplama yöntemi devre elemanları ile gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Plazma sprej kaplama yöntemi.

Elektrik arkı ile tel eritme; termal sprej kaplama yönteminin bu kısmında kaplama malzemesi olarak tel malzeme kullanılır. İki elektrik akımı yüklü tel arasında meydana gelen elektrik arkı ile 4000°C bir ısı elde edilir. Bu şekilde tel malzemeler erir. Eriyen bu malzeme, basınçlı hava veya soy gaz ile atomize edilerek ve iyonlaştırılarak kaplama yapılacak yüzeye püskürtülür (Mert, 2007).

Ark sprej, çinko, alüminyum ve alaşımlarının korozif aşınmadan korunması için kullanılan en ekonomik kaplama yöntemlerinden biridir. Şekil 2.7.'de elektrik ark ile tel eritme metodunun görseli verilmiştir. Kaplama kalitesi ve özelliği, atomizasyon basınç değerine, tel besleme miktarına, kaplama uzaklığı ve nozul şekline bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 2.7. Elektrik arkı ile tel eritme metodu.

2.3.2. Vakum metoduyla yapılan kaplamalar

Bu yöntem PVD ve CVD tekniklerini içerir. PVD(Fiziksel Buhar Biriktirme) ve CVD(Kimyasal Buhar Biriktirme) vakum tabanlı kaplama tekniğinde, katı madde tabakaları (CrN – Krom(III)-nitür) doğrudan piston segmanı çalışma yüzeyinde buharlaştırılır veya sıçratılarak atomun yüzeyden kopartılmaya geçmesi ve kaplanacak olan taban malzeme yüzeyinde atomsal veya iyonik olarak biriktirilmesi ile yapılır.

Özellikler:

- Pürüzsüz olan yüzey sebebiyle sürtünme kayıpları en aza indirilir.
- Yüksek sertliğe sahip, çok ince ve sıkı bir tabaka yapısı sayesinde aşınmaya karşı yüksek dayanıklılık sağlar.
- Yüksek aşınma direnci sayesinde segman konturu, daha uzun süre zarfında korunur.

Böylece misal PVD kaplamalı bir yağ sıyırma segmanında, segman gerginliği daha da çok azaltılarak kayda değer sürtünme gücü avantajları elde edilir.

2.3.3. Elektrokimyasal kaplamalar

Bu kaplama, metalik veya metalik olmayan bir malzeme yüzeyine elektro-kimyasal metotlarla metalik film oluşturulmasına denir. Bu kaplamayı yaparken sistem devresinde bir anot, bir elektrolit ve bir de elektriksi güç kaynağı temel elemanlarından oluşmaktadır. Kaplama prensibinde, metal iyonlar anottan belirli bir akım ile elektrolit içinden geçerek kaplama yüzeyine ulaşırlar. Elektromekanik kaplamada parçalar katot gibi varsayılır, hidrojen gaz formu içinde yer alır. Bu yöntemle daha çok içten yanmalı motorlarda sert krom kaplama yapma gibi amaçlarla kullanılır. Ancak sert krom kaplama yapıldığı gibi kullanılamaz; taşlama, parlatma ve bileme gibi kaba alma yöntemleri uygulanır.

Kullanıldığı yerler:

- Korozyondan korunmada krom, nikel bakır ile kaplama
- Görünüm açısından bakır, nikel ve krom kaplama yapılır
- İyi elektrik iletkenliği, dekoratif özellik için gümüş kaplamada
- Atmosferik ortamda yüksek ve düşük sıcaklıkta oksitlenmeyi ve asidik, bazik,tuz ortamlarında yüksek sıcaklıktan etkilenmeden korunma için altınla kaplanmada kullanılır.

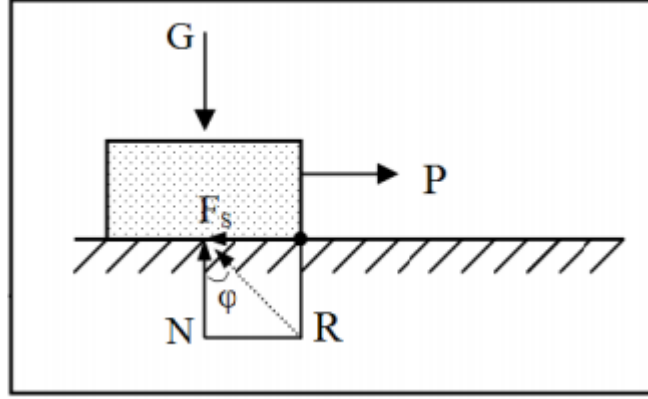
2.4. Sürtünme ve aşınma mekanizmaları

2.4.1. Sürtünme Mekanizmaları

Temasta bulunan iki nesnenin arasında meydana gelen ve harekete karşı koyan kuvvet şeklinde tanımlanmaktadır. Nesnelerin birbirine göre ters veya birinin diğerine göre ters yönde harekete zorlanması sonucu oluşur. Aynı zamanda sürtünme bir yüzeye karşı iş yapılmasını sağlayan bir kuvvettir.

Sürtünme, birbiri üzerinde kayan, yuvarlanan ya da kaymalı yuvarlanan parçaların izafi hareketlerini engelleyen ya da yavaşlatmaya zorlayan mekanik direnç olarak bilinmektedir. Sürtünmenin olumsuz olarak anılmasının yanında bazı durumlarda arzu

edilen bir özelliktir. Araçlardaki kavrama buna örnek gösterilebilir (Okay, Sert, Habalı ve Gül, 2006).



Şekil 2.8. Sürtünme kuvveti (Bayvas, 1978).

Şekil 2.8.'de görüldüğü gibi G ağırlığındaki bir parçanın kuru bir düzlemde olduğunu varsayalım. Yüzeyin cisme tepki kuvveti N ile karşı koyup cismi dengeleyecektir. Cisme yatayda P kuvveti uygulanırsa, N ve G kuvvetlerindeki denge değişmezken P kuvveti sistemin kuvvet dengesini bozacaktır. Cismin hareketi P kuvvetinin sürtünme kuvvetini yenmeye başladığı belirli bir değerden sonra başlayacaktır. Buna sebep olan şey birbirine temas halinde olan iki yüzeyin arasında oluşan F sürtünme kuvvetidir. P çekme kuvveti F sürtünme kuvvetini yenmesi durumunda cisim hareket alır. Yapılan deneylerle görülmüş ki, aşağıda verilen (Denklem 2.1) eşitliği sağlanmaktadır.

$$\text{Sürtünme katsayısı} = \frac{F}{G} = \frac{P}{G} = \mu \quad (2.1)$$

Birbirlerine temas eden hareketli yüzeyler arasında kayma, yuvarlanma veya hem kayma hem de yuvarlanma aynı anda mevcut olabilir. Böylece sürtünme kinematik bakımdan bu üç şekilde olabilir.

Kuru ve temiz yüzeyler arası sürtünme ilk defa Coulomb tarafından incelenmiş ve 18. Y.y.da kanunlarını yazmıştır. Bunlar:

- İki kuru yüzey arasındaki maksimum sürtünme kuvveti bu yüzeylere dik olarak etki eden N kuvveti ile orantılıdır.

- Statik sürtünme kuvveti farklı yüzeylerin birbirine sürtündükleri alan büyüklüğü ile orantılı değildir.
- Küçük hızlarda kinetik sürtünmede hıza bağılılık yoktur. Kinetik sürtünme kuvveti statik sürtünme kuvvetinden daha azdır.
- Sürtünme kuvveti aralarında sürtünme olan cisimlerin cinsi ve pürüzlülük derecesine bağlıdır (Bayvas, 1978).

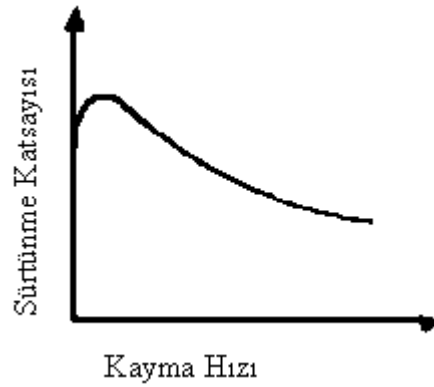
Bir cismi harekete geçirme için gereken kuvvet, hareketi devam ettirme için gereken kuvvetten daha büyüktür. (Denklem 2.2)'de ilgili formül verilmiştir.

$$\mu = \frac{F_s}{F_n} \quad (2.2)$$

μ : sürtünme katsayısı

F_s : Sürtünme kuvveti(N)

F_n : Normal kuvvet(N)



Şekil 2.9. Sürtünme katsayısı ile kayma hızı arasındaki ilişki.

Statik sürtünme katsayısı kinematik sürtünme katsayısından büyüktür. Kayma hızı büyüdükçe kinematik sürtünme katsayısı küçük bir oran da olsa azalmaktadır.

Şekil 2.9.'da da görüldüğü gibi sürtünme katsayısı değerinin en yüksek olduğu nokta hareket başlangıcındadır.

2.4.1.1. Sürtünme Çeşitleri

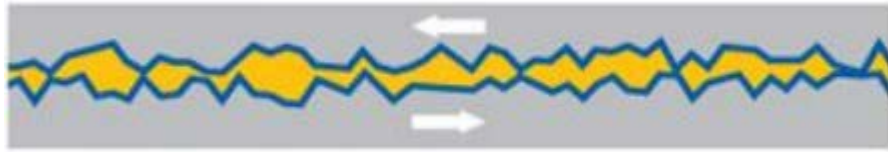
a. Kuru sürtünme: Birbirlerine doğru hareket eden yüzeylerin arasında herhangi bir yağlama maddesi olmadan yüzeylerinin doğrudan temasta olduğu sürtünme türüne denir. Kuru sürtünme etkileşim halindeki yüzeylerin düzgün olmasına ve parça ağırlığına bağlıdır. Kuru sürtünme, yüzeylerdeki mikron mertebesindeki girinti çıkıntıların birbirine takılması ile meydana gelmektedir. Kuru sürtünme ile motor çalıştırmak büyük bir ısı ortaya çıkaracak ve parça ömrünü çok kısıda tüketmesine sebep olacaktır. Şekil 2.10.'da kuru sürtünme görülmektedir.



Şekil 2.10. Kuru sürtünme (Staudt, 2000).

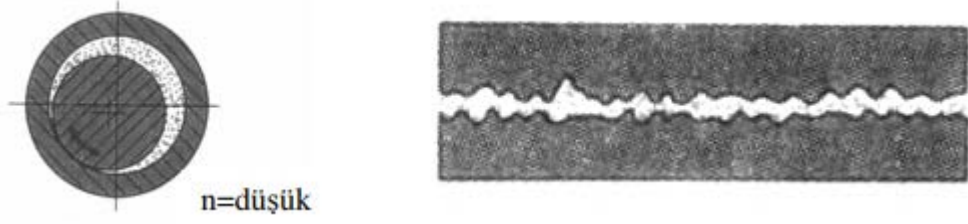
b. Sınır sürtünme: Birbirlerine doğru hareket eden yüzeyler arasında yağlamanın asgari seviyede tutulup, neredeyse birbirine değecek halde çalıştığı durumda meydana gelen sürtünmedir (Aydın, 2015).

Şekil 2.11.'de yüzeylerin sınır değerde çalıştığı görülmektedir.



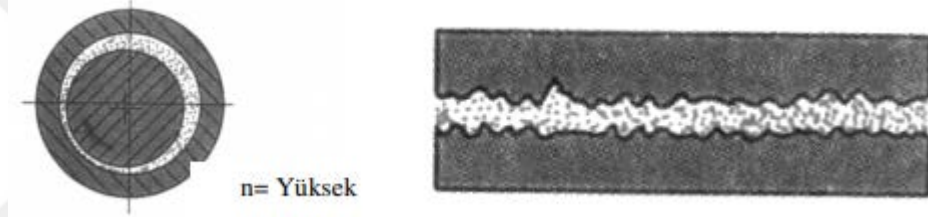
Şekil 2.11. Sınır sürtünme (Aydın, 2015).

c. Yarı sıvı sürtünme (Karışık sürtünme): Birbirlerine göre hareket eden yüzeyler arasında yağlamanın kısmen yapıldığı durumda ortaya çıkar. Bu durum genelde parçanın ilk hareket başlangıcında meydana gelir. Normal çalışma durumuna geçtiğinde hareket sıvı sürtünmeye dönüşür. Hareket başladığında sürtünme katsayısı yağlama düşüklüğünden azami değere ulaşır. Şekil 2.12'de yarı sıvı sürtünme görülmektedir (Staudt, 2000).



Şekil 2.12. Yarı sıvı sürtünme (Staudt, 2000).

d. Sıvı Sürtünme: Birbirlerine göre çalışan yüzeyler arası doğrudan bir sürtünme olmamakta ve yüzeyler her zaman ince bir yağ filmi ile kaplı durumdadır. Şekil 2.13.'teki şekilde yüzeylerin tüm pürüzleri yağlayıcı tarafından çevrilmiş olduğundan dolayı sürtünme yüzeyler yerine sıvı tabakalar arasında meydana gelir. Sıvı sürtünmede yüzey hareket direnci kuru sürtünmeye göre daha düşüktür.



Şekil 2.13. Sıvı sürtünme (Staudt, 2000).

2.4.1.2. İçten yanmalı motorlarda sürtünme

İçten yanmalı motorlarda sürtünmeler yağ filmi gerilimi ve metal metale temastan kaynaklanmaktadır. Bu kayıpların önlenmesi makine motor tasarımında yapılacak iyileştirmeler ile giderilebilir.

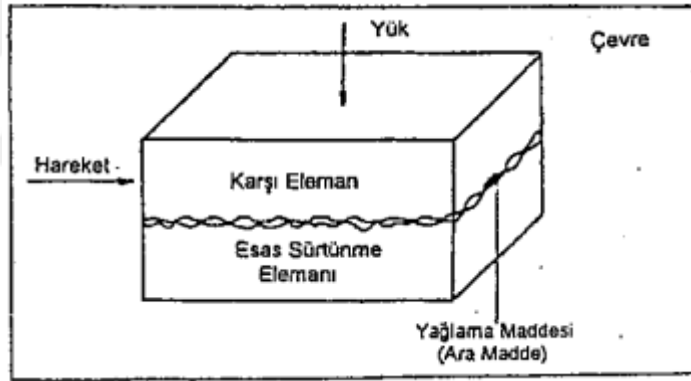
İYM' lerde sürtünme kayıpları üçe ayrılır. Bunlar aksesuar işi kayıpları, pompalama işi kayıpları ve mekanik sürtünme kayıpları olarak tanımlanabilir.

2.4.2. Aşınma Mekanizmaları

Aşınma, birbiriyle temas halinde olan ve birbirine göre izafi hareket yapan cisimlerden malzeme ve kütle kaybı meydana gelmesine denir.

Birbirleri ile karşılıklı çalışan ve temasta olan yüzeyler hareket halinde iken aşınma, giderek artan malzeme kaybına sebep olacak ve iki yüzeyde de hasar oluşacaktır. Aşınma, parçalar arası boşluğun artmasına, istenmeyen hareket serbestliğine, hassasiyet kayıplarına ve böylece daha hızlı aşınmaya ve sonunda yorulmuş malzemenin kırılmasına sebep olmaktadır (Hutchings, 1992).

Aşınma konusu ciddi şekilde ele alınmadığında toplamda büyük ekonomik kayba ve iş kaybına sebep olacaktır. Aşınma analizi için sebep olan tüm etkenlerin tamamını incelemek gerekir. Başka şekilde ifade edilecekse, aşınma bir sistem bütünlüğüdür. Aşınma, sertlik veya mukavemet gibi bir malzeme özelliği değildir. Bu sistem, tribolojik sistem bütünü olarak tanımlanır. Şekil 2.14.'te gösterilmiştir. Bir aşınma olayının cereyan etmesi için aşınma ikilisi denilen esas sürtünme elemanı ile karşı elemana, ara maddeye, yüke ve harekete gerek vardır.



Şekil 2.14. Bir tribolojik sistemin elemanları (Karamış, 1985).

Sistemin elemanlarından olan esas sürtünme elemanı, aşınması irdelenmek istenen elemandır. Esas sürtünme yüzeyine sahip eleman katı, kauçuk, plastik, mineral, deri, ahşap v.b olabilir. Karşı eleman yüzeyi ise aşındırıcı kısım olup katı, sıvı, metal, gaz halinde olabilir (Karamış, 1985 ; Anık, Dikicioğlu ve Vural, 1993).

Tüm katı yüzeyler, mikron mertebesinde incelendiğinde, pürüzlü yüzeylerin aynı oranda olmadığı görülür. Normal yük artırıldıkça cisim yüzeyleri birbirlerine yaklaşır ve pürüzlerin temas yüzeyi artar. Bu pürüzler, normal yük ile cisimler arası sürtünme kuvvetini karşılarlar (Hutchings, 1992).

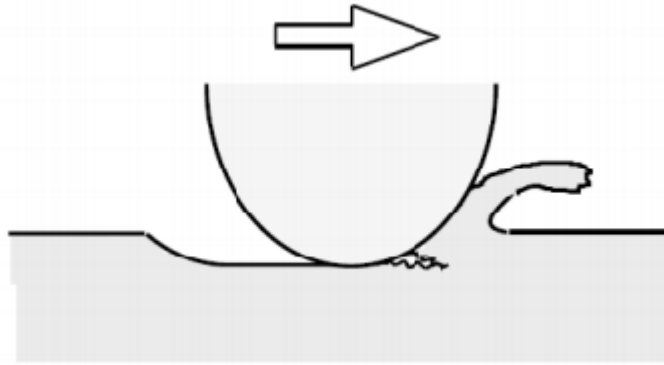
Uygulanan yük şiddeti malzeme özelliği ve yüzey geometrisine göre temas alanını genişletip aşınmayı arttırabilecek bir faktör olabilmektedir. Yükleme şiddeti çok veya az olabilir. Ayrıca yükleme sabit ya da değişken veyahut darbeli de olabilir (Sarı ve Kalunç, 1996).

2.4.2.1. Aşınma Çeşitleri

-Abrazif Aşınma: Aşınma, malzeme yüzeyinden mekanik etkenler sonucunda küçük parçacıkların ayrılması neticesinde istenmeyen şekilde oluşan değişiklik olarak tanımlanır.

Bir yüzey üzerinde ve yüzeye açılı bir kuvvet tesirinde abrazif taneciğinin hareketidir. Bu kuvvetin dik açıyla yaptığı bileşeni sert taneciğe etkileyerek yüzeyin zorlanmasına sebep olur. Yüzeye paralel olarak etkiyen kuvvet bileşeni ise tanecik ve yüzey arasında teğetsel ivmelenmeye neden olur (Sarı ve Kalunç, 1996).

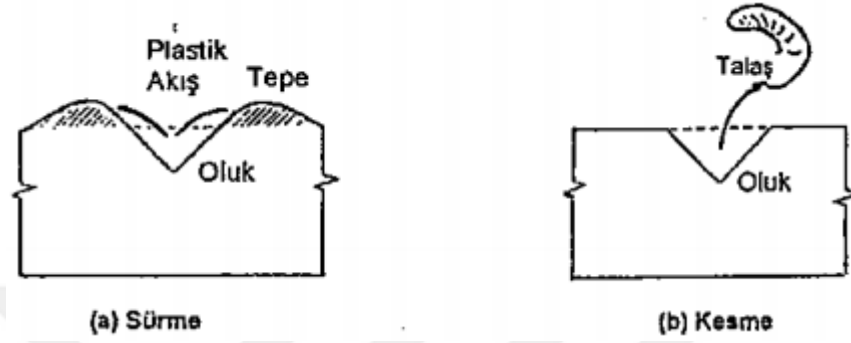
Karşılıklı hareket eden iki yüzeyin herhangi birisinden kopacak iç kaynaklı bir malzeme ya da dıştan sisteme giren toz v.b. gibi bir malzeme abrazif aşınmayı en çok etkileyen, üçüncü bir malzeme olabilir (Er, 2003; Bhushan, 2001; Chattopadhyay, 2001). Şekil 2.15.'te abrazif aşınma şekli gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Abrazif aşınma (Bhushan, 2001).

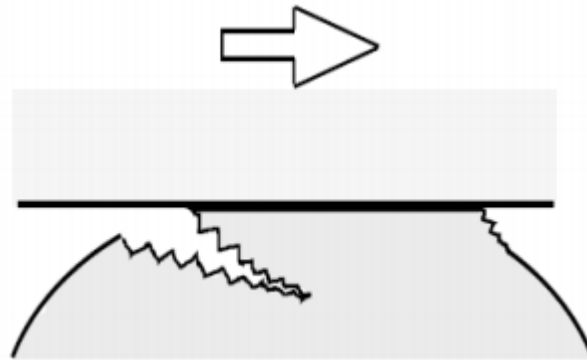
Pürüzsüz kenarlı veya yuvarlak yüzeyli tanecik yapılı malzemeler sünek bir yüzeyi sürmeye meyillidir. Sürme esnasında yüzey malzemesi oluk(iz) meydana getirmek için tanecik hareketiyle aynı yönde itilmektedir. Yüzeyden kalkan malzemelerin çoğu,

yüzeyden atılmak yerine oluk kenarları boyunca birikmektedir. Yani plastik şekil değişimi oluşmaktadır. Malzeme gevrek durumda olduğunda ise oluk, çatlak ilerlemeye devam etmesi ve daha sonra yüzey malzeme yontulması ile meydana gelmektedir. Şekil 2.16.'da oluşan şekiller görülmektedir (Murray, Mutton ve Watson, 1982).



Şekil 2.16. Oluk oluşumu mekanizmaları (Murray, Mutton ve Watson, 1982).

- Adezif Aşınma: Adhezyon olarak da ifade edilebilen bu aşınma sıkça şiddetli aşınma olarak tanımlanır. Adezif aşınma, moleküler kuvvetler tesiriyle etki yüzeylerinde lokal kaynak bağlarının kırılması sebebiyle oluşan malzemedeki kayıptır. Karşılıklı çalışma durumunda olan metal yüzeyler ne kadar hassas işlenmiş olsalar da yüzeylerin moleküler düzgünlüğü yoktur. Yüzey tepelerindeki pürüzler temas eder etmez moleküler adhezyon ile kaynama oluşur. Malzeme ağırlığı veya herhangi bir kuvvet etkisi ile bu pürüz kısımlarına kuvvet uygulayacak ve pürüzler plastik deformasyon geçireceklerdir. Şekil 2.17.'de adezif aşınma oluşum görseli verilmiştir (Er, 2003; Bhushan, 2001; Chattopadhyay, 2001).

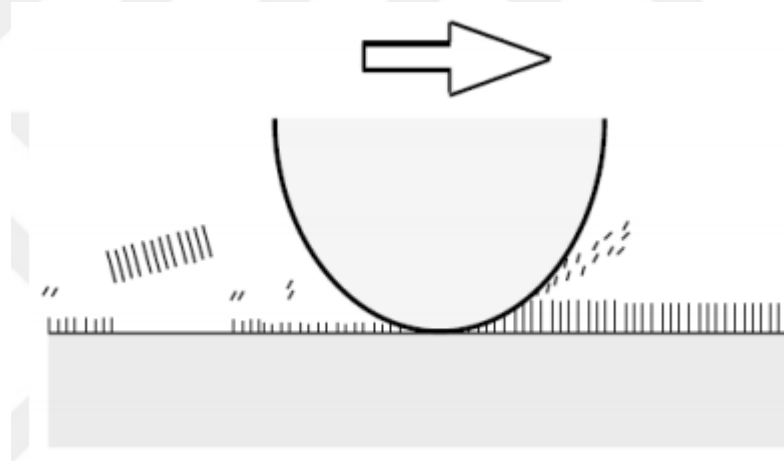


Şekil 2.17. Adezif aşınma (Bhushan, 2001).

Adezif aşınmada temas haldeki yüzeyler bir başlangıç sürecinden sonra oluşan aşınma maddeleri sebebiyle birbirleriyle temas edemeyecek duruma gelir ve adhezyon aşınması türü değişerek, o zamandan sonra oluşan yeni aşınma tipi abrazif aşınma olmaktadır (Ezirmik, 2008).

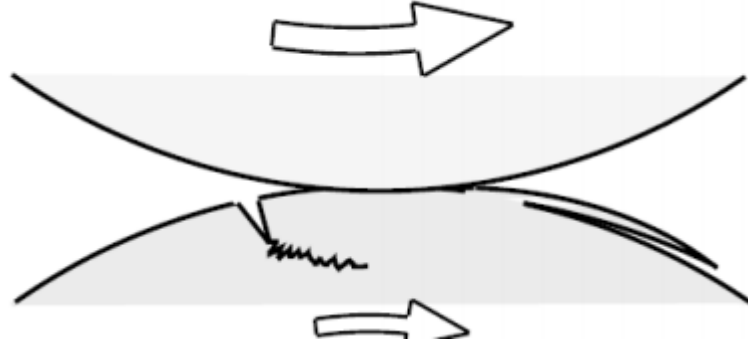
- Korozif aşınma: Aşınma partiküllerinin sıvı veya hava korozif kimyasallar ile etkileşimleri sonucu meydana gelen bir aşınma türüdür. Çoğunlukla metal oksidatif aşınmasını, yani paslanmayı temsil eder. Metallerin kararlı hallerinin bileşik haline dönme meyilleri yüksektir ve buldukları yerde ortam elemanları ile reaksiyona girerek başlangıçta iyonik hale geçer ve değişik elementler ile yan yana gelerek bileşik oluştururlar. Böylece kimyasal değişime geçip bozunurlar. Örneğin, demirin oksijenle tepkimesi ile pas oluşur (Er, 2003; Chattopadhyay, 2001).

Şekil 2.18.'de korozif aşınma görülmektedir.



Şekil 2.18. Korozif aşınma (Bhushan, 2001).

- Yorulma aşınması: Birbirine temas eden elemanlarda tekrarlı dönümler abrazif ya da adezif aşınma perspektifinden, aşınma parçacıklarının meydana gelmesine imkan vermemekte. Bu tiplerde temas halinde olan yüzeylerde değişik bir tür olarak yorulma aşınması görülür. Bu çeşit aşınmalar genelde dönme esnasında sürtünen malzemelerde meydana gelmektedir. Parça yüzeylerinde zamanla ezilmeden dolayı metal yorgunluğu ve sonrasında ise çatlak ve kırılmalar oluşur. Şekil 2.19.'da yorulma aşınması görülmektedir.



Şekil 2.19. Yorulma aşınması (Bhushan, 2001).

2.4.2.2 İçten yanmalı motorlarda aşınma

Motorlarda yağlama yağları; yağ filmi meydana getirerek yataklarda, silindir-segman elemanları arasında metal metale sürtmesini önlemeyi amaçlar. Sürtünmeler ve aşınmaların oranı azaltıldığında motorlarda güç kaybı ve malzeme zararları önlenebilir. Fakat aşınma ve sürtünme tamamen ortadan kaldırılamaz. Motorlarda oluşan aşınmaların %75'lik bir kısmının ilk çalışma zamanında, yani motor soğuk olduğu zaman meydana gelmektedir. İlk çalışma sırasında yağlama yağı daha motor karterinde olduğundan, yağın sisteme transferi sırasında geçen zaman, aşınmalarda en büyük sebeplerdendir.

İYM'lerde kullanılan dökme demirden yapılmış silindir gömleklerinin yapısal özellikleri, yüzeylerinin pürüzlü olup olmaması ve sertliğin olması gereken değerlerden düşük olması silindir gömleğinde aşınmaya sebebiyet vermektedir. Silindir içinde yanma sonrasında meydana gelen basınç ve etkidiği kuvvet sebebiyle segmanlar silindire doğru yaslanır. Bu sebeple çalışan motorda silindir ve segman arasında sürtünme oluşur ve bu da aşınmalara sebep olur. Ayrıca silindir ÜÖN'de yağlama diğer bölgelerden düşük seviyede gerçekleşir ve yanma sebebiyle yağlama yağı yandığından aşınma silindir içinde en çok orada görülür (Hazar, 2004).

Silindir gömleğinde en çok görünen aşınma türleri korozyon aşınma ve abrazyon aşınmadır. Korozyon aşınmaya neden olan iki kimyasal bileşen sülfürik asit(H_2SO_4) ve hidroklorik asittir (HCl). Sülfürik asit oluşum nedenleri; su sızıntısı, soğuk silindir yüzeyi, yağ film kusurları, temizlik katkı maddeleri ve su damlalarıdır. Hidroklorik asit oluşumuna sebep

olan faktörler; yakıta ve silindir yağlama yağına karışan deniz suyu, hava soğutucusu kaçakları, yağ film kusurları ve emme havası ile içeri alınan tuz olarak sıralanabilir.

2.4.2.3. Aşınma ölçüm yöntemleri

Aşınma miktarı malzemede meydana gelen hacimsel kayıptır. Yüzeysel temasta bulunan parçalardan istenilen parçanın sürtünmeye maruz kalmadan önceki değeri ve maruz kaldıktan sonrasının karşılaştırılması ile ölçülebilir. Bu ölçüm için genelde dört yöntem kullanılmaktadır. Bunlar:

a. Ağırlık farkı yoluyla ölçme: Bu yöntemle ölçümün tercih sebebi ekonomik olmasıdır. Ölçümde istenilen hassasiyet aralığına göre terazi seçimi yapılır. 1 mg, 0,1 mg, 0,01 mg, 0,001 mg ve 0,0001 mg tolerans değerinde ölçüm yapan teraziler kullanılabilir. Yapılacak deneye göre ve istenilen değerlere göre bir mesafe km veya m cinsinden belirlenir. Deneyden önce ve sonra numuneden birer tartım alınır ve aradaki fark hesaplanarak aradaki fark aşınma miktarı olarak belirlenmiş olur. Ölçüm sonucu çıkan aşınma miktarı, sürünme mesafesine göre birim yola karşılık gelen ağırlık azalması ile belirlenir (Cesur, 2008).

b. Kalınlık ölçme yöntemi: Sürtünmeye maruz kaldıktan sonra oluşan aşınmayla ortaya çıkan boyut değişiminin ölçümü, başlangıç değeriyle karşılaştırılması sonucunda neticelendirilir. Kalınlık olarak tespit edilen veri ile hacim hesabı yapılarak birim hacimdeki aşınma değeri hesaplanabilir. Kalınlık ölçümü 1 µm hassasiyetteki ölçüm aletleri ile yapılabilir (Ürün, 2008).

c. İz değişiminin ölçülmesi yöntemi: Sürtünmeye maruz bırakılacak yüzey üzerine, plastik deformasyon yapma suretiyle geometrisi belli olan bir iz yapılır. Deney sonunda bu izin çapı v.b. değişimi ölçülüp aşınma değeri tayini yapılır. Bu tip ölçümler için en çok Vickers veya Brinell sertlik ölçme yöntemleri kullanılır. Bu aletler vasıtasıyla bilye veya elmas piramit tarafından sürtünme yüzey alanına bırakılan izin çap değişimi mikroskop ile ölçerek aşınma hesaplanır (Ürün, 2008).

d. Radyoizotoplarla ölçme yöntemi: Bu yöntem ile aşınma ölçümü nötron, proton ya da atom parçacıklarının aşınmaya maruz bırakılmış yüzeylere bombardıman edilmesi ve radyoaktif hale gelmesi ile yapılabilmektedir. Bu yöntemle çok yüksek seviyelerde hassasiyet ile ölçüm yapılabilmesidir ancak ekonomik değildir. Özel problem çözümleri dışında sık tercih edilmez.



BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

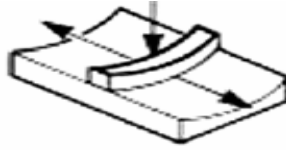
3.1. Materyal

Çalışmanın amacı İYM'lerde % 15'e varan mekanik kayıplardan, yaklaşık olarak yarısını oluşturan piston segmanı ile silindir gömleği arasındaki sürtünmenin azaltılması ve malzeme hasarının daha az boyuta indirgenmesi için sürtünme katsayısı düşük ve sert malzemelerle kaplanmış olan segmanların motor çalışma şartlarında sürtünme ve aşınma durumları araştırılmıştır. Bunun için içten yanmalı motorlar çalışma prensibi referans alınarak aşınma test cihazı uygun şartlara getirilip deneysel çalışmada kullanıma alınmıştır. Deneyler farklı devir, sıcaklık ve yük şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deney parametrelerinin aşınma ve sürtünmeye etkisinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Deney düzeneğinde segman ve silindir gömleği direnç-termistör kontrolüyle 30°C ve 80°C sıcaklıklara çıkarılıp, deneyler bu sıcaklık şartlarında yapılmıştır. Aşınma ve sürtünme etkilerinin tayini ve kaplama malzemelerinin mikro yapısının incelenmesi gerekliliği ile segman yüzeylerinin taranması için deneylerden sonra SEM(elektron mikroskobu) görüntüleri alınmıştır. EDX analizi de alınarak elementel içerikler saptanmaya çalışılmıştır. Ayrıca test cihazı çalışması sırasında sürtünme sensörü cihaza bağlanarak sürtünme grafiği bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Aşınma deneyleri ise her bir devir, sıcaklık ve yük varyasyonları için birbirinden farklı segman ve silindir gömleği numunesi ile yapılmıştır. Krom kaplı segmanlar normal şartlar altında kullanılan segmanlardan temin edilmiş iken, ham segmanlar da fabrika aracılığı ile alınıp deneylerde kullanılacak kaplamalar için anlaşılacak kaplamacı şirketlere verilerek uygun şekilde yaptırılmıştır.

3.2. Yöntem

Test cihazına bağlanacak olan silindir numunesi için silindir çapı çevresi 320 mm ve uzunluğu 210 mm olan silindir gömleği kullanılmıştır. Gömlek numunesi segmanın gömleğe genişlik olarak oturduğu yay hattı kadar kısım baz alınarak gömlek parçaları 105 mm uzunluk ve 30 mm genişlik olacak şekilde parçalar şeklinde kesilmiştir.

Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi segman ve gömlek arasındaki ilişki mevcuttur.



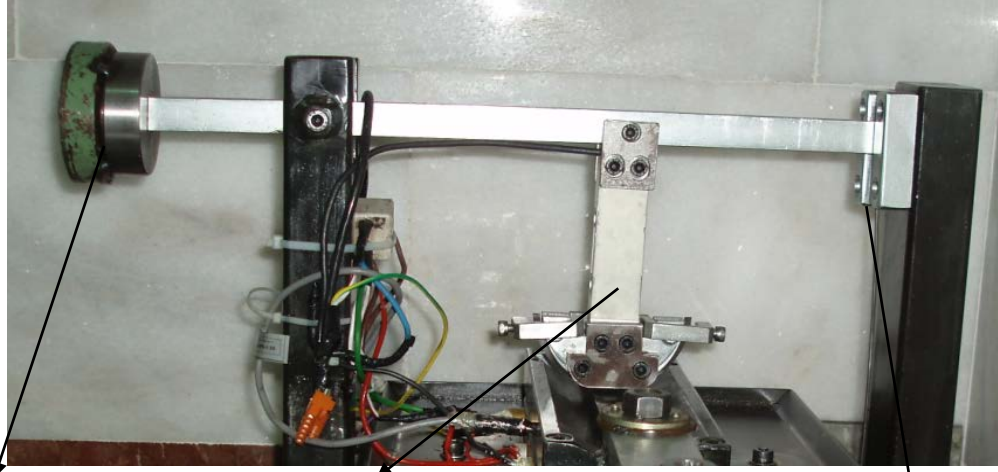
Şekil 3.1. Segman-gömlek numunelerinin şematik görünümü.

3.2.1. Kullanılan araç-gereçler

Çalışmada; aşınma deneyleri, gömlek ve segman numunesinin bağlanabildiği “karşılıklı tip aşınma” cihazında yapılmıştır. Kullanılan cihaz ASTM G-133 standardına uygundur. Ayrıca; Precisa marka 10^{-4} gram hassasiyetinde ölçüm yapan hassas terazi, tabla hareketini aşınma mekanizmasına aktarması için Motorsan marka 1,5 kW gücünde DC elektrik motoru, Enda marka termostat, DC motoru kumanda etmesi için de LG marka 2 faz giriş ve üç faz çıkışlı 1-60 Hz frekans aralığında çalışan bir sürücü kullanılmıştır.

3.2.2. Sürtünme Katsayısının Belirlenmesi

Birbirlerine göre izafi harekette bulunan ve normal kuvvet(F_n) etkisinde bulunan cisimler arasında hareketi engelleyici şekilde bir $F=\mu.F_n$ şeklinde bir sürtünme kuvveti meydana gelir. Burada μ sürtünme katsayısı olarak tanımlanır. Sürtünme kuvvet ve katsayısından önce normal yük dengesi kuvvetlerinin gösterilmesi gerekmektedir. Deneylerde 40, 60 ve 80 N normal yükler olarak kullanılmıştır. Segman elemanı üzerinde bahsedilen yüklerin sağlanması için asılacak yüklerin belirlenmesi gerekmektedir. Sürtünme katsayısını tayin etmek için sensör Şekil 3.2.'de gösterilen aşınma deney cihazında piston olarak tasarlanan kısım ile segman tutucu arasına yerleştirilir.



Kol dengeleme ağırlığı

Yük elemanı ve bağlama aparat ağırlığı, normal kuvvet

Normal yükler için asılacak ağırlıklar

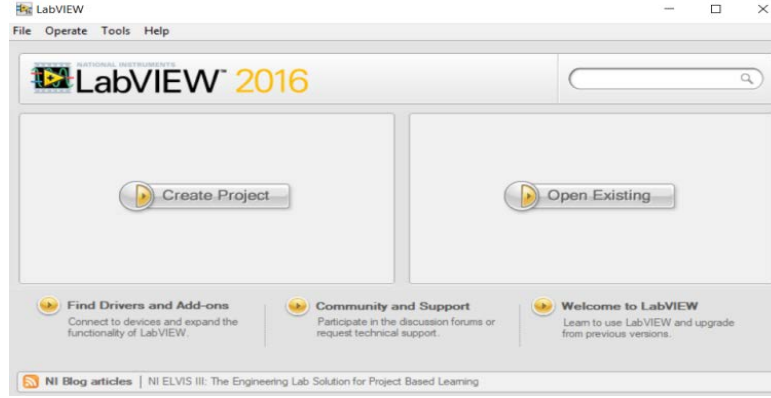
Şekil 3.2. Yük denge kolu.

Ardından segman ve gömlek normal deney pozisyonlarına takılır. Sonrasında Şekil 3.3.'te gösterilen güç kaynağı 5 ampere ayarlanır. Akımın amper doğruluk kontrolü avometre ile teyit edilir.



Şekil 3.3. Güç Kaynağı.

Bu kontroller sağlandıktan sonra verileri bilgisayar ortamına aktarmamızı sağlayan labview programı çalıştırılır. Sürtünme kuvvetinin belirlenmesi için yazmış olunan program Şekil 3.4.'te görseli verilen labview programı içinde çalıştırılmıştır. Daha sonra aşınma test cihazı çalıştırılıp veri alınması sağlanmış ve ardından labview programından aldığımız çıktıyı açmamızı sağlayan NIMAX ve Nitdm Excel programları ile sürtünme katsayısı bulunmuş olur.



Şekil 3.4. Labview programı.

3.3. Analizler

3.3.1. Aşınmanın Ölçülmesi

Yapılan deneylerde ölçüm yöntemlerinden olan ağırlık kaybıyla ölçme yöntemi ile ilk değer ve son değer arasındaki kütle farkı alınarak aşınma miktarları belirlenmiştir. Deneylerden önce numuneler etil alkolle temizlenerek kir, demir tozu v.b faktörlerin deney verilerini etkilemesi önlenmeye çalışılmıştır. Deneyler öncesinde 10^{-4} gram hassasiyetteki hassas terazi ile ilk değer ölçümleri yapılmıştır. Sonrasında her yük(3 farklı yük) değeri için 5 devir ve 2 farklı sıcaklığın tüm kombinasyonları krom, paladyum, nikel ve mangan fosfat kaplanmış segman için uygulanarak her test için 1000 m yol alınmıştır. Tamamlanan deneylerden sonra numuneler tekrar etanol ile temizlenmiştir. Ardından tekrar Şekil 3.5.’teki terazide son ağırlık ölçümü yapılmış ve ilk değer ile son değer arasındaki fark alınarak segman ve silindir gömleğindeki aşınma miktarı bulunmuştur. Ayrıca (Denklem 3.1)’de verilen formül ile aşınma yüzdesi bulunur.

$$\text{Aşınma yüzdesi} = \frac{\text{aşınma miktarı}}{\text{başlangıç ölçüm değeri}} \times 100 \quad (3.1)$$

Aşınma miktarı: numunenin ilk ölçüm ile son ölçüm arasındaki kütle farkıdır.

Başlangıç ölçüm değeri: numunenin ilk ölçümde tespit edilen başlangıç kütlesi.

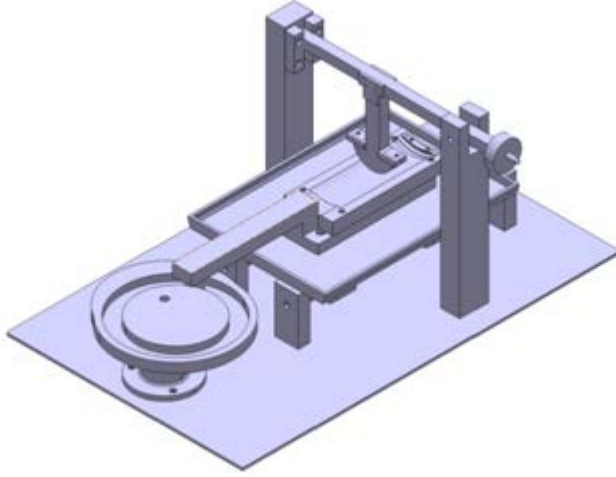


Şekil 3.5. Hassas terazi.

3.3.2. Tasarım ve İmalat

Bu çalışma ile farklı malzeme kaplamaları uygulanan segmanlar ile silindir gömleği arasındaki sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesi amacıyla bir aşınma test cihazı kullanılmıştır. Test cihazı içten yanmalı motorlardaki gömlek-segman gibi doğrusal şekilde hareket etmektedir. Fakat burada gömlek numunesi hareketli, segman sabit şekildedir.

Tablanın hareketini başlatmak için 1,5 kW gücünde bir DC motor kullanılmıştır. Motor deney sehпасının alt bölümünde bulunmaktadır ve motor çıkış milinin hareket iletmesi için yataklaması yapılmıştır. Ayrıca silindir-krank mekanizması eldesi için kam mekanizması motor hareketini aktarmaktadır.



Şekil 3.6. Aşınma test cihazı katı modellemesi.

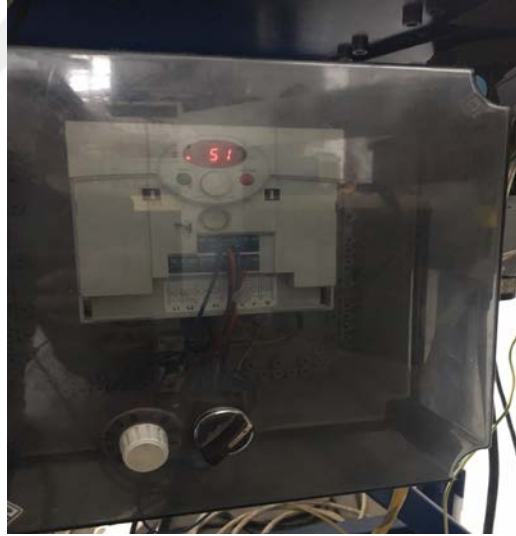
Şekil 3.6.'da modellemesi verilen test cihazı, hareketi elektrik motorundan alan krank koluna benzer bir elemanla gömlek malzemesinin bağlandığı bir tablayı tahrik etmektedir. Segman malzemesi ise tablanın üst noktasından, tabladan bağımsız şekliyle askı halde bulunmakta ve ayar vidaları ile gömlek numunesi üzerine uygun şekilde oturtularak deneye hazırlanmaktadır. Tablanın motor tarafından tahrik edilmesi ile gömlek parçasının ileri-geri git gel hareketi yapması sırasında segman elemanı ile sürtme etkileşimi meydana gelmektedir.

Deneylerde, iki farklı sıcaklık değerini sisteme verebilmek için gömlek numunesinin bağlandığı alüminyum tablaya 20 mm çapında delikler açılarak fişek tipi ısıtıcı dirençlerinin bağlantısı yapılmıştır. Şekil 3.7.'de gösterilen kesicili termistör dirençlere bağlanmış ve istenilen sıcaklığa ayarlanarak o sıcaklığa ulaştığında ısı artışını kesmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.7. Termostat.

Ayrıca 1-60 Hz aralığında çalışan frekans kontrol cihazı(sürücü) test düzeneğinde kullanılmıştır. Şekil 3.8.'de gösterilen sürücü ile testlerde farklı devir ayarları yapılmıştır.



Şekil 3.8. Sürücü.



Şekil 3.9. Segman tutucu aparatlar.

Şekil 3.9.'da gösterildiği gibi iki adet segman tutma aparatı üretilmiştir. Tutucunun yan tarafında görülen kontra somunlu vida, segmanın piston kısmına sabitlenmesini sağlayan parçadır. Vida ile segmanın gömlek numunesine oturtulmasında hassas ayarın yapılmasına imkan verir.

Deneyden sonra meydana gelen gömlek aşınması örneği şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Gömlek aşınması.

Şekil 3.11.'de ise nikel kaplı bir segman aşınması görseli verilmiştir. Normal şartlarda dayanımı fazla olan nikel, yük faktörü veya segman sıklığı vb. gibi sebeplerden ötürü aşınma yüzeyi derinleşebilmektedir.



Şekil 3.11. Segman aşınması.

Aşınma deney parametreleri aşağıda verilmiştir.

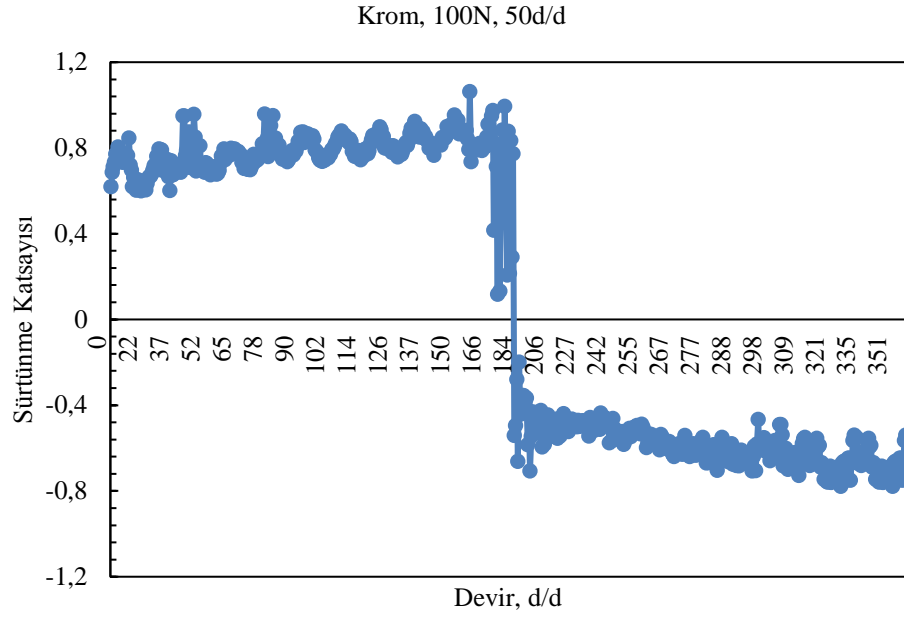
1. Alınacak yol :1000 m
2. Sistem sıcaklığı :30 °C ve 80 °C
3. Devir :50 d/d, 75 d/d, 100 d/d, 125 d/d, 150 d/d
4. Yük :40N, 60N, 80 N
5. Kaplama malzemeleri : Krom, nikel, mangan-fosfat, paladyum

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Sürtünme Deney Verileri

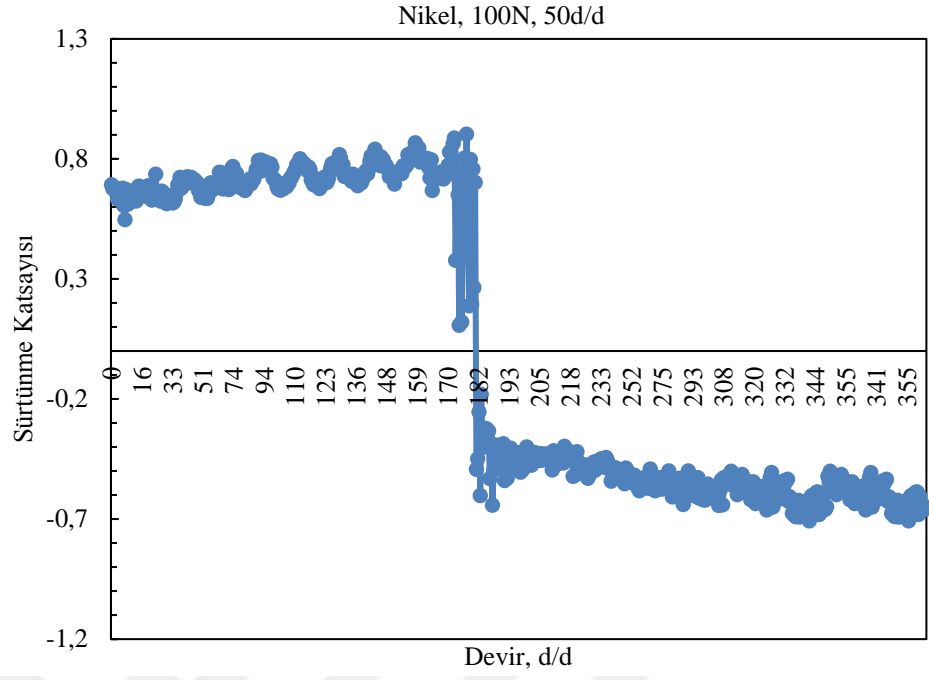
Sürtünme deneyleri, segman numunesine belirlenen yüklerin uygulanması ve segman numunesinin gömlek numunesi yüzeyine teması ile uygulanmıştır. Deneyler, segman numunesi sabit, gömlek numunesi ise hareketli bir tabla üzerine yerleştirilmiş segman-silindir çifti arasında gerçekleştirilmiştir. Sürtünme kuvveti ölçümünde, üç eksenli kuvvet sensörü ve veri aktarma sistemi kullanılmıştır. Deneylerde, segman numunesinin gömleğe oturma miktarı ise 20 mm şeklinde ayarlanmıştır.

Kaplanmış segmanların aşınma ve sürtünme özellikleri birbirinden farklılıklar gösterir. Ayrıca kaplamanın silindir gömleği üzerinde etkisi de farklı değerlerde olabilmektedir. Segman aşınması yüksek yüklerde fazla olduğu görülmektedir. İçten yanmalı motorlarda ilk hareket esnasında ÜÖN bölgesinde sınır sürtünme şartları olduğundan deneyler için düşük devir aralıkları seçilmiştir. Yapılan deneylerde farklı segman ve silindir gömleği numunesi kullanılmıştır. Deneylerde motor soğutma suyu çıkış sıcaklığı olan 80°C referans alınarak termostat-direnç aracılığı ile silindir gömleği ve segman yüzeyleri 80°C'de deneye tabii tutulmuştur. Şekil 4.1.'de krom kaplı segmanın anlık sürtünme katsayısı şekilde gösterilmiştir. Krom piyasa şartlarında kullanılan sert bir malzemedir. Çalışmamızda krom kadar iyi elementler kullanılıp karşılaştırma yapma olanağı elde edilmiştir. Normal şartlar altında krom'un sürtünme katsayısı 0,41 iken yük altında Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi yaklaşık 0,6 ekseninden başlamaktadır.



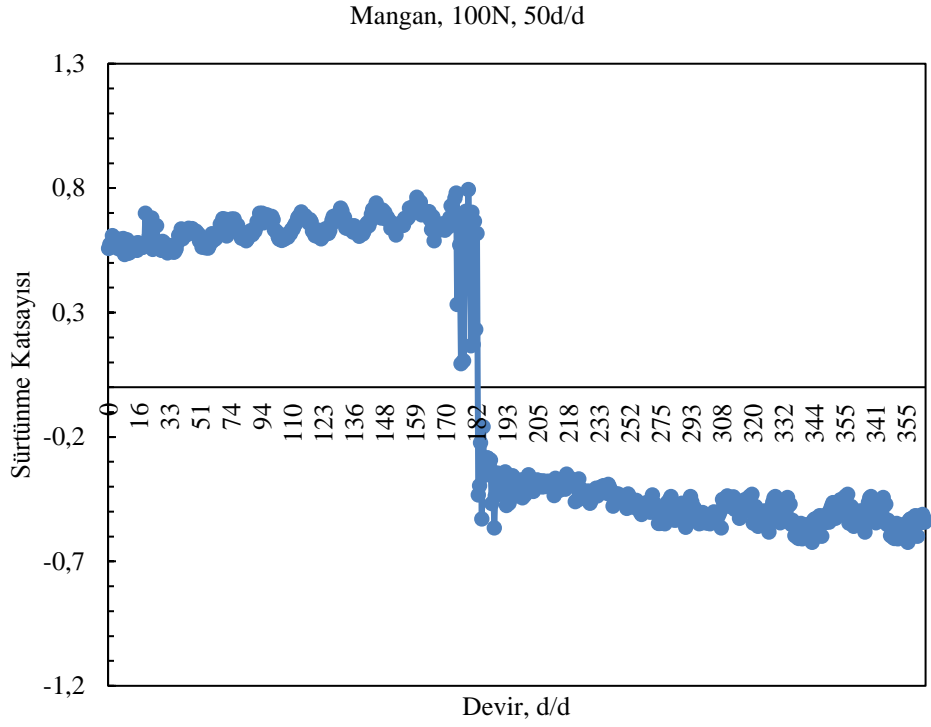
Şekil 4.1. Krom kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi.

Şekil 4.2.'de nikel kaplı segmanın sürtünme değişimi gösterilmiştir. Bu sürtünme değerleri deneye tabi olan numune için yük değerinin en fazla ve motor çalışma devrinin en düşük olduğu kısımlar baz alınmıştır. Çünkü en fazla sürtünme bu şartlarda meydana gelmektedir. Nikel malzemesi motorun çeşitli kısımlarında tercih edilen bir elementtir. Yüksek sıcaklığa dayanımı, mukavemeti ve sürtünme katsayısının düşük olması nedeniyle deney sonuçlarında tatmin edici veriler elde edilmiştir. Nikel'in normal şartlar altında sürtünme katsayısı 0,7 civarı iken Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi tam yük deney şartlarında da benzer değerlerde kalmaktadır. Bunda yüzey pürüzlülük değerlerinin etkisi vardır.



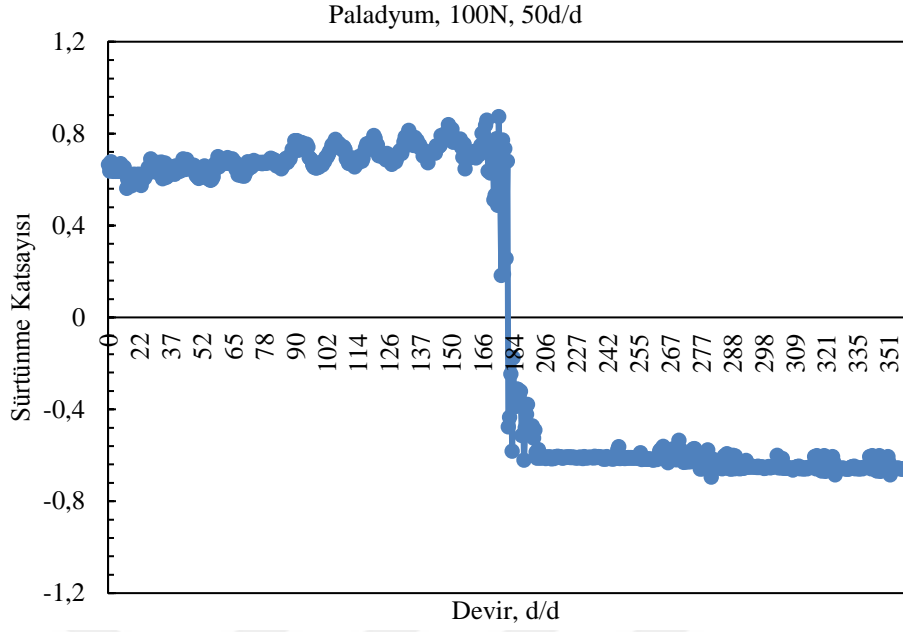
Şekil 4.2. Nikel kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi.

Şekil 4.3.'te de mangan fosfat kaplı segmanın sürtünme katsayısındaki değişimin grafiksel olarak değişimi görülmektedir. Mangan fosfat sürtünme grafiğinden de görüldüğü üzere belirli devir sayısına kadar sürtünme katsayısı çok fazla değişmemektedir. 100 N ve 50 d/dk şartları, sürtünmelerin en fazla olduğu: yük maksimum ve devir minimum koşulları baz alınmıştır.



Şekil 4.3. Mangan fosfat kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi.

Şekil 4.4.'te paladyum kaplı segmanın sürtünme katsayısının devirle değişimi gösterilmiştir. Paladyum metali yumuşak olmasına rağmen sertlik özellikleri iyidir. Sürtünme özellikleri belirli aralıklarda çok fazla değişmemekte ve nikel mikroyapı olarak benzerlik gösteren bir metaldir. Sürtünme katsayısı 0.6-0.9 aralığındadır.

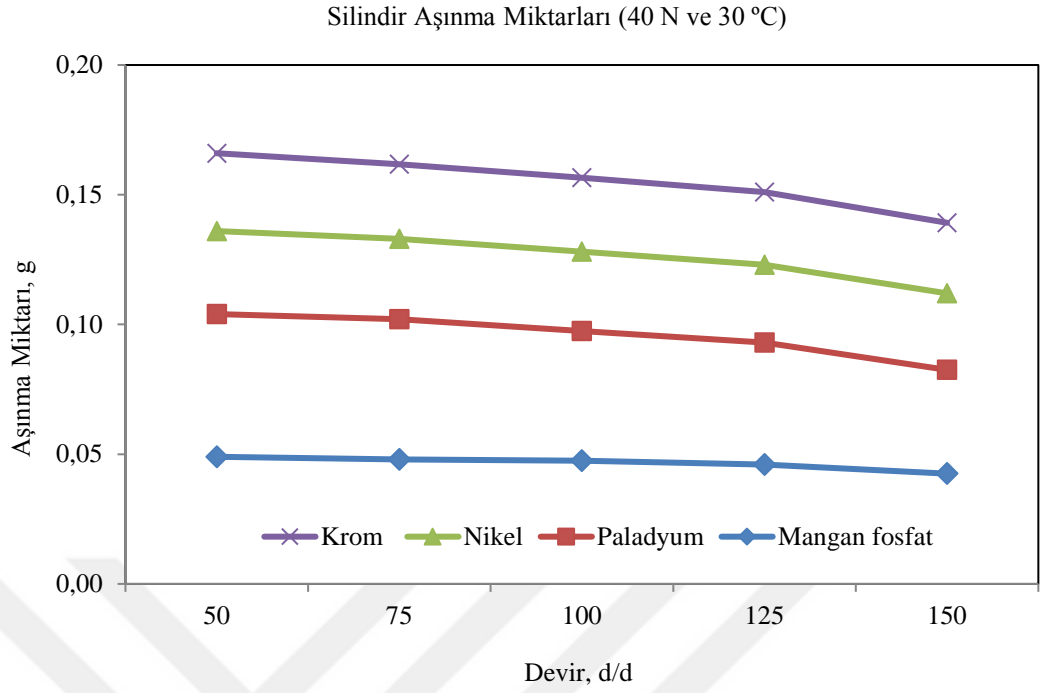


Şekil 4.4. Paladyum kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi.

4.2. Aşınma deney verileri

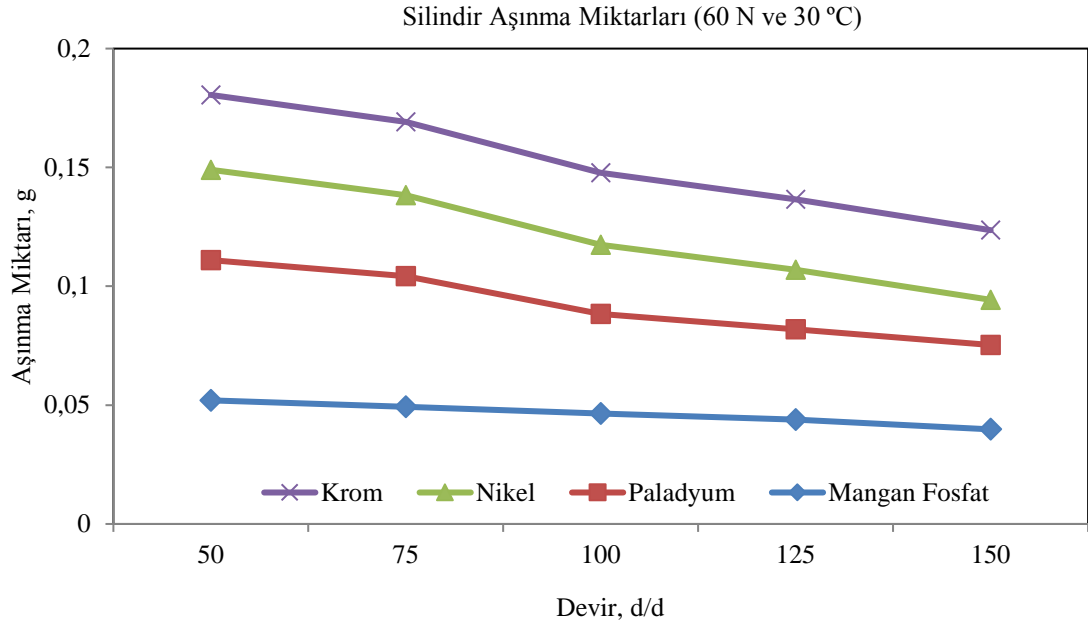
Aşınma deneyleri, segman numunesinin gömlek numunesine belirlenen yüklerin uygulanması sonucu oluşan yüzey teması ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde segman-silindir çifti arasında doğrusal hareket eden bir aşınma cihazı kullanılmıştır. Aşınma deneylerinde toplam kat edilen mesafe 1000 m olarak belirlenmiştir. Deneylerde segman ve gömlek numunesi her deney için yenilenmiştir. Aşınma kaybı ağırlık kaybı ölçüm metoduna göre hassas terazide ölçülmüştür. Hassas terazi ölçümlerinde deneylerden önce ve deneylerden sonra numuneler alkol ile temizlenmiş ve kurutulmuştur.

Şekil 4.5.'te örnek bir silindir numunesinin 40N ve 30°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Yük düşük olduğundan gömlek ve segman arasında dikey kuvvet etkisi daha az olduğu için aşınma miktarları düşük seviyede olmuştur. Cr'ye göre Mangan fosfatın uygulandığı gömlek yaklaşık %50 daha az aşınmıştır, Nikel aşındırması kroma göre % 11,1 azalmış, Paladyum kaplama ise %31 daha azdır.



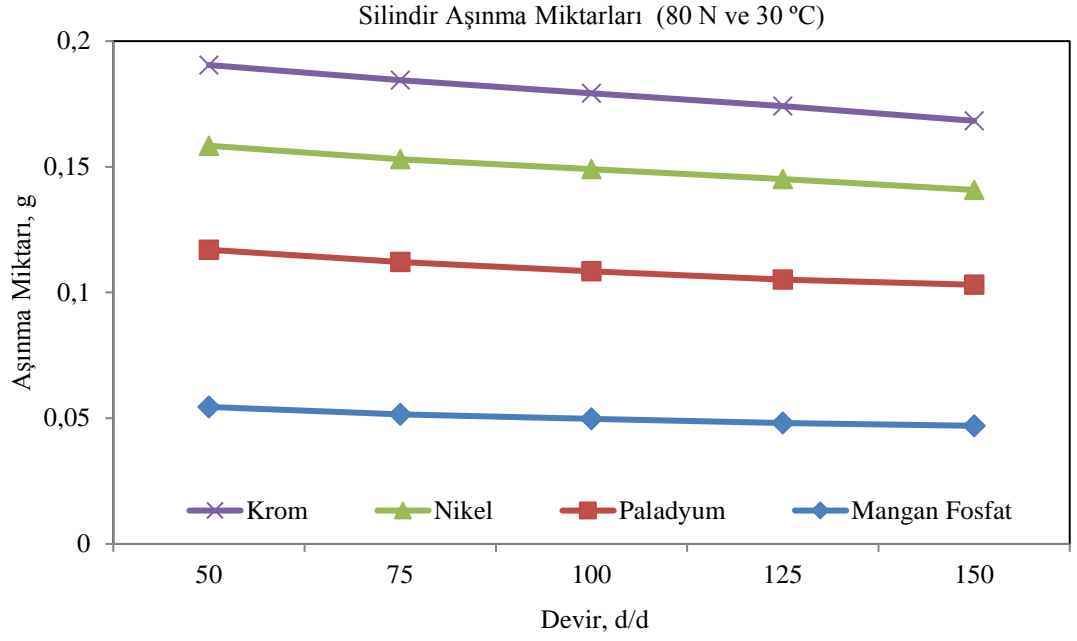
Şekil 4.5. Silindirin 40N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.

Şekil 4.6.'da örnek bir silindir numunesinin 60N ve 30°C deney şartlarında aşınma özellikleri verilmiştir. Bir önceki grafiğe göre yük artması sebebiyle genel olarak aşınmalar artmıştır. Cr kaplamaya göre mangan fosfat %46 daha az aşındırmıştır, nikel % 16 daha az aşınmış ve paladyum ise %25 daha az aşınmıştır.



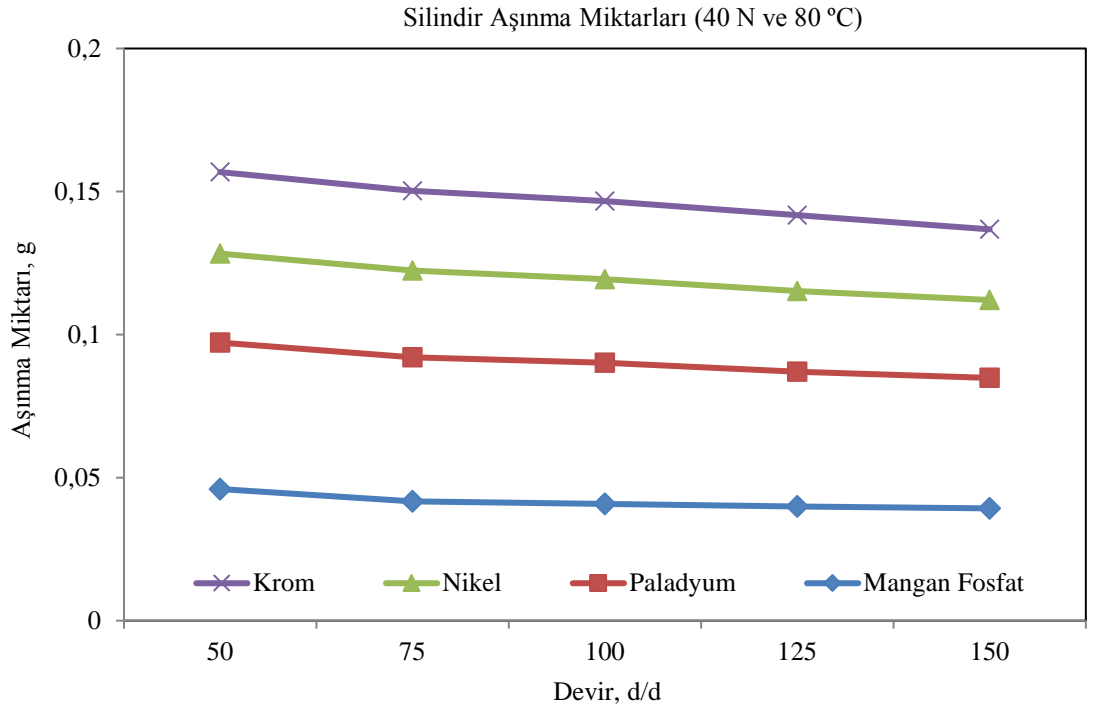
Şekil 4.6. Silindirin 60N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.

Şekil 4.7.'de örnek bir silindir numunesinin 80N ve 30°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Yük arttıkça aşınma artmaktadır ve grafikte de görüldüğü gibi devir arttıkça da numunelerin aşınması negatif yönde etki göstermektedir. Cr kaplamaya göre mangan fosfat % 55'e yakın bir daha az aşındırma mevcuttur, nikel kaplamada % 15 kadar ve paladyum'da da %35 kadar bir aşındırma azalması görülmektedir.



Şekil 4.7. Silindirin 80N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.

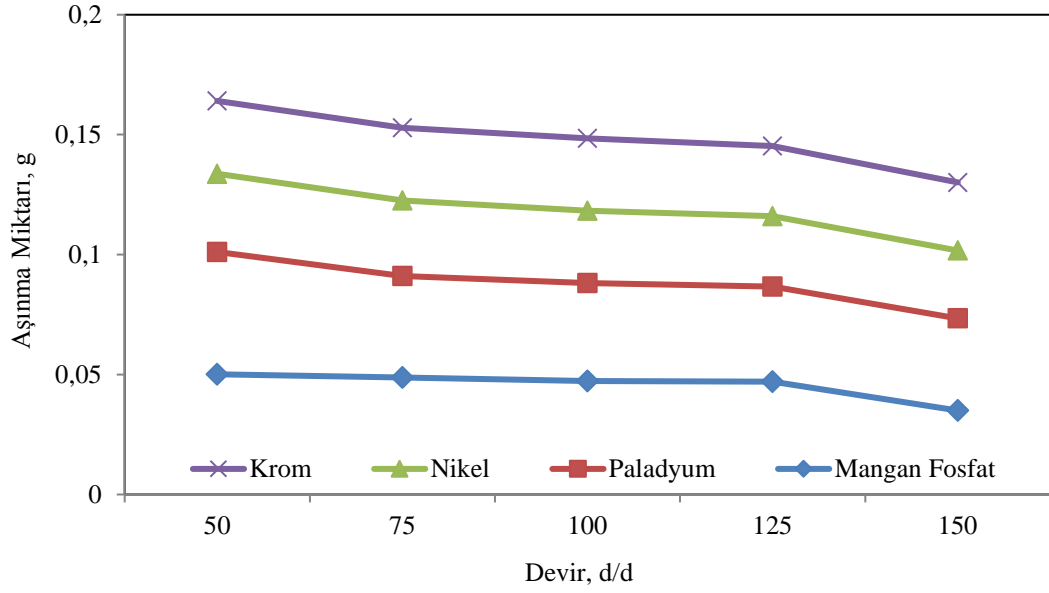
Şekil 4.8.'de örnek bir silindir numunesinin 40N ve 80°C deney şartlarında aşınma özellikleri verilmiştir. Rejim sıcaklığı düşük sıcaklıklara göre daha rölanti çalışma şartları sağlamaktadır. Cr kaplamaya göre mangan fosfat kaplama % 50 civarında daha az, nikel % 18 civarı daha az ve paladyum da % 33 kadar daha az silindir gömleği aşındırmıştır.



Şekil 4.8. Silindirin 40N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.

Şekil 4.9.'da örnek bir silindir numunesinin 60N ve 80°C deney şartlarında aşınma özellikleri verilmiştir. Cr kaplamaya göre mangan fosfat kaplamalı segman % 50 civarında, nikel kaplama % 18 aralığında ve paladyum kaplama da % 29 daha az silindir gömleği aşındırmıştır.

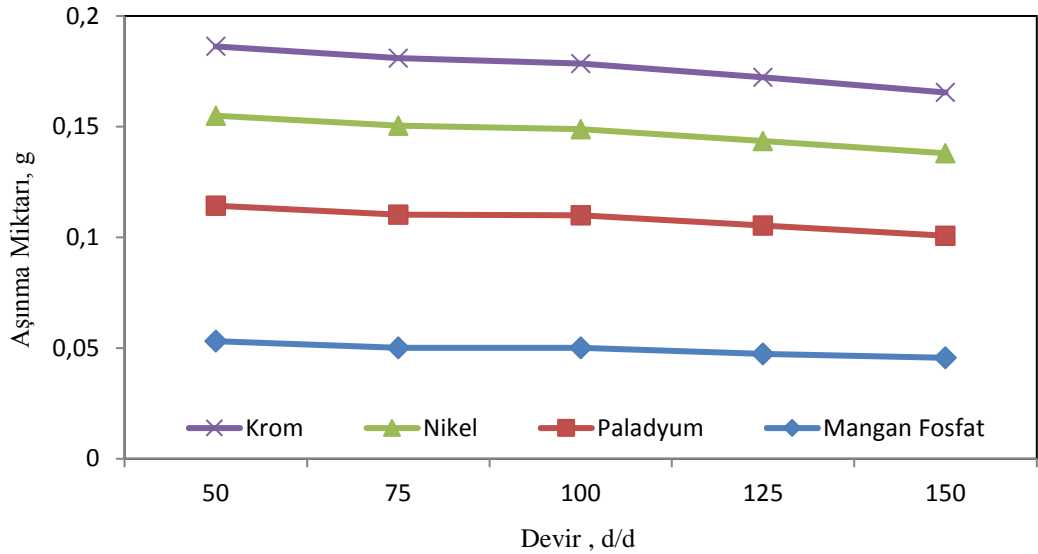
Silindir Aşınma Miktarları (60 N ve 80 °C)



Şekil 4.9. Silindirin 60N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.

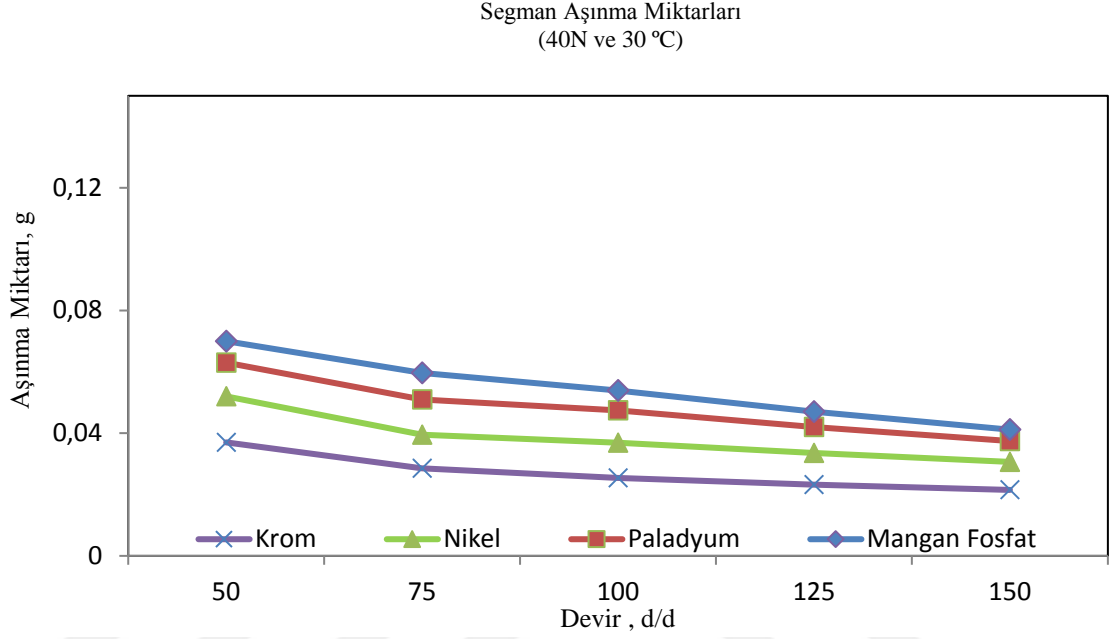
Şekil 4.10.'da örnek bir silindir numunesinin 80N ve 80°C deney şartlarında aşınma özellikleri verilmiştir. Silindir üzerinde Cr kaplamaya göre mangan fosfat kaplama yaklaşık % 50 daha az aşınmışken; nikel % 14, paladyum kaplamada ise % 33 daha az aşınmıştır.

Silindir Aşınma Miktarları (80 N ve 80 °C)



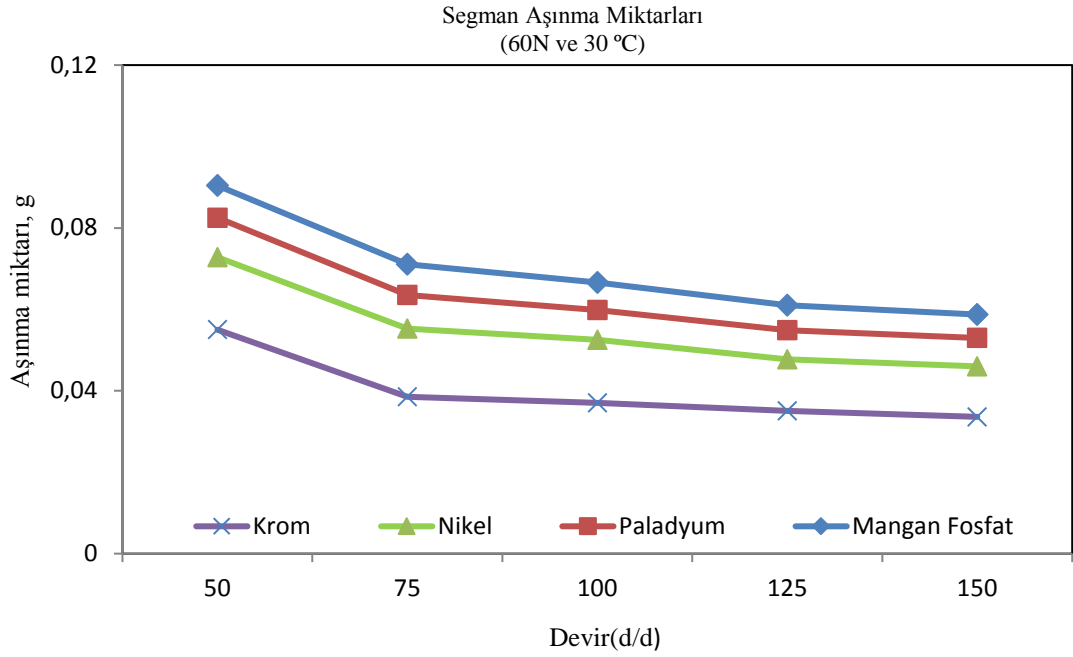
Şekil 4.10. Silindirin 80N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.

Şekil 4.11.'de örnek bir segman numunesinin 40N ve 30°C deney şartlarında aşınma özellikleri verilmiştir. Segman aşınması Cr kaplamaya göre mangan fosfat kaplaması % 55 daha fazla, nikel kaplama % 25 daha fazla ve paladyum % 33 daha fazla olmuştur.



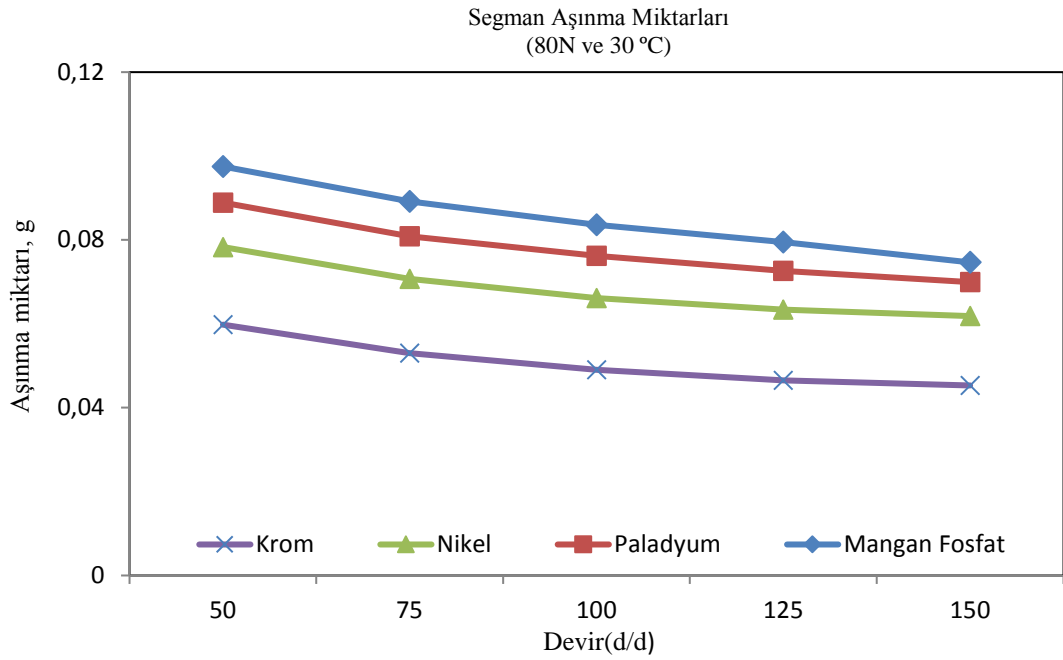
Şekil 4.11. Segmanın 40N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.

Şekil 4.12.'de örnek bir segman numunesinin 60N ve 30°C deney şartlarında aşınma özellikleri verilmiştir. Cr kaplamaya göre Mangan fosfat % 50 civarında daha fazla aşınma gösterirken nikel % 25 daha fazla ve paladyum %33 daha çok aşınmıştır.



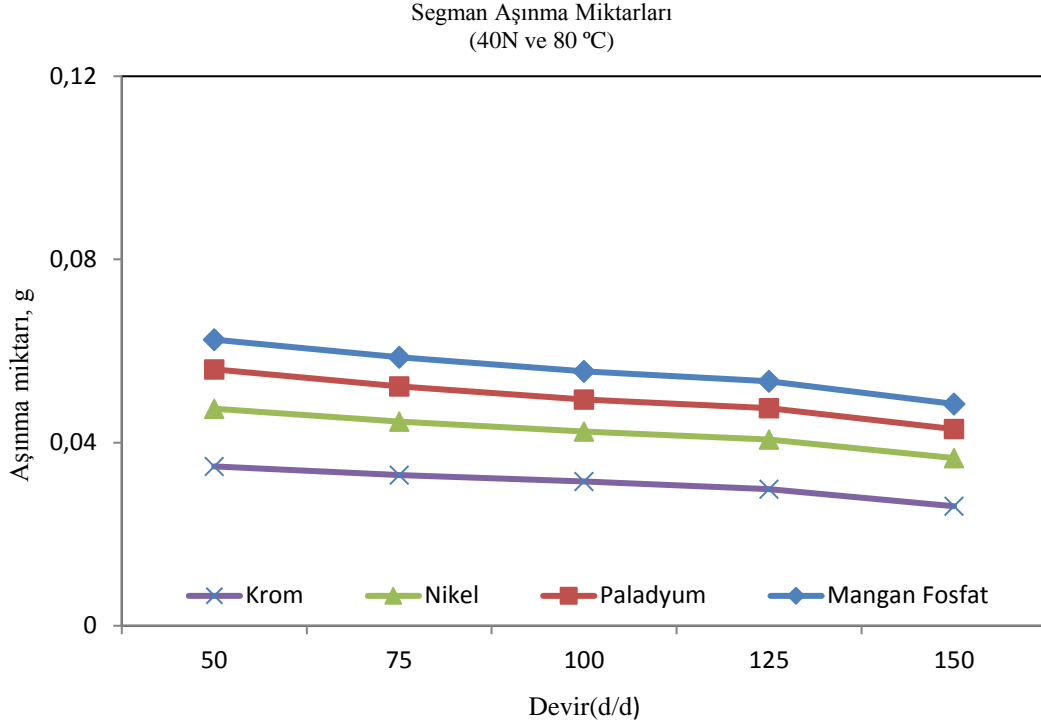
Şekil 4.12. Segmanın 60N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.

Şekil 4.13.'te örnek bir segman numunesinin 80N ve 30°C deney şartlarında aşınma özellikleri verilmiştir. Cr kaplamaya göre Mangan fosfat % 50 civarında daha fazla aşınma gösterirken nikel % 26 daha fazla ve paladyum % 35 daha fazla aşınma göstermiştir.



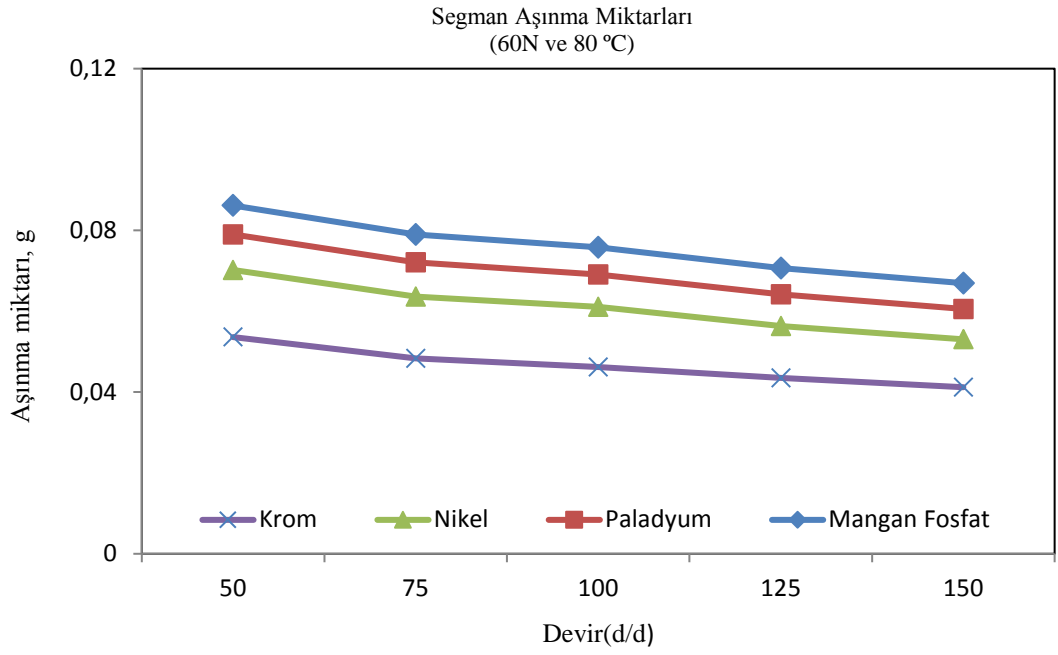
Şekil 4.13. Segmanın 80N ve 30°C deney şartlarında aşınma miktarı.

Şekil 4.14.'te örnek bir segman numunesinin 40N ve 80°C deney şartlarında aşınma özellikleri verilmiştir. Cr kaplamaya göre Mangan fosfat % 50 civarında daha fazla aşınma gösterirken, nikel % 24 daha fazla aşınma gösterirken paladyum % 28 daha fazla aşınma göstermiştir.



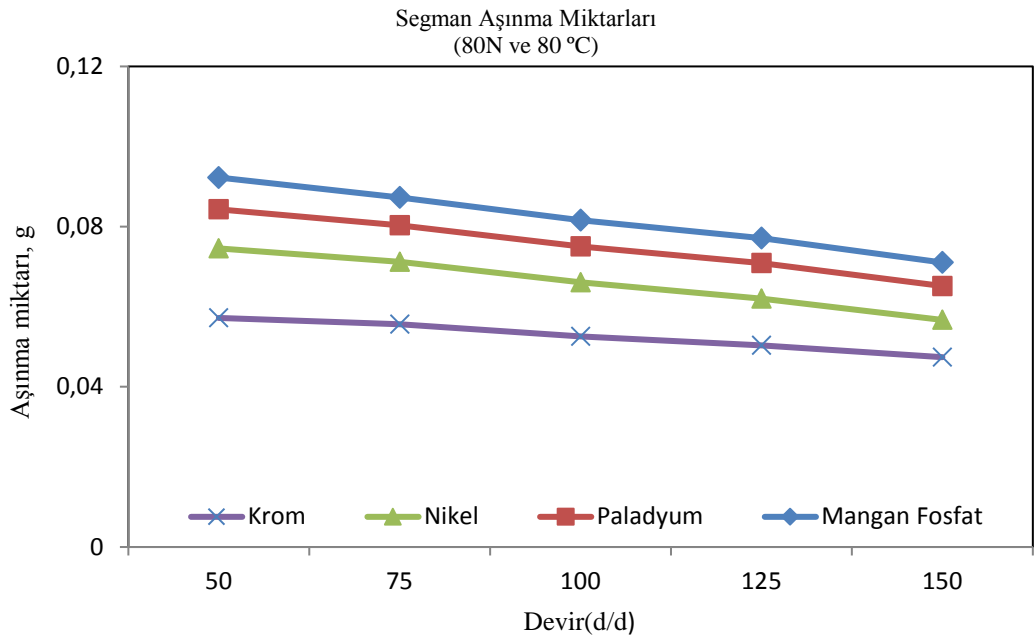
Şekil 4.14. Segmanın 40N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.

Şekil 4.15.'te örnek bir segman numunesinin 60N ve 80°C deney şartlarında aşınma özellikleri verilmiştir. Cr kaplamaya göre Mangan fosfat % 50 civarında daha fazla aşınma gösterirken, nikel % 26 oranında daha fazla ve paladyum da % 32,5 kadar daha çok aşınmıştır.



Şekil 4.15. Segmanın 60N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.

Şekil 4.16’da örnek bir segman numunesinin 80N ve 80°C deney şartlarında aşınma özellikleri verilmiştir. Cr kaplamaya göre Mangan fosfat % 50 civarında daha fazla aşınma gösterirken, nikel % 23,6 daha fazla aşınmış ve paladyum ise % 27,4 daha fazla aşınmıştır.

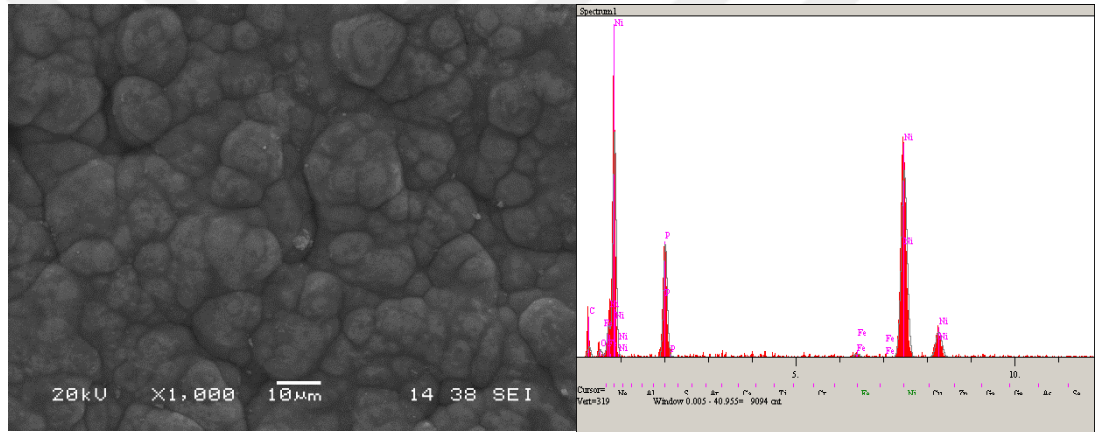


Şekil 4.16. Segmanın 80N ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı.

4.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementsel Analiz incelemeleri (EDX)

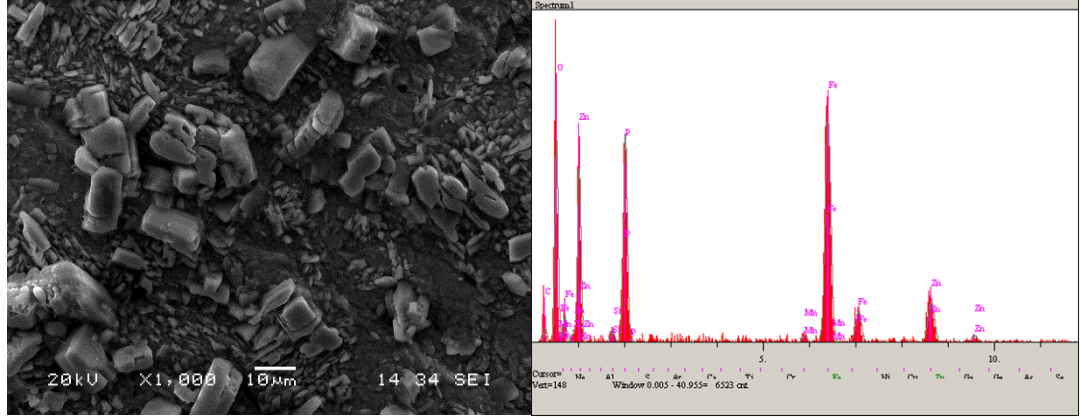
Deneysel çalışma için gerekli olan segman kaplama maddeleri olan mangan fosfat, nikel, krom ve paladyum kaplama tabakalarının segman üzerindeki mikroyapıları ve elementel analiz sonuçları aşağıda verilenler gibidir.

Şekil 4.17.'de nikel kaplı segmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir. Analiz sonucu Ni, P, C, O, Fe elementlerinin mevcut olduğu görülmüştür. Nikel'den sonra en fazla fosfor elementi görülmüştür.



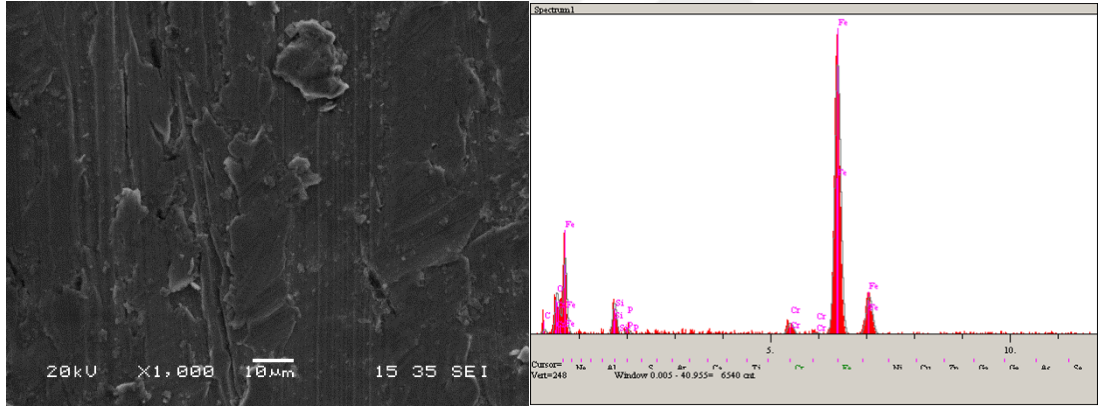
Şekil 4.17. Nikel kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi.

Şekil 4.18.'de mangan fosfat kaplı segmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir. Analiz tablosunda C, O, Zn, Fe, Si ve Mn elementlerinin olduğu görülmektedir. Oksijen, çinko, fosfor ve demir oranı fazladır ve birbirlerine yakın oranlarda bulunmaktadır.



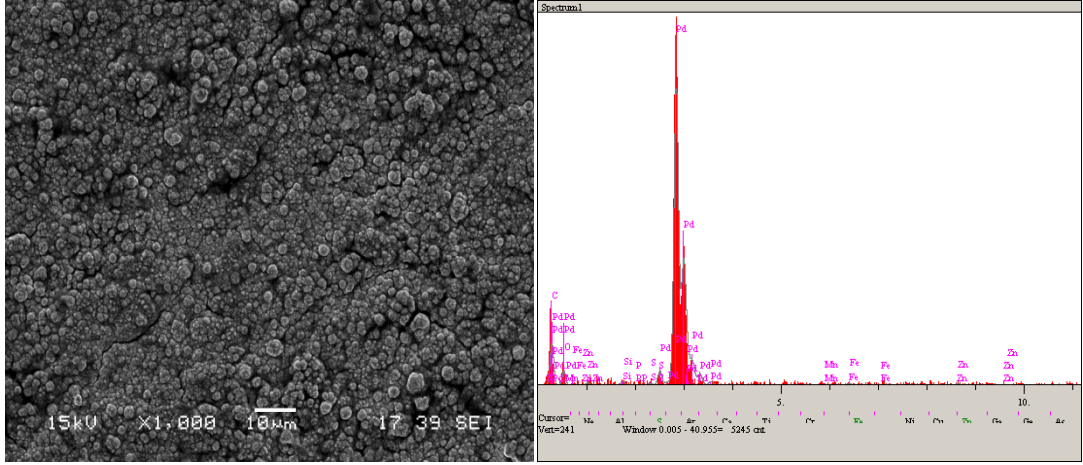
Şekil 4.18. Mangan Fosfat kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi.

Şekil 4.19.'da krom kaplı segmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir. Analiz ile ortaya çıkan elementel tabloda Fe, Cr, C, Si, P, görülmektedir. Krom kaplamada demir oranı fazlaca görülmektedir.



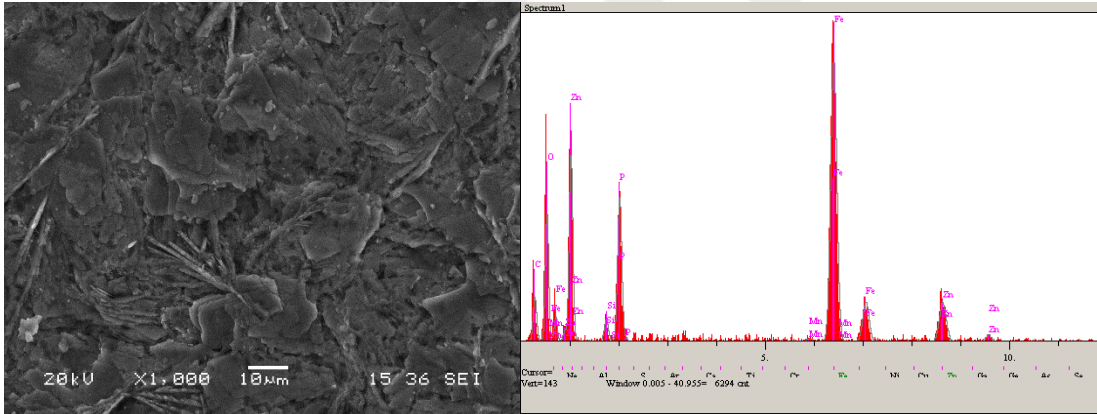
Şekil 4.19. Krom kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi.

Şekil 4.20.'de Paladyum'un SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir. Sonuçlara göre % 5 oranında C, % 88 oranında Pd, % 2.3 oranında O, % 1.9 oranında Zn ve %2.8 diğer elementler bulunmaktadır.



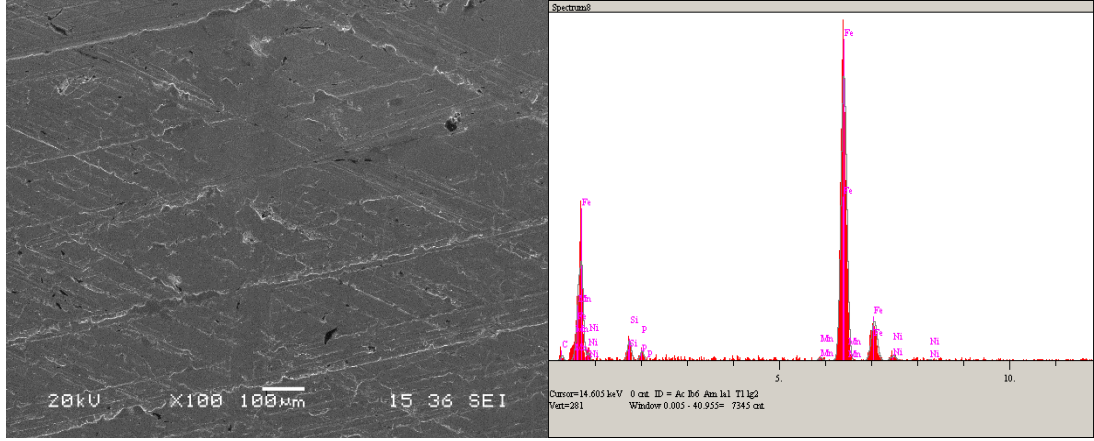
Şekil 4.20. Paladyum kaplamannın SEM görünüşü ve EDX analizi.

Şekil 4.21.'de ham segmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir. Bu sonuçlara göre içerikte O, Zn, C, P, Fe, Mn elementleri bulunmaktadır. Zn, O, P, Fe oranları yüksektir.



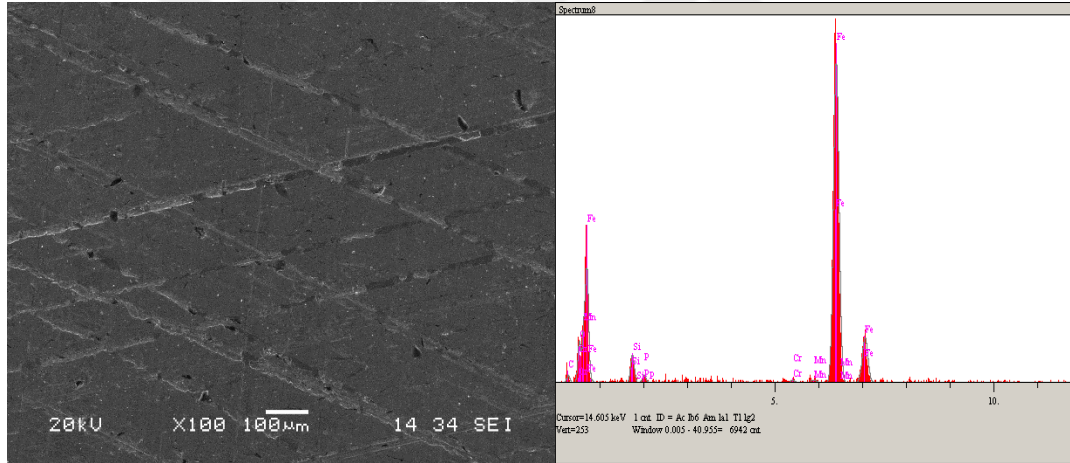
Şekil 4.21. Ham segmanın SEM görünüşü ve EDX analizi.

Şekil 4.22.'de Nikel kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşınmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir. Silindir gömleği numunesi içerisinde analize göre fazlaca oranda Fe, Si, P, C, Ni, Mn bulunmaktadır.



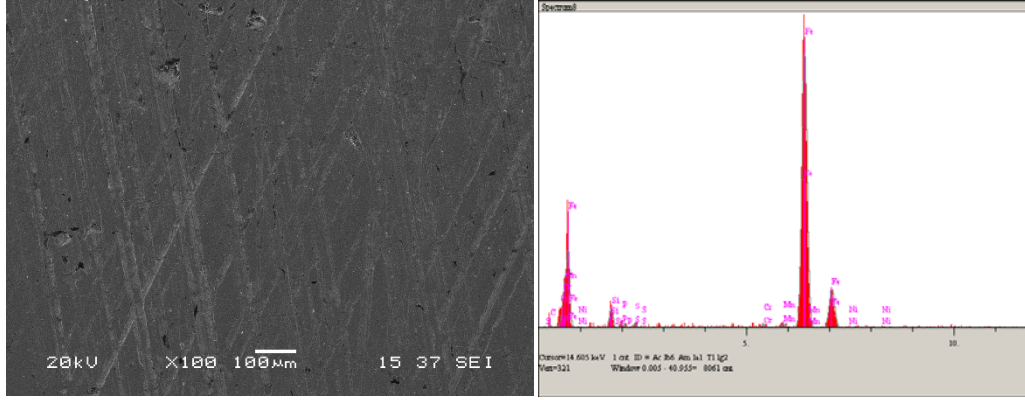
Şekil 4.22. Nikel kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşındırmanın SEM görünüşü ve EDX analizi.

Şekil 4.23.'te mangan fosfat kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşınmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir.



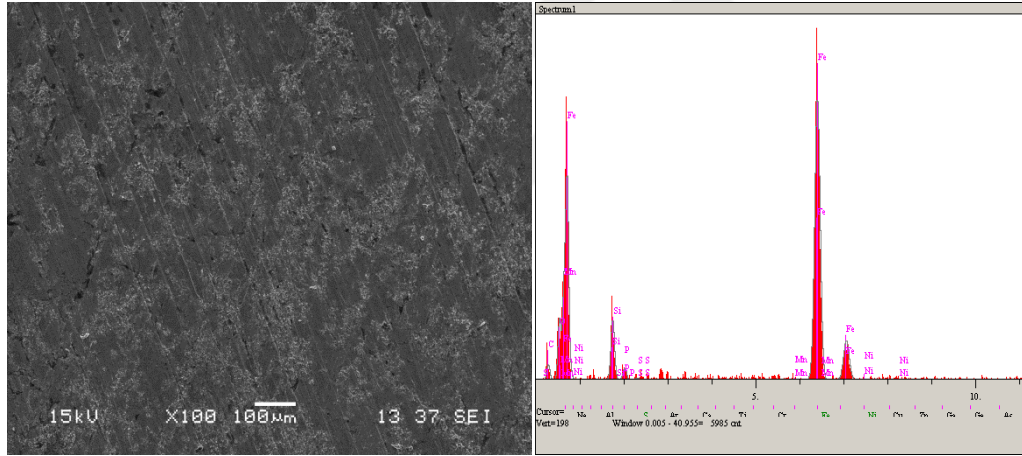
Şekil 4.23. Mangan Fosfat kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşındırmanın SEM görünüşü ve EDX analizi.

Şekil 4.24.'de krom kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşınmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir.



Şekil 4.24. Krom kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşındırmasının SEM görünüşü ve EDX analizi.

Şekil 4.25.'te paladyum kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşınmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir.



Şekil 4.25. Paladyum kaplanmış segmanın silindir yüzeyinde meydana getirdiği aşındırmasının SEM görünüşü ve EDX analizi.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada farklı malzeme kaplı segman numuneleri ile silindir gömleği arasında, içten yanmalı motor prensibine göre çalışan bir aşınma deney cihazında aşınma ve sürtünme testleri yapılmıştır. Testler 30°C ve 80°C sıcaklık şartlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma devirleri 50 d/d, 75 d/d, 100 d/d, 125 d/d, 150 d/d, normal yükler ise 40N, 60N ve 80N olarak seçilmiştir. Düşük devirlerde ölü noktalardaki sürtünme direnci fazla olduğundan, deneyler düşük devirlerde yapılmıştır.

Aşınma cihazında yapılan deneylerde sürtünme katsayısı motor devrinin artması ile azalmıştır. Aynı şekilde pistonun yön değiştirmek amacıyla ölü noktalarda hızın sıfıra inmesi sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır. Diğer noktalarda ise hızın artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısı azalmıştır. Ayrıca farklı segman kaplamaları ile yapılan deneylerin tümünde sürtünme katsayısı sıcaklığın artması ile azalmaktadır.

Segman numunesinin farklı kaplama malzemeler ile kaplanması durumunda yapılan aşınma deneylerinde: yükün artması aşınma değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Deneysel çalışma sonucunda: gömlek numunesinde honlama çizgilerinin zarar görmesine sebep olmaktadır. Bu durum motorlarda yağın gömlek üzerinde depolanmasında engelleyerek yağlama rejiminin hidrodinamik yağlama rejimden karışık yağlama rejime geçmesinde neden olarak motor ömrünü azaltmaktadır. Aşınma değerleri hızın artması ile azalmaktadır. Ayrıca, aşınma değerleri sıcaklık artışı ile azalmaktadır.

Deney sonuç verilerine bakıldığında şu şekilde bulgular yorumlanabilir:

- Segman ve silindir gömleği arasındaki belirgin aşınma ve sürtünme düşük devir ve yüksek yük değerlerinde görülmüştür.
- Kaplamalar uygun teknikle yapıldığında, malzemenin koruyucu özelliklerini arttırdığı görülmüştür.

- Nikel'in özelliklerinin paladyuma benzediği görölmüştür.
- Yük arttıkça tüm malzemelerde sürtünmenin arttığı görölmektedir.
- İçten yanmalı motorlarda rejim sıcaklığına doğru geldikçe optimum kayıplar meydana gelip, sürtünme azalmıştır.
- Silindir gömleği içerisindeki honlama çizgileri zamanla azalmıştır, bu da yüzeyde yağ tutulma kabiliyetini azaltmaktadır.
- Nikel ve paladyum sertlik özellikleri iyi ancak tercih etmek için paladyum pahalıdır.



KAYNAKLAR

- Abdullah, S. Adril, E. Muchtar, A. ve Ariffin, A.K. (2010). Friction reduction in compressed natural gas diect injection engine using piston rings with diffusion chromium coating, *Journal of applied sciences*, 10, 462-470.
- Akalın, Ö. (2000). Motorlarda plazma sprey kaplı silindirlerin tribolojik özellikleri, *Mühendis ve Makina*, 486, 30-33.
- Akalın, Ö. ve Newaz, G. M. (2001). Piston ring-cylinder bore friction modeling in mixed lubrication regime: Part II—Correlation with bench test data, *Journal of Tribology*, 123, 237-288.
- Ali, S. Dadoura, H. Ahmad, M. I. Nigm, M. (2015). Characterization of coated diesel engine cylinder liner material using surface metrology techniques, *Journal of Surface Science and Coating Technology*, 1, 3-10.
- Andersson, B. S. (1991). Company perspectives in vehicle tribology-volvo, Leeds-lyon symposium on tribology-vehicle tribology, *Elsevier Science*, 18, 503-506.
- Andersson, P. Tamminen, J. ve Sandström, C. E. (2002). Piston ring tribology, A literature survey, VTT Tiedotteita, Finland.
- Anık, S. Dikicioğlu, A. Vural, M. (1993). Bakım ve tamir işlerinde kaynak ve metal püskürtme, *Metal ve Kaynak*, 49, 21- 25.
- Aydın, Z. (2015). Deniz taşıtlarında kullanılan farklı yağların segman-silindir çifti yüzeylerindeki tribolojik özelliklerine etki eden parametrelerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayvas, Ş. (1978). Genel Mekanik, *Meb*, Ankara.
- Berg, G. Friedrich, C. Broszeit, E. ve Cremer, M. (1999). Chrome nitride coatings for applications in plastics processing, *International polymer processing*, 14, 122-127.
- Bhushan, B. (2001). Principles of tribology, *Modern Tribology Handbook*, CRC Press LLC.
- Cesur, İ. (2008). Farklı yakıt karışımlarının segman-silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Chattopadhyay, R. (2001). Surface wear: analysis, treatment, and prevention, *asm international*.
- Dufrane, K. F. (1989). Wear performance of ceramics in ring/cylinder applications. *Journal of the American ceramic Society*, 72, 691-695.
- Er, Ü. (2003). Bor yayımıyla yüzeyi sertleştirilmiş çeliklerin aşınmaya karşı dayanımlarının ve pulluk uç demirlerinde uygulama olanaklarının araştırılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Ezirmik, K. V. (2008). Mo-N-Ag nanokompozit kaplamaların üretimi ve tribolojisi, Doktora tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hazar, H. (2004). Bir dizel motor silindir yüzeyinin seramik malzeme ile kaplanarak aşınma davranışının deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hazar, H. Öner, C. (2007). CrN kaplamanın dizel motor silindir gömleği aşınmasına etkisi, *Mühendis ve Makine*, 48, 14-18.
- Hirapara, B.B. Patel, V.C. Sharma, H.R. Ranjan, R.K. Patel, P. D. (2015). A Technical research on piston ring coating of single cylinder four stroke SI engine fuelled with compressed natural gas, *International Journal of Science Technology & Engineering*, 1, 270-275.
- Hutchings, I.M. (1992). Tribology: friction and wear engineering materials, Edward arnold, London.
- Karamış, M. (1985). Toprak işleme aletlerinde iş organının aşınmasının etüdü, Doktora tezi, Erciyes üniversitesi, Kayseri.
- Kılıç, İ. (2006). İçten yanmalı motorlarda sürtünme kayıpları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kumar, V. Sinha, S.K. Agarwal, A.K. (2019). Wear evaluation of engine piston rings coated with dual layer hard and soft coatings, *Journal of Tribology*, 141, 1-10.
- Liu, C. S. (2014). Experimental investigation of influence of different surface textures on wear characteristics of straight type diesel engine cylinders, *Applied Mechanics and Materials*, 443, 141-144.
- Mert, Z. (2007). Tek silindirli bir motorda sürtünmeye etki eden faktörlerin belirlenmesi ve sürtünme gücünün azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Mufti, R. A. Priest, M. (2009). Effect of engine operating conditions and lubricant

- rheology on the distribution of losses in an internal combustion engine. *Journal of tribology*, 131, 1-9.
- Murray, M.J. Mutton, P.J. Watson, J.D. (1982). Abrasive wear mechanisms in steels, *Journal of Lubrication Technology*, 104, 9-15.
- Okay, F. (2006). PVD yöntemi ile Tin kaplı östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin adhesiv aşınma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Okay, F. Sert, H. Habalı, K. Gül, F. (2006) TiN kaplanmış östemperli küresel grafitli dökme demirin adhesiv aşınma davranışı, 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul-Türkiye.
- Priest, M. ve Taylor, C.M. (2000). Automobile engine tribology-approaching the surface, *Wear*, 241, 193–203.
- Qu, S. He, R. Yang, Z. and all. (2017). Research on friction and wear performance of heavy duty diesel engine piston rings and cylinder liners, *International Journal of Advances on Automotive and Technology Promech Corp. Press*, İstanbul, Turkey, 1, 172-179.
- Ruddy, B.L. Economou, P. N. Dowson, D. (1982). A review of studies of piston ring lubrication, Proc. 9th Leeds-Lyon Symp. on tribology: Tribology of Reciprocating Engines, Paper 5, 1, 109-121.
- Sarı, N.Y. Kaluñç, E. (1996). Endüstride aşınma problemleri, *Makine ve metal teknolojisi*, 50, 64-68.
- Staudt, W. (2000). Motorculukta metal tekniği, Meb, İstanbul.
- Tung, S. C. ve McMillan, M. L. (2004). Automotive tribology overview of current advances and challenges for the future, *Elsevier Science*, 37, 517-536.
- Ürün, R. (2008). Sürtünme ve aşınma test cihazı tasarımı ve imalatı, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Visscher, M. Dowson, D. ve Taylor, C. M. (1998). The profile development of a twin-land oil-control ring during running, *Journal of Tribology*, 120, 616-621.
- Woydt, M. ve Ebrecht, J. (2008). Testing friction and wear of the tribosystem piston ring and cylinder liner outside of engines, *Tribotest*, 14, 113–126.
- Zhuo, S. Peijun, Z. Leheng, Z. Xinfu, X. Aimin, H. and Wenquan, Z. (2000). Multi-layer compound coating on cast iron piston ring by multi-arc and magnetron sputtering ion compound plating technique, *Surface and Coatings Technology*, 131, 422–427.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet AKGÜNDÜZ, 27/05/1991'de Hatay'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Hatay'da tamamladı. 2009 yılında İskenderun Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Özel bir şirkette 2015'ten beri çalışmaktadır.