



Krom-Nikel Kaplı Segmanların Segman Silindir Çifti Arasındaki Sürtünme Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi

İdris CESUR^{1*}, Mehmet AKGÜNDÜZ²

¹ Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Sakarya/ Türkiye

² Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Enstitüsü, Makina Mühendisliği EABD, Sakarya/ Türkiye

İdris CESUR ORCID No: 0000-0001-7487-5676

Mehmet AKGÜNDÜZ No: 0000-0002-6213-7155

*Sorumlu yazar: icesur@subu.edu.tr

(Alınış: 05.11.2020, Kabul: 15.02.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler
Sürtünme,
Aşınma,
Segman,
Kaplama

Öz: İçten yanmalı motorlarda güç kayıplarının en büyük sebebi sürtünmelerden kaynaklı kayıplardır. Bu kayıplar motor içinde çalışan parçaların birbirine sürtünmesi sonucu meydana gelmektedir. Motorlarda çalışan parçalar arasında meydana gelen sürtünme ile hem malzeme kaybı hem de performansta azalmalar meydana gelmektedir. Sürtünme kaybının büyük bir bölümü segman silindir çifti arasında meydana gelmektedir. Bu çalışmada, ham segman krom ve nikel malzemelerin kaplanması durumunda segman-silindir çifti arasındaki oluşan sürtünme ve aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel olarak, farklı sıcaklık, yük ve hızın sürtünme ve aşınma karakteristiği üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda; düşük devirlerde sürtünmeye maruz bırakılan silindir gömleği ve segman numunelerinin, daha yüksek devirlere göre daha fazla aşınmaya maruz kaldığı saptanmıştır. Ayrıca, farklı yüklerde yapılan deneylerde ise yük değeri arttıkça sürtünme ve aşınma miktarları artmıştır. Kaplamalar karşılaştırıldığında, nikel kaplamalı segmanın krom segmana göre daha düşük sürtünme katsayısı ve aşınma miktarı gözlemlenmiştir. Çalışmada silindir gömleğindeki en düşük aşınma miktarı; nikel kaplı segmanda 40N yük, 150 d/d ve 80 °C' de 0,11 g'dır. Silindir gömleğinde maksimum aşınma miktarı ise krom kaplı segmanda, 150 d/d' da ve 80°C 0,16 g' dır. Segman numunesindeki aşınma miktarları incelendiğinde; minimum aşınma miktarı 40N, 80 °C ve 150 d/d' da 0,02 g olarak tespit edilmiştir.

75

Investigation of the Friction and Wear Characteristics of Chrome-Nickel Coated Rings Between Ring Cylinder Pairs

Keywords
Friction,
Wear,
Piston ring,
Coated

Abstract: In internal combustion engines, friction losses are the major cause of power losses. These losses occur as a result of the friction of parts working in the engine to each other. With the friction between the parts working in the engines, both material loss and performance decrease occur. Most of the friction loss occurs between the piston ring and cylinder pair. In this study, the friction and wear behaviors between the ring-cylinder pair in case of coating raw ring chrome and nickel materials were investigated experimentally. In the experiments, the effects of different temperature, load and speed on the friction and wear characteristics were investigated. As a result of the experimental study; It was determined that cylinder liner and ring samples, which were subjected to friction at low speeds, were exposed to more wear than at higher speeds. In addition, in the experiments conducted at different loads, the amount of friction and wear increased as the load value increased. In the study, the lowest abrasion amount in the cylinder liner is 40N load in nickel piston ring, 0.11 g at 150 rpm and 80 °C. The maximum wear amount in the cylinder liner is 0.16 g at 150 rpm and 80 °C in the chrome piston ring. When the amount of wear in the ring sample is examined; the minimum wear amount has been determined as 0.02 g at 40N, 80 °C and 150 rpm.

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde petrol tüketiminin artmasına karşın petrol rezervleri giderek azalmaktadır. Bu durum yeni

enerji kaynaklarının araştırılmasına neden olmaktadır. Bu ihtiyaçların küçük bir kısmı yeniden kazanılabilecek olan yenilenebilir enerji ile giderilebilirken büyük bir kısmı ise halen geri kazanılamamaktadır. Geri kazanmayı arttırmak için mevcut sistemlerde iyileştirme

ve verimsel artış arayışlarını zorunlu kılmaktadır. Bunun için malzeme kalitesi, sürtünme özelliği, aşınma dayanımı ve mukavemet özellikleri günümüz üretim teknolojisinde önemli yer tutmaktadır[1-3].

İçten yanmalı motorlarda, piston segmanları ve silindir arasındaki aşınma ve sürtünmeyi azaltmak yakıt tüketimini azaltırken performansı da arttırmaktadır. Bunu yapmak için segmanlar farklı malzemelerle kaplanmıştır [4]. Gelişen teknolojiye rağmen otomotiv sektöründe halen sürtünme kaybı ve verim düşüktür. Verim kaybının bir değer sebebi de çalışan parçalar arasındaki malzeme uyumudur. Sürtünme kuvveti birbiri ile çalışan parçaların malzemelerine ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır [4]. Sürtünme kuvvetini optimum değerlere çekebilmek için araştırmalar hala sürmektedir. Aksi durumda sürtünme ve aşınma, parçalar arası boşluğun artmasına, istenmeyen hareket serbestliğine, hassasiyet kayıplarına ve malzemenin kırılmasına sebep olmaktadır [1-6].

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. Motorlarda mekanik sürtünme bölgeleri: Piston grubu, supap düzeneği, krank mili (yataklar) ve diğer donanımlardır (yağ pompası vb.). Piston-silindir çifti sürtünme kayıplarına en çok sebep olan parçalardan biridir [1,8,9].

Silindir içinde yanma sonrasında meydana gelen basınç nedeniyle segmanlar silindir duvarlarına doğru bir kuvvet ile yaslanmaktadır. Bu etkileyen kuvvet nedeniyle segman silindir çifti arasında sürtüne ve aşınma meydana gelmektedir. Segmanların motorlarda iki temel görevi vardır. Bunlar; yanma odasındaki oluşan yüksek yanma basıncının kaçmasına engellemek ve silindir gömleğindeki fazla yağı sıyırmaktır. Segmanların bu işlemleri yapabilmeleri için silindir gömleğine bir kuvvet ile baskı yapmaları gerekmektedir. Yapılan bu baskı kuvveti segman ve silindir gömleği arasında aşınmaya neden olmaktadır. Ayrıca silindir gömleğindeki maksimum aşınma miktarı ÜÖN'da (üst ölü nokta) oluşmaktadır. ÜÖN'da aşınmanın yüksek olmasının nedeni, yağlama diğer bölgelerden düşük seviyede gerçekleşmesi ve yanma olayı nedeniyle yağlama yağının yanmasından kaynaklanmaktadır [10].

Segmanların özelliklerine bakıldığında genellikle dökme demirlerden imal edildikleri bilinmektedir [11]. Segmanları yüksek sıcaklık ve basınç altında zorlu çalışma koşullarından korumak için farklı alaşım ve malzemeler ile kaplanmaktadır. 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 [12].

Ryk ve ark. [13], Segmandaki sürtünmeyi azaltmak için lazer kaplama yöntemini (LST) kullanmışlardır. Deney aşamasında kaplamalı ve kaplamsız segmanı kullanarak sürtünmeye etkisini araştırmışlardır. Deney sonucunda kaplamalı segmanda %25 daha az bir sürtünme görülmüştür. Simon ve ark. [14], Bir aşınma cihazında farklı oranlarda farklı yakıtlar kullanarak farklı malzemelerle sürtünme ve aşınmayı araştırmışlardır. Segman malzemesi olarak paslanmaz nitrür çelik (NSS) ile paslanmaz krom kaplı çelik kullanmışlar ve bu segmanlara krom nikel (CrN), PVD ile (DLC) kaplama yapmışlardır. Guizhen ve ark. [15], Düşük sıcaklıklarda katı yağlama ile yüzey karakteristiklerini ve tribolojik özellikleri araştırmışlardır. 1045 çeliğe iki çeşit kaplama uygulayıp dizel motorlarının silindirlerinde katı yağlama yaparak sürtünme ve aşınma karakteristiklerini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel sonuçlara göre iyon kaplı molibdene çift kaplı iyon-proton ile kaplayarak daha az sürtünme ve daha sınırlı aşınma elde etmişlerdir. Truhan ve ark. [16], çalışmalarında segman-silindir arasındaki sürtünme ve aşınmayı incelemiştir. Çalışmalarında segman-silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınmayı bir aşınma cihazında incelemiştir. Farklı yağları ve farklı sıcaklıklarda yük uygulamak suretiyle segman malzemesinin sürtünme davranışı araştırmışlardır. Ayrıca 100°C de sınır yağlamada ve farklı yağlama şartlarında sürtünmeyi etkisini incelemiştir. Aşınma testinde ise 240 N yük altında test etmişler ve aşınma miktarını ölçmüşlerdir. Liu [17], yapmış olduğu çalışmada, 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 segman aşınmasının silindirinkinden daha büyük olduğunu göstermiştir. Qu, ve ark. [18], yapmış oldukları araştırmada ağır hizmet tipi dizel motorlarının, piston segmanları ve silindir gömleklerinin sürtünme ve aşınma davranışlarını incelemiştir. Deneysel çalışma sonucunda, yüzey dokusunun farklı yüklerde sürtünme ve aşınma performansı üzerinde çeşitli etkiler yarattığını göstermektedir. Düşük yüklerde aşınma miktarı düşük iken yük miktarı arttıkça aşınma miktarını arttığını saptamışlardır. Ayrıca yüksek yükte 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 ve ark. [19], yapmış oldukları çalışmada, segmanı difüzyon yöntemi ile kaplamışlardır. 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. Sürtünme ve aşınmayı iyileştirmek için, segman difüzyon kaplama tekniği kullanılarak % 99,5 krom tozu ile kaplanmıştır. Bu

sayede segmanın, aşınma direncinden ötürü orijinal piston segmanına kıyasla daha yüksek bir sertlik sağlar. Bu sayede daha düşük aşınma miktarını olduğunu saptamışlardır. Hirapara ve ark. [20], çalışmalarında, piston segmanına molibden kaplamışlardır. Molibden kaplı piston segmanının aşınma direnci, sıradan dökme demir piston segmanlarına kıyasla yüksektir. Deneysel çalışmada motorun performans parametreleri ve egzoz emisyon değerlerini deneysel olarak araştırmışlardır. Sonuç olarak plazma püskürtme yöntemi kaplanan segmanın aşınma direnci daha düşük olduğunu saptamışlardır.

Bu çalışmada, motorlarda kullanılan segman numunesinin krom ve nikel kaplanmasıyla sürtünme ve aşınma üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler farklı devir, sıcaklık ve yük koşulları altında gerçekleştirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, motorlarda % 15'e varan mekanik kayıpların yaklaşık yarısını oluşturan piston-silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınma davranışları incelenmiştir[22,23]. Aşınma miktarını ve sürtünme katsayısını belirlemek için bir aşınma cihazı kullanılmıştır. Aşınma cihazı, motorlarda segman- silindir çiftinin çalıştığı gibi doğrusal bir hareket yaparak çalışmaktadır (Şekil 2.1).

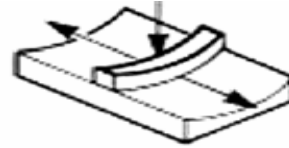


Şekil 2.1. Aşınma test cihazı

Deneyler farklı devir, sıcaklık ve yük şartlarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde her bir devir, sıcaklık ve yük koşulları için ayrı segman ve silindir gömleği numunesi kullanılmıştır. Deney düzeneğinde segman ve silindir gömleği direnç-termistör kontrolüyle 30°C ve 80°C sıcaklıklara çıkarılıp, deneyler bu sıcaklık şartlarında yapılmıştır. Seçilen bu sıcaklıklar motorun rejim ve yağlama sıcaklığıdır. Kaplanan malzemelerin mikro yapısı ve segman yüzeylerinin taranması için deneylerden sonra SEM (Scanning Electron Microscope, taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri alınmıştır. EDX analizi de alınarak elementel içerikler saptanmaya çalışılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu, odaklanmış bir elektron demeti ile numune yüzeyini tarayarak görüntü elde eden bir elektron mikroskobudur.

Aşınma deneyleri, gömlek ve segman numunesinin bağlanabildiği "karşılıklı tip aşınma" cihazında yapılmıştır. Kullanılan cihaz ASTM G-133 standardına uygundur. Aşınma cihazında segman ve gömlek

numunesi küçültülerek kullanılmıştır. Kullanılan segman numuneleri orijinal çapta olup 3mm genişliğindedir. Aşınma testlerinde aşınma miktarı ağırlık fark metodu ile belirlenmiştir. Bu nedenle hassas terazide gömlek aşınma miktarının ölçülebilmesi için gömlek numuneleri boyu 120 mm ve kalınlığı ise 5mm ebatlarında kesilmiştir. Deneylerde, her bir test için yeni segman ve gömlek numunesi kullanılmıştır. Şekil 2.2'de segman, gömlek numunesi ve hareket yönü şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Segman-gömlek numunelerinin şematik görünümü

Aşınma cihazında 1,5 kW'lık üç fazlı DC motor kullanılmıştır. Maksimum devri 2200 d/d' dir. DC motorun hız ayarlamasında, 2 faz girişli, üç faz çıkışlı, 1 ile 60 Hz aralığında frekansı ayarlanabilen LG marka sürücü kullanılmıştır. Gömlek numunesinin bağlandığı yatağı ısıtmak için, 20 W gücünde 3 adet fişek ısıtıcı kullanılmıştır. Sıcaklığın istenilen değerde sabit kalması için devre kesicili bir termostat kullanılmıştır. Termostat probu gömlek numunesine yakın bir yere bağlanmıştır.

Deneylerde aşınma miktarı ağırlık fark metodu ile tespit edilmiştir. Aşınma miktarı tespitinde 0,0001 g hassasiyetinde bir hassas terazi kullanılmıştır. Deneylerde gömlek ve segman numunesi deneylere başlamadan önce etanol ile temizlenip her iki numuneden etanolün buharlaşması için kurutma işlemi yapıldıktan sonra hassas terazide ölçülmüştür. Numunelerin ağırlıkları tespit edildikten sonra deneylere başlanmıştır. Her deney sonrası tekrar numuneler etanol ile temizlenip kurutulduktan sonra hassas terazide ölçülmüştür. Ölçülen değerlerin farkı alınarak aşınma miktarları belirlenmiştir.

Sürtünme katsayısının belirlenmesi için segman numunesine gelen normal yüklerin belirlenmesi gerekmektedir. Normal yükler, segman numunesinin bağlandığı taşıyıcı kola istenilen değerleri verecek şekilde ağırlıklar asılarak verilmiştir.

Aşınma cihazında sürtünme katsayısının belirlenmesi için bir üç eksenli kuvvet sensörü kullanılmıştır (Şekil 2.3 ve Tablo 2.1). Deneylerde her bir yük ve devir için 60 saniye boyunca çalıştırılarak bilgisayara aktarılmıştır. Verilerin bilgisayara aktarılması şarj amplifikatörü, sinyal şartlandırıcı, DAQ kart ve BNC kablolar kullanılmıştır. Verilerin sensörden okunabilmesi ve excele aktarılması için Labview programı kullanılmıştır. Veriler bilgisayara 1000 çevrim olarak aktarılmış olup bu verilerin ortalaması alınarak normal kuvvet saptanmıştır. Ortalaması alınan sürtünme kuvvetlerinin normal yüklerle bölünerek ortalama sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Çalışma devirleri 50,75,100, 125 ve 150 d/d, normal yükler için ise 40, 60, 80 ve 100 N olarak seçilmiştir. Motorlarda özellikle ilk hareket esnasında ve ÜÖN(üst ölü nokta) ve AÖN(alt ölü nokta) civarlarında

sınır sürtünme şartı hakim olduğundan deneyler esnasında özellikle düşük devir aralıkları seçilmiştir.



Şekil 2.3 Üç eksenli kuvvet sensörü (PCB2011)

Tablo 2.1. Kuvvet sensörü özellikleri (PCB2011)

Özellikler	Değerler
Z eksenli hassasiyeti (pC/N)	3,37
X ve Y eksenleri hassasiyetleri (pC/N)	7,19
Z eksenli maksimum ölçüm değeri (kN)	4,45
X ve Y eksenleri maksimum ölçüm değeri (kN)	2,22
Z eksenli maksimum kuvvet(kN)	5,87
X ve Y eksenleri maksimum kuvvetleri(kN)	2,94
Z eksenli maksimum moment (Nm)	18,98
X ve Y eksenleri maksimum moment (Nm)	17,63
Üst frekans limiti (kHz)	90
Sıcaklık limitleri (° C)	-73 +177

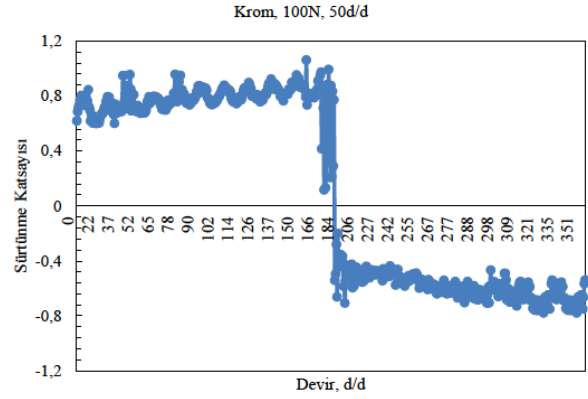
Ham segmanlar Senkron Metal kaplama A.S' de temin edilmiş olup, ham segmanların üzerine krom ve nikel kaplama tozu ile kaplanmıştır. Kaplama işleminin istenilen şartlarda gerçekleşmesi için segman tutucu aparatından faydalanılmıştır. Aparat sayesinde segman yüzeyine atılan kaplama kalınlığının bütün yüzeylerde eşit olması sağlanmıştır. Kaplama sonrası yüzeylere, yüzey pürüzlülüğünün istenen değerlerde olması için taslama işlemi uygulanmıştır. Segmanların nikel ve krom kaplanmasının amacı; malzemede meydana gelen aşınma miktarını ve sürtünme katsayılarını azaltmak, yüzeylerin korozyona karşı korumaktır[21].

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Sürtünme Deneyleri

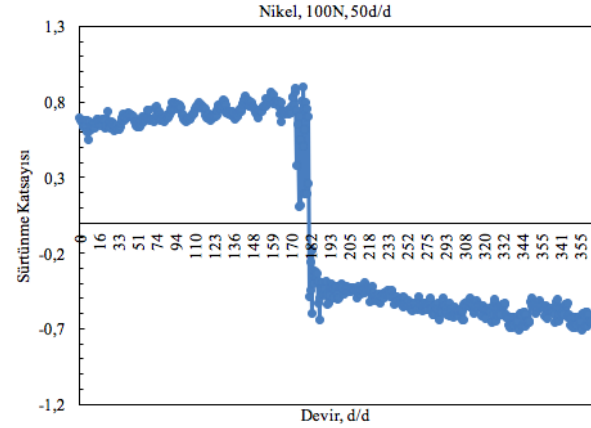
Sürtünme deneyleri, segman numunesine belirlenen yüklerin uygulanması ve segman numunesinin gömlek numunesi yüzeyine teması ile uygulanmıştır. Deneyler, segman numunesi sabit, gömlek numunesi ise hareketli bir tabla üzerine yerleştirilmiş olup segman-silindir çifti arasında gerçekleştirilmiştir.

İçten yanmalı motorlarda ilk hareket esnasında ÜÖN bölgesinde sınır sürtünme şartları hakim olduğundan deneyler düşük devir aralıkları seçilmiştir. Şekil 3.1 'de krom kaplı segmanın 100N ve 50d/d'daki sürtünme katsayısı değişim grafiği görülmektedir. Şekil incelendiğinde sürtünme katsayısı artı ve eksi değer aldığı görülmektedir. Bunun nedeni ileri harekette sürtünme kuvvetinin artı ölçülmesi, geri harekette ise bu değerinin eksi ölçülmesidir. Şekilde sürtünme katsayısı pistonun ÜÖN' larda yön değiştirmek için durakladığı ve hızın sıfır olması nedeniyle sürtünme katsayısı artmaktadır. Çünkü sürtünme katsayısı direkt olarak hıza bağlı olarak değişmektedir. İçten yanmalı motorlarda da pistonun ÜÖN ve AÖN' larda yön değiştirmek için hızın sıfıra inmesi sürtünme miktarının artmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.1. Krom kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi

Şekil 3.2.'de nikel kaplı segmanın sürtünme değişimi gösterilmiştir. Şekil incelendiği takdirde sürtünme katsayısı pistonun ÜÖN'larda yön değiştirmek için durakladığı anda sürtünme katsayısı artmaktadır. Nikel kaplı segmanda da krom kaplı segman gibi ÜÖN ve AÖÜ' larda sınır sürtünme şartları hakim olmaktadır.



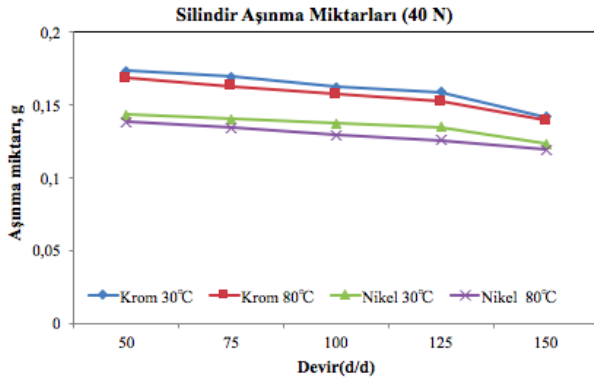
Şekil 3.2. Nikel kaplı segmanın sürtünme katsayısı değişimi

3.2. Aşınma Deneyleri

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.

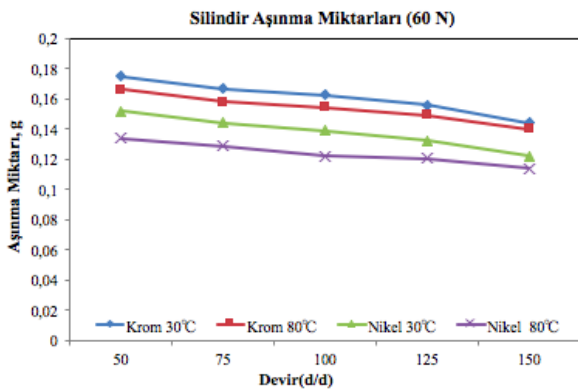
Şekil 3.3.'te bir silindir numunesinin 40N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Uygulanan yük miktarı düşük olması gömlek ve segman arasında dikey kuvvet etkisi daha az olduğu için aşınma miktarları daha düşük seviyede olmuştur. Silindirde aşınma miktarı en düşük nikel kaplı segman, 80°C ve 150 d/d' da elde edilmiştir. Nikel kaplı segmanda krom kaplı segmana göre tüm devirlerde ortalama %15 oranında azalmalar görülmüştür. Ayrıca sıcaklık arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır. Motorun rejim sıcaklığı olan 80°C' de aşınma miktarı 30°C' ye göre daha düşüktür. Motorun ilk çalıştırma esnasında ısınma periyoduna kadar geçen sürede aşınma miktarının daha fazla olduğu

anlaşılmaktadır. Yüksek sıcaklıkta aşınma miktarının düşme nedeni; yağın içerisindeki aşınmayı azaltıcı katkıları, yüzey sıcaklığının artışı ile sürtünen yüzeyler arasında fiziksel ve kimyasal etkileşime daha çabuk girdiği düşünülmektedir[24].



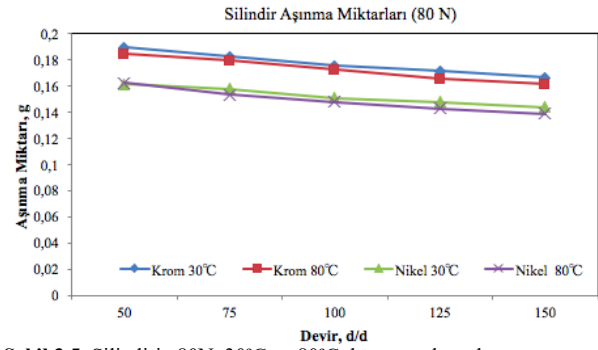
Şekil 3.3. Silindirin 40N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

Şekil 3.4.'te bir silindir numunesinin 60N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Şekil incelendiği taktirde 40N' a göre yük miktarı arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır. Devir sayısı arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır. Bu azalma izafi hareket eden parçalar arasında yağlama rejimleri ile açıklanabilir. Hızın artması ile yağlama rejiminin hidrodinamik yağlamaya geçmektedir. Ayrıca yüzey pürüzlülüklerinin etkisi ile oluşan adhezif etki azalmakta ve böylece sürtünme katsayısında belirgin bir azalma görülmektedir. Kromun aşınma miktarı 150 d/d'da ve 80°C 0,14 g iken nikelin ise aynı devirde 0,11 g'dır.



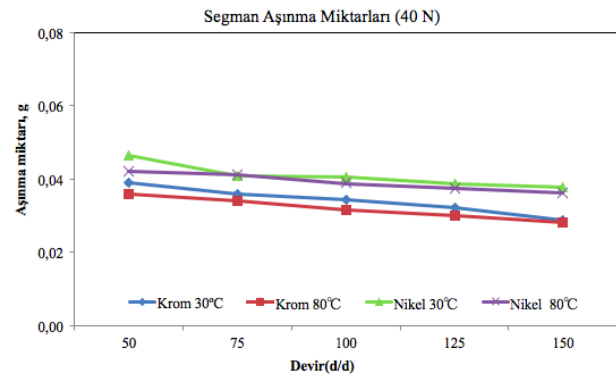
Şekil 3.4. Silindirin 60N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

Şekil 3.5.'te bir silindir numunesinin 80N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Şekil incelendiği taktirde yük miktarı arttıkça silindirde oluşan aşınma miktarı artmaktadır. 40N ve 60N göre en fazla aşınma miktarı 80N yük altında elde edilmiştir. Ayrıca aşınma miktarı üzerinde devir etkilidir. Devir artışı ile birlikte aşınma miktarı da azalmaktadır. Nikelin aşınma miktarı krom segmana göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kromun aşınma miktarı 150 d/d'da ve 80°C 0,16 g iken nikelin ise aynı devir ve sıcaklıkta 0,13 g'dır. Krom segmanın nikel segmana göre tüm devirler için ortalama %15 oranında silindir aşınma miktarlarında azalmalar tespit edilmiştir.



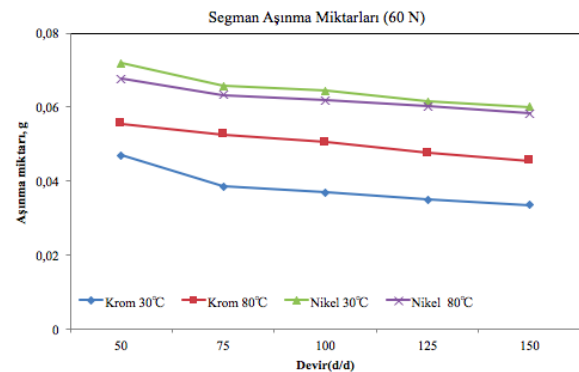
Şekil 3.5. Silindirin 80N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

Şekil 3.6.'da segman numunesinin 40N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Nikelin aşınma miktarı krom segmana göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Aşınma miktarındaki bu değişim malzemelerin sertliği ve yüzey pürüzlülüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kromun aşınma miktarı 150 d/d'da ve 80°C 0,02 g iken nikelin ise aynı devirde 0,03 g'dır. Maksimum aşınma miktarında azalma oranı 150 d/d ve 80°C' de %20'dir.



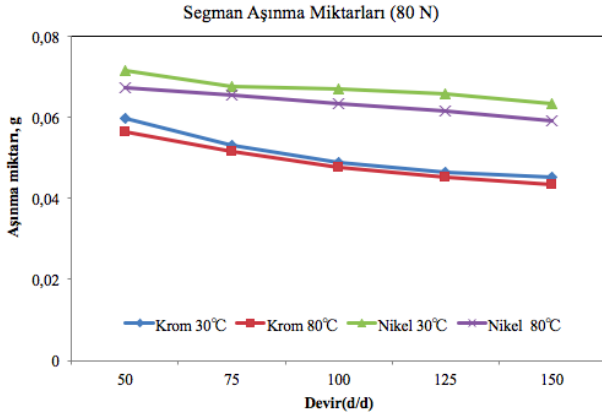
Şekil 3.6. Segmanın 40N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

Şekil 3.7.'de segman numunesinin 60N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Şekil incelendiği takdirde krom kaplı segmanın aşınma miktarı nikelin aşınma miktarına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kromun aşınma miktarı 150 d/d'da ve 80°C 0,04 g iken nikelin ise aynı devirde 0,05 g'dır. Ayrıca grafik incelediğinde devir sayısı arttıkça aşınma miktarı azalmaktadır. Maksimum aşınma miktarında azalma oranı 150 d/d ve 80°C' de %21'dir.



Şekil 3.7. Segmanın 60N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

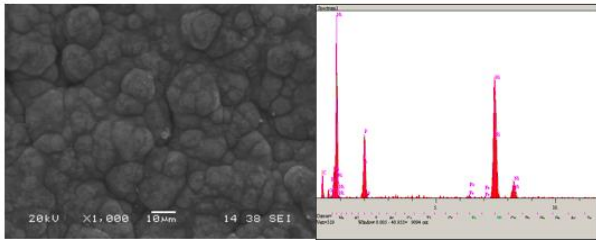
Şekil 3.8.'de segman numunesinin 80N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma grafiği verilmiştir. Kromun aşınma miktarı nikel segmana göre daha düşük olduğu görülmektedir. Kromun aşınma miktarı 150 d/d'da ve 80°C 0,04 g iken nikelin ise aynı devirde 0,05 g'dır. Motor devri arttıkça yağlama rejimi değişmesinden kaynaklı olarak aşınma miktarında azalmalar tespit edilmiştir. Maksimum aşınma miktarında azalma oranı 150 d/d ve 80°C' de %25'dir.



Şekil 3.8. Segmanın 80N, 30°C ve 80°C deney şartlarında aşınma miktarı

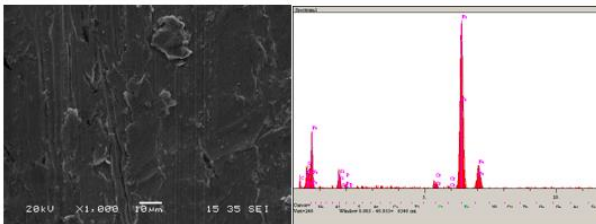
3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Elementel Analiz incelemeleri (EDX)

Deneysel çalışma için gerekli olan segman kaplama maddeleri olan nikel ve krom kaplama tabakalarının segman üzerindeki mikro yapıları ve elementel analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. Şekil 3.9.'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.



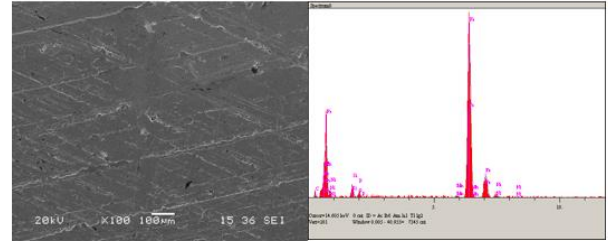
Şekil 3.9. Nikel kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi

Şekil 3.10.'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.



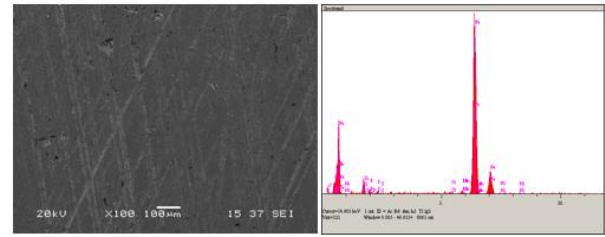
Şekil 3.10. Krom kaplamanın SEM görünüşü ve EDX analizi

Şekil 3.11.'de Nikel kaplanmış segmanın silindirik yüzeyinde meydana getirdiği aşınmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir. SEM görüntüsüne bakıldığında, gömlek numunesine etkileyen yük ve arttıkça aşınma miktarı artmaktadır. Aşınma, gömlek numunesinde honlama çizgilerinin yok olmasına veya azalmasına neden olmaktadır. Honlama çizgilerinin yok olması yağın, aşınan yüzeyler arasında depolanmasını engellemektedir. Bu etki motorlardaki aşınma miktarını arttırmaktadır. Silindirik gömleği numunesi içerisinde analize göre fazlaca oranda Fe, Si, P, C, Ni, Mn bulunmaktadır.



Şekil 3.11. Nikel kaplanmış segmanın silindirik yüzeyinde meydana getirdiği aşınmasının SEM görünüşü ve EDX analizi

Şekil 3.12.'de krom kaplanmış segmanın silindirik yüzeyinde meydana getirdiği aşınmanın SEM görünüşü ile elementel analizi verilmiştir.



Şekil 3.12. Krom kaplanmış segmanın silindirik yüzeyinde meydana getirdiği aşınmasının SEM görünüşü ve EDX analizi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı malzeme kaplı segman numuneleri ile silindirik 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, 80N ve 100N 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. Krom kaplı segmanda yapılan deneysel çalışma sonucunda, 100 N yük ve 50d/d'da ortalama sürtünme

katsayısı 0,75'dir. Nikel kaplı segmanda ise aynı şartlar altında ise sürtünme katsayısı ortalama 0,69'dır.

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 rejiminden karışık yağlama rejime geçmesinde neden olarak motor ömrünü azaltmaktadır. Aşınma miktarı hızın ve sıcaklığın artması ile azalmaktadır. Silindir aşınma miktarı; krom kaplı segmanda minimum aşınma miktarı 40N, 150 d/d ve 80 °C'de 0,13 g'dır. Nikel kaplı segmanda yapılan deneylerde silindir gömleğindeki minimum aşınma miktarı ise 40N, 150 d/d ve 80 °C'de 0,11 g'dır. Segman numunesinde elden edilen sonuçlara göre minimum aşınma miktarları 40N, 80 °C ve 150 d/d'da 'krom ve nikel kaplı segmanlarda sırasıyla 0,02 g ve 0,03 g'dır.

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.
- Yük arttıkça tüm malzemelerde sürtünmenin arttığı görülmektedir.
- İçten yanmalı motorlarda rejim sıcaklığına doğru geldikçe optimum kayıplar meydana gelip, sürtünme azalmıştır.
- Silindir gömleği içerisindeki honlama çizgileri zamanla azalmış, bu da yüzeyde yağ tutulma kabiliyetini azaltmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Akgündüz M. Farklı Malzemelerle Kaplanmış Segman-Silindir Çiftinin Sürtünme ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi: Yüksek Lisans Tezi. Lisansüstü Eğitim Enstitüsü: Sakarya: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, 2019.
- [2] Priest M, Taylor, C.M., Automobile engine tribology-approaching the surface. *Wear*. 2000;241, 193–203.
- [3] Cesur İ, Ayhan V, Parlak A. Farklı Yakıt Karışımlarının Segman-Silindir Çifti Arasındaki Sürtünme ve Aşınma Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi. 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu. Sakarya. 2008.
- [4] Cesur İ. Farklı yakıt karışımlarının segman-silindir çifti arasındaki sürtünme ve aşınma özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Sakarya. 2008.
- [5] Cesur I, Ayhan V, Parlak A, Savas O, Aydın Z. The Effects of Different Fuels on Wear Between Piston Ring and Cylinder, *Advances in Mechanical Engineering*. Volume 2014. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/503212>.

- [6] Bayvas Ş. Genel Mekanik. Meb. Ankara. 1978.
- [7] Hutchings I.M. Tribology: friction and wear engineering materials. Edward Arnold. 1992. London.
- [8] Andersson BS. Company perspectives in vehicle tribology-volvo. Leeds-lyon symposium on tribology-vehicle tribology, Elsevier Science. 18, 503-506. 1992.
- [9] Ruddy BL, Economou PN, Dowson D. A review of studies of piston ring lubrication. *Proc. 9th Leeds-Lyon Symp. on tribology: Tribology of Reciprocating Engines*, Paper 5, 1, 109-121. 1982.
- [10] Hazar H. Bir dizel motor silindir yüzeyinin seramik malzeme ile kaplanarak aşınma davranışının deneysel incelenmesi. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Fırat Üniversitesi. Elazığ. 2004.
- [11] Andersson P, Tamminen J, Sandström CE. Piston ring tribology, A literature survey. VTT Tiedotteita. Finland. 2002.
- [12] Hazar H, Öner C. CrN kaplamanın dizel motor silindir gömleği aşınmasına etkisi. *Mühendis ve Makine*: 2007. 48, 14-18.
- [13] Ryk G, Etsion I. Testing piston rings with partial laser surface texturing for friction reduction. *Wear*. 2006: 261 792–796.
- [14] Simon CT, Hong G. Tribological characteristics and surface interaction between piston ring coatings and a blend of energy-conserving oils and ethanol fuels. *Wear*, 2003: Volume 255. Issues.1276-1285.
- [15] Grudzys E, Meskinis S, Juraitis A. Influence of WC/Co Concentration on Structure and Mechanical Properties of the Thermally Sprayed WC/Co-NiCrBSi Coatings. *Materials Science*. Vol:15 No.1. 2009.
- [16] Truhan J., Qu J, Blau P J. A ring test to measure friction and wear of heavy duty diesel engine piston rings and cylinder liners using realistic lubricants. University of Tennessee. Knoxville TN 37996, USA.
- [17] Liu, CS. Experimental investigation of influence of different surface textures on wear characteristics of straight type diesel engine cylinders. *Applied Mechanics and Materials*.2014: 443, 141-144.
- [18] Qu, SH, Yang Z, 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*. Istanbul. Turkey. 2017.
- [19] Abdullah SE, Muchtar A, Ariffin AK. Friction reduction in compressed natural gas direct injection engine using piston rings with diffusion chromium coating. *Journal of applied sciences*. 2010:10, 462-470.
- [20] Hirapara BB, Sharma HR, Ranjan RK., Patel PD. 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*. 2015. 1, 270-275.
- [21] Woydt, M. ve Ebrecht, J., Testing friction and wear of the tribosystem piston ring and cylinder liner outside of engines, *Tribotest*, 14, 113–126, 2008.

- [22] Taylor, C.M., Automobile engine tribology— design considerations for efficiency and durability, *Wear* 221,1–8, 1998
- [23] Taylor, C.M, *Engine Tribology*. Elsevier Science Publishers, B.V.J., 1993.
- [24] Mcqueeen, J.S., Gao, H., Black E.D., Gangopadhyay, A.K., Jensen, R.K., Friction and wear of tribofilms formed by zinc dialkyl dithiophosphate antiwear additive in low viscosity engine oils, *Tribology International*, 38, 289–297, 2005.