



İçten Yanmalı Motorlarda Segman-Silindir Gömleği Arasındaki Yağlama Yağına Yakıt Karışmasının Aşınmaya Etkilerinin İncelenmesi

Ömer SAVAŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye, osavas@yildiz.edu.tr

Öz

Yapılan çalışmada içten yanmalı motorlarda segman-silindir gömleği arasındaki yağlama sistemine yakıt karışımının aşınmaya etkileri incelenmiştir. Aşınma üzerine etkisi olduğu düşünülen yağlayıcı tipi, aşınma mesafesi, kirlenici çeşidi, kirlenici oranı, yük, devir hızı ve sıcaklık parametreleri üç seviyeli, silindir gömleği yüzey durumu parametresi iki seviyeli olarak seçilmiştir. Aşınma miktarlarının ölçümünde ağırlık farkı yöntemi kullanılmıştır.

Sonuçların irdelenmesinde Taguchi istatistiksel yönteminden faydalanılmıştır. L187312 ortogonal serisi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda segman-silindir gömleği arasında yağlayıcı olarak kullanılan yağlara yakıt karışımının aşınma miktarını %45 oranda arttırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İçten Yanmalı Motorlar, Gemi Yağları, Kütle Kaybı, Segman-Gömlek Çifti, Taguchi.

Investigation of the Effects of Wear Between Piston Ring and Cylinder Liner of Internal Combustion Engines in case of Mixing of Fuel Oil into Lubricating Oil

Abstract

In this study, the effects of the fuel with lubrication oil mixture were investigated on the wear of the piston ring and cylinder liner in internal combustion engine. Lubrication oil type, wear distance, fuel type and ratio, load, engine speed and temperature parameters which are considered to have an effect on the wear loss are selected as three levels. Cylinder liner surface condition parameter is selected as two levels. Mass loss measurements were done by the difference in weights before and after tests.

Taguchi statistical method was used in the analysis of the results. L187312 orthogonal series was selected. The results showed that mixing of fuel oil into the lubrication oil increased the mass loss by 45%.

Keywords: Internal Combustion Engine, Marine Lubricant, Mass Loss, Piston Ring-Cylinder Liner Pair, Taguchi.

1. Giriş

Malzeme bilimi her geçen gün gelişmekte olmasına rağmen halen malzemeden istenilen özellikler sağlanamamaktadır. Makina parçalarının kullanılmaz hale gelmesinin başlıca nedeni aşınma olarak görülmektedir. Bunun yanında aşınma sonucunda meydana gelen enerji kayıpları ekonomik olarak önemli maddi kayıplara sebep olmaktadır. Aşınma kayıplarının dikkate alınması gemi dizel motorlarında performans ölçümü ve enerjinin verimli kullanılması açısından önemlidir [1]. Bu nedenlerden dolayı içten yanmalı motorlarda sürtünmeye maruz kalan parçaların yağlanması hem parçaların kullanım ömrünü arttırmakta hem de sürtünme kuvvetini düşürmektedir [2, 3].

İki yüzey arasında gerçekleşen sürtünme kuru, sıvı ve sınır sürtünme şeklinde üç farklı şekilde meydana gelmektedir. Kuru sürtünme; iki kuru parçanın temas yüzeylerinde meydana gelen sürtünmedir ve yüzeylerdeki tepelerin takılması sonucu oluşan direnç olarak tanımlanmaktadır. Kuru sürtünme katsayısını, sürtünen yüzeylerin cinsi, yüzey pürüzlülüğü, yüzeyler arasında gelişen partiküller ve titreşim gibi faktörler etkiler. Sıvı sürtünme; temas eden yüzeyleri bir sıvı yardımı ile ayrılması sonucu oluşan sürtünme şeklidir. Hidrodinamik yağlama olarak da isimlendirilen bu sürtünme mekanizmasında iki yüzey arasında bir kaygan yağ filmi oluşur ve parçaları birbirine temas etmeden bu yağ filmi üzerinde hareket eder. Kullanılan sıvının viskozitesi, sürtünen yüzeyler arasındaki yağ basıncı, piston hızı gibi faktörler bu hidrodinamik sürtünme katsayısını etkileyen parametrelerdir. Sınır sürtünme ise, kısmen sıvı kısmen kuru sürtünme şartlarının etkili olduğu sürtünme şeklidir. Başka bir ifade ile sıvı sürtünmenin yetersiz kaldığı veya yağ filminin bozulduğu durum olarak düşünülebilir [4]. Yapılan birçok çalışmada hidrodinamik yağlamanın kuru

yağlamaya göre aşınma ve sürtünme kuvvetleri bakımından daha iyi olduğunu göstermiştir [5, 6].

Çalışma şartlarında yük ve hızın fazla olması veya yağın özelliklerini kaybetmesi yağ filminin incelmeye sebep olur ve yağ filmi bazı noktaları kopar ve yüzey pürüzlüğünden dolayı çıkıntılar oluşur. Bu çıkıntılarda metal-metale sürtünme gerçekleştiği için sürtünme kuvvetleri ve aşınma miktarını artırır [7-10]. Ortaya çıkan bu aşınma zamanla segmanların sızdırmazlık özelliğini kaybetmesine neden olur ve yağa yakıt karışır [8].

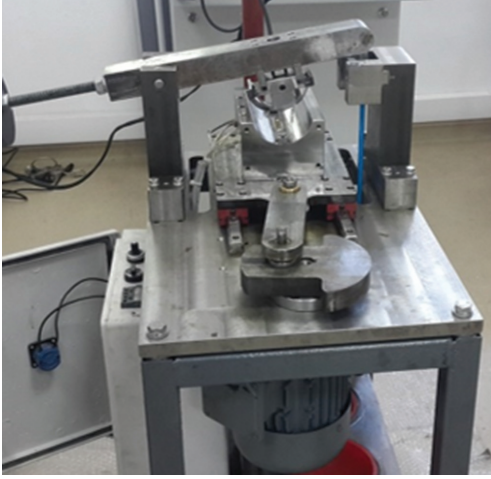
Yapılan bu çalışmada içten yanmalı motorlarda segman-silindir gömleği arasında oluşan sürtünme kayıpları araştırılması amaçlanmıştır. Deneylerin yapımında içten yanmalı motor düzeneğine benzer bir aşınma test sistemi laboratuvar şartlarında kullanılmıştır. Deneylerde gemilerde kullanılan yağlar ve bu yağlara yakıt karışımının aşınma kayıplarına etkisi farklı yük, devir ve sıcaklıklardaki etkileri Taguchi deneysel yaklaşımı kullanılarak incelenmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

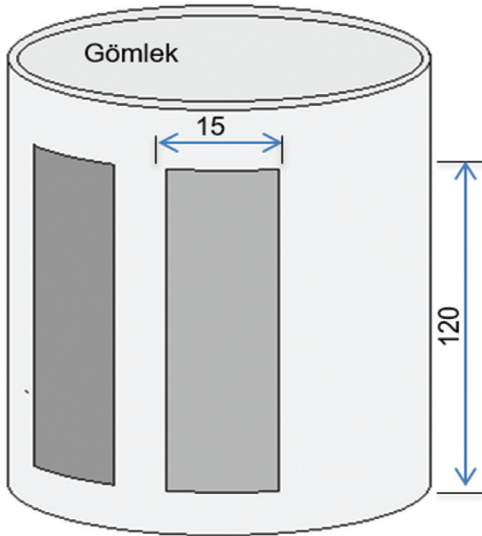
Deneylerde daha tutarlı sonuçların alınması için gerçeğe yakın şekilde gömlek-segman sürtünme sistemi dizayn edilmiştir. Sistem 0,75 kW gücüne sahip elektrik motoru ile hareket alan ve krank mekanizması ile lineer gel git hareketi yapan tablodan oluşmuştur. Aşınma deneyleri için kullanılan deney düzeneği Şekil 1'de verilmiştir [11]. Silindir gömleğin yüzey durumunun aşınmaya etkisinin belirlenmesi amacı ile honlanmamış ve honlanmamış iki farklı silindir gömleği kullanılmıştır. Deney numuneleri Şekil 2'de görüldüğü gibi 120x15x2 ebatlarında fireze yardımı ile gömlekler üzerinden alınmıştır.

Aşınma Kayıplarının ölçümünde "ağırlık farkı metodu" kullanılmıştır. Ağırlık ölçümlerinde $\pm 0,0001$ gr hassasiyete sahip AND marka terazi kullanılmıştır.

Numuneler deneylerden öncesi ve sonrası etanol ile yıkanmıştır ve en az üçer kez tartılmıştır. Yağlayıcı olarak gemi dizel motorlarında yaygın olarak kullanılan ticari marka mobilgard 570, mobilgard 430 ve mobilgard 300 yağlama yağı kullanılmıştır.



Şekil 1. Aşınma Deney Düzeneği Görüntüsü



Şekil 2. Segman-Gömlek Çifti Görüntüsü ve Ölçüleri

Deneylerde yağa yakıt karışımının (kirleticinin) etkisini belirlemek amacı ile %1, %5 ve %10 oranlarında intermediate fuel oil (IF380), Marine diesel oil (MDO) ve bunların karışımları kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada piston-segman arasındaki sürtünmeye etki eden parametrelerin etki derecelerini ve optimum parametrelerin tespiti amacı ile silindir gömleğinin yüzey durumu, aşınma mesafesi, yağlayıcı tipi, kirletici karışım oranı, kirletici yakıt cinsi, yük, devir hızı ve sıcaklık parametreleri belirlenmiştir. Çalışmada deney parametresi olarak seçilen yol, yağlayıcı tipi, kirletici karışım oranı, kirletici yakıt cinsi, yük, devir hızı ve sıcaklık faktörleri 3 seviyeli olarak seçilmiştir. Çalışmada silindir gömleğinin yüzey durumunun aşınmaya etkisini belirlemek amacı ile yüzey durumu için iki farklı seviye belirlenmiştir. Deneylerde 1. seviye için honlanmamış silindir gömleği, 2. seviye için honlanmış silindir gömleği kullanılmıştır. Tablo 1'de deney parametreleri ve seviyeleri verilmiştir.

Tablo 1'de belirlenen faktör ve seviyeleri göz önüne alınarak bütün deney kombinasyonları denenmesi durumunda tabloda 4374 deney yapılması gerekmektedir. Bu kadar yüksek sayıda deney yapılması maliyetler ve zaman kayıplarının yanında çok sayıda deneysel hata yapılmasına neden olmaktadır. Bu hatalar sonuçların tespitini zorlaştırmaktadır. Bu sorunlar göz önünde bulundurularak yapılan bu çalışmada Taguchi deneysel yaklaşımından faydalanılmıştır. Deneysel reçetelerin hazırlanmasında Tablo 1'de belirlenen parametre sayısı ve seviyelerine uygun L187312 ortogonal serisi kullanılmıştır. Bu şekilde deney sayısı 4374'den 18'e düşürülmüştür. Tablo 2'de L187312 ortogonal serisi ve deney reçeteleri görülmektedir.

Tablo 1. Parametreler ve Seviyeleri

| Sütun | Parametreler | Seviyeler | | |
|-------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| A | Silindir Gömleği yüzey durumu | Honlanmamış | Honlu | |
| B | Yol, m | 350 | 750 | 1200 |
| C | Yağlayıcı Tipi | Mobilgard 570 | Mobilgard 430 | Mobilgard 300 |
| D | Karışım Oranı | 1% | 5% | 10% |
| E | Kirletici Cinsi | IF380 | MDO | IF380+MDO |
| F | Yük, N | 50 | 75 | 100 |
| G | Devir, d/d | 40 | 60 | 80 |
| H | Sıcaklık, °C | 40 | 80 | 120 |

Tablo 2. $L_{18}7^{312}$ Ortogonal Serisi ve Deney Reçeteleri

| Deney no | Yüzey durumu | Yol, M | Yağlayıcı tipi | Karışım oranı | Yük, N | Devir d/d | Sıc. °C | Kirletici cinsi | Ort. Ağırlık Kaybı, gr | S/N |
|----------|--------------|--------|----------------|---------------|--------|-----------|---------|-----------------|------------------------|-------|
| 1 | Honsuz | 350 | Mobilgard 570 | 1% | 50 | 40 | 40 | IF180 | 0,0041 | 47,77 |
| 2 | Honsuz | 350 | Mobilgard 430 | 5% | 75 | 80 | 70 | IF380 | 0,0048 | 46,43 |
| 3 | Honsuz | 350 | Mobilgard 300 | 10% | 100 | 120 | 100 | MDO | 0,0046 | 46,79 |
| 4 | Honsuz | 750 | Mobilgard 570 | 10% | 50 | 80 | 70 | MDO | 0,0057 | 44,85 |
| 5 | Honsuz | 750 | Mobilgard 430 | 1% | 75 | 120 | 100 | IF180 | 0,0041 | 47,81 |
| 6 | Honsuz | 1200 | Mobilgard 300 | 5% | 100 | 40 | 40 | IF380 | 0,0047 | 46,52 |
| 7 | Honsuz | 1200 | Mobilgard 570 | 5% | 75 | 40 | 100 | MDO | 0,0051 | 45,82 |
| 8 | Honsuz | 1200 | Mobilgard 430 | 10% | 100 | 80 | 40 | IF180 | 0,0061 | 44,25 |
| 9 | Honsuz | 750 | Mobilgard 300 | 1% | 50 | 120 | 70 | IF380 | 0,0027 | 51,30 |
| 10 | Honlu | 350 | Mobilgard 570 | 5% | 100 | 120 | 70 | IF180 | 0,0040 | 47,87 |
| 11 | Honlu | 350 | Mobilgard 430 | 10% | 50 | 40 | 100 | IF380 | 0,0032 | 49,83 |
| 12 | Honlu | 350 | Mobilgard 300 | 1% | 75 | 80 | 40 | MDO | 0,0022 | 53,36 |
| 13 | Honlu | 750 | Mobilgard 570 | 10% | 75 | 120 | 40 | IF380 | 0,0043 | 47,39 |
| 14 | Honlu | 1200 | Mobilgard 430 | 1% | 100 | 40 | 70 | MDO | 0,0034 | 49,44 |
| 15 | Honlu | 750 | Mobilgard 300 | 5% | 50 | 80 | 100 | IF180 | 0,0041 | 47,82 |
| 16 | Honlu | 1200 | Mobilgard 570 | 1% | 100 | 80 | 100 | IF380 | 0,0037 | 48,65 |
| 17 | Honlu | 750 | Mobilgard 430 | 5% | 50 | 120 | 40 | MDO | 0,0045 | 47,05 |
| 18 | Honlu | 1200 | Mobilgard 300 | 10% | 75 | 40 | 70 | IF180 | 0,0046 | 46,79 |

Taguchi yaklaşımına göre sinyal- gürültü oranlarını belirlenmesinde Denklem 1'de verilen "en düşük en iyidir" performans karakteristiği kullanılmıştır.

Burada y_i =Performans karakteristiğinin

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (1)$$

i. gözlem değeri n; denemedeki test sayısı, y=gözlem değerlerinin ortalamasıdır.

3. Sonuçlar

Deneyler Tablo 2’de verilen deney reçeteleri dikkate alınarak yapılmıştır. Her bir reçete en az üçer defa tekrarlanmıştır. Ağırlık kayıpları deney öncesi ve deney sonrası alınan ağırlık farkı alınarak elde edilmiştir. Alınan üç farklı ağırlık farkları “en düşük en iyidir” kalite performans karakteristiği kullanılarak hesaplanan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları her bir reçete için hesaplanmıştır. Yapılan deneyler sonrasında her bir deney reçetesi için alınan ağırlık kayıpları, onların ortalamaları ve S/N oranları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2’de deneylerden elde edilen ağırlık kayıplarının 0,0022 ile 0,0057 gr arasında değişim gösterdiği görülmektedir. En düşük ağırlık kaybı gömlek yüzeyi honlanmış, %1 MDO ile kirletilmiş mobilgard 300 sistem yağının kullanıldığı, 75 N yük altında, 80 d/d dönme hızında, 40 °C’de ve 350 m sürtünme mesafesinde yapılan 12. deney numunesinde elde edilmiştir. En yüksek ağırlık kaybı ise gömlek yüzeyi honlanmamış, %10 MDO+IF380 yakıt ile kirletilmiş mobilgard 430 yağlama yağının kullanıldığı, 100 N

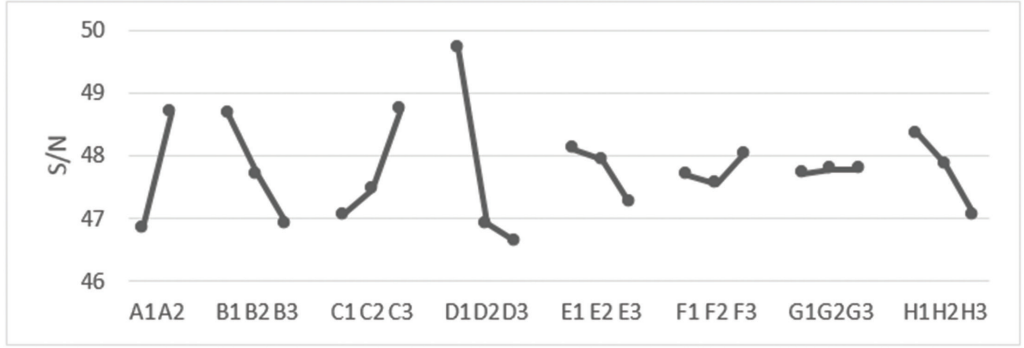
yük altında, 80 d/d dönme hızında, 40 °C’de ve 1200 m aşınma mesafesinde yapılan 8. deney numunesinde elde edilmiştir.

Tablo 3’de S/N oranları kullanılarak hazırlanmış varyans tablosu verilmiştir. Tabloda devir ve sıcaklık faktörlerin etkileri düşük olduğu için pooling yapılarak hesaplara dahil edilmemiştir. Tabloda ağırlık kayıpları üzerinde en etkili faktörün sırası ile % 0,05 güven düzeyi için kirletici oranı, silindir yüzey durumu, yağlayıcı tipi ve kayma mesafesi olduğu görülmektedir. Kirletici cinsi ve uygulanan yükün önemsiz düzeyde ağırlık kaybı üzerine etkili olduğu görülmektedir. Ayrıca tabloda aşınma üzerine kirletici oranının %45, yüzey durumu %20, yağlayıcı tipi ve sürtünme mesafesi %12, kirletici cinsi %7, yük %3 ve diğer faktörler %1 altında etkiye sahip olduğu görülmektedir.

En düşük ağırlık kaybının elde edilmesi için optimum deney parametrelerin belirlenmesi amacı ile her bir parametrenin her bir seviyesinin ortalama S/N oranları alınarak, parametrelerin grafiksel gösterimi elde edilmiştir. Şekil 3’te parametrelerin grafiksel gösterimi yer almaktadır.

Tablo 3. Varyans Analizi (ANOVA)

| | Değişim Kaynağı | Kareler Toplamı S | Serbeslik Derecesi f | Kareler Ortalaması | Teorik F F _(hesap) | İstatistiksel F F _(tablo) | % |
|---|-----------------|-------------------|----------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------------------------|----|
| A | Yüzey durumu | 15,39 | 1 | 15,39 | 16,59 | 7,7 | 20 |
| B | Mesafe | 9,35 | 2 | 4,68 | 5,04 | | 12 |
| C | Yağlayıcı tipi | 9,50 | 2 | 4,75 | 5,12 | 5,14 | 12 |
| D | Kirletici oranı | 34,72 | 2 | 17,36 | 18,72 | | 45 |
| E | Yük | 2,43 | 2 | 1,21 | 1,31 | | 3 |
| F | Devir# | 0,73 | 2 | 0,36 | 0,39 | | 1 |
| G | Sıcaklık# | 0,02 | 2 | 0,01 | 0,01 | | 0 |
| H | Kirletici cinsi | 5,21 | 2 | 2,61 | 2,81 | | 7 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | Toplam | 76,60 | 11,00 | 6,96 | | | |
| | e | 5,56 | 6 | 0,93 | | | 7 |



Şekil 3. Parametrelerin Grafiksel Gösterimi

Şekil 3'te piston segman sürtünmesi sonucunda en düşük ağırlık kaybının $A_2B_1C_3D_1E_1F_3G_2H_1$ şartlarında sağlanabileceğini göstermektedir. Optimum deney şartları için parametre seviyeleri;

A_2 :Silindir gömleğin iç yüzeyinin honlanmış olması

B_1 :350 m aşınma mesafesi

C_3 :Mobilgard 300 Sistem yağı

D_1 :Kirlenici karışımın en düşük seviye olması, %1 seviyesi

E_1 :Yükün en düşük seviyede, 50 N

F_3 :Dönme hızı yüksek seviyede, 80 d/d

G_2 :Sıcaklığın optimum seviyede, 70 °C

H_1 :Kirlenici yakıt IF380 olması durumunda daha az ağırlık kaybı oluşacağını göstermektedir.

Taguchi yaklaşımı, yapılan deneylerin doğru yapıp yapılmadığını kontrol etmek amacı ile optimum şartlara göre doğrulama deneyi yapılması ve sonucun optimum şartlara göre hesaplanan tahmini güven arasında olması gerektiğini söylemektedir [12]. Tablo 4'te optimum şartlara göre hesaplanan güven aralığı ve doğrulama deney sonucu verilmiştir.

Tablo 4'te optimum deney şartlarına göre yapılacak doğrulama deneyinde alınan ağırlık kaybının 0,0019 ile 0,0025 mg arasında olması gerekmektedir. Tabloda $A_2B_1C_3D_1E_1F_3G_2H_1$ şartlarında yapılan deney sonucunda ortalama ağırlık kaybının 0,0022 mg ve S/N oranının 53,49

Tablo 4. Doğrulama Deneyi Sonuçları ve Tahmini Güven Aralığı

| Nicelik | S/N oranı | Ağırlık kaybı (mg) |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Optimum şartlar | $A_2B_1C_3D_1E_1F_3G_2H_1$ | $A_2B_1C_3D_1E_1F_3G_2H_1$ |
| Ortalama değer, μ | 53,49 | 0,0022 |
| $\alpha=0,05$ için güven aralığı | $54,38 < \mu < 52,60$ | $0,0019 < \mu < 0,0025$ |
| Doğrulama Deneyi | 52,78 | 0,0024 |

değerinde olacağı görülmektedir.

Optimum değerler dikkate alınarak yapılan doğrulama deneyi sonucunda S/N oranının 52,78, ağırlık kaybı ortalama 0,0024 gr bulunmuştur. Bu değer de tahmini güven aralığında olduğundan yapılan deneylerin 0,05 güven düzeyi için doğru olduğunu göstermiştir.

Şekil 3'te verilen grafikler gömlek-segman çifti üzerine yapılan çalışmalar ile uyum göstermektedir [7-10]. Yapılan deneyler göstermiştir ki silindir gömleğin honlanması aşınma kaybı bakımında %20 oranında iyileşme sağlamıştır. Önceki yapılan çalışmalara benzer şekilde aşınma mesafesinin, uygulanan yükün artmasına bağlı olarak aşınma miktarları artmış, devir hızının artması ile azalmıştır [5-7]. Sonuçlar yağa yakıt karışımının aşınma miktarları üzerinde önemli bir parametre

olduğunu ve %45 oranında etkilediğini göstermiştir.

Yağlayıcı tipinin aşınmaya %12 oranında etkiye sahip olduğu görülmüş ancak aşınma oranının mobilgard 300 sistem yağı, en yüksek aşınma miktarı ise mobilgard 570 yağlama yağı kullanımında gözlenmiştir. Tablo 3'te verilen ANOVA tablosunda kirletici cinsinin aşınmaya %7 oranında etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Şekil 3'te yağa MDO karışımının IF380'e göre daha çok ağırlık kaybına neden olduğu gösterilmektedir.

4. Genel Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada içten yanmalı motorlarda segman-silindir gömleği arasında yağlama sistemlerine yakıt karışımının ağırlık kayıpları üzerine etkileri farklı yük, sıcaklık, devir ve gömlek yüzey durumları dikkate alınarak araştırılmıştır. Çalışmada sonuçların yorumlanmasında Taguchi istatistiksel yöntemi kullanılmıştır. Deneyler sonrasında alınan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

- 1- Gemi dizel motorlarında silindir-gömlek çiftinin yağlanmasında yağlayıcı tipinin önemli olduğu görülmüş ve en düşük ağırlık kayıpları mobilgard 300 sistem yağı kullanıldığında elde edilmiştir.
- 2- Yağa yakıt karışımının silindir-gömlek aşınması üzerinde çok önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiş kirletici miktarının artmasına bağlı olarak arttığı görülmüştür.
- 3- Aşınma miktarlarının artan yük ve aşınma mesafesine bağlı olarak arttığı görülmüştür.
- 4- Gömlek iç yüzeylerinin honlanması aşınma sonucunda oluşan ağırlık kayıplarının %20'ye kadar düşürdüğü tespit edilmiştir.
- 5- Marine Diesel Oil (MDO)'nun yağlayıcıya karışması intermediate fuel oil (IF380)'e göre daha fazla ağırlık

kaybına neden olduğu gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Yazar; Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2013-10-02-KAP02 numaralı projesi ile desteklerinden, Sn. Ali BAYGIN ve Sn. Ahmet YILDIZ'a yardımlarından dolayı teşekkür eder.

Kaynakça

- [1] Parlak A. ve Kökkülünk G. (2016). Bir Gemi Dizel Motorunun Performans Ölçümü ve Değerlendirilmesi, Journal of ETA Maritime Science, 4(2):165-173.
- [2] Andersson B. S. (1991). Company perspective in vehicle tribology – Volvo, 17th Leeds-Lyon Symposium on Tribology – Vehicle Tribology, Tribology Ser, 18:503-506.
- [3] Richardson D.E. (2000). Review of Power Cylinder Friction for Diesel Engines, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 122(4):506-519.
- [4] Heywood J.B. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Inc, New York.
- [5] Uras H. M. (1984). A study of piston-ring assembly friction. Doctor of Philosophy Thesis, Mechanical Engineering in the University of Michigan, Michigan.
- [6] Grabon, W., Koszela, W., Pawlus, P. ve Ochwat, S. (2013). Improving tribological behaviour of piston ring-cylinder liner frictional pair by liner surface texturing, Tribology International, 61:102-108.
- [7] Tung, S.C. ve Huang, Y. (2004). Modelling of abrasive wear in a piston ring and engine cylinder bore system, Tribology Transactions, 47:17-22.
- [8] Ma, Z., Henein, N.A. ve Bryzik, W. (2006). A model for wear and friction in cylinder liners and piston rings,

- Tribology Transactions, 49: 315-327.
- [9] Johansson, S., Nilsson, P.H., Ohlsson, R. ve Rosén, B.-G. (2011). Experimental friction evaluation of cylinder liner/piston ring contact, *Wear*, 271:625-633.
- [10] Hazar, H. (2004). Bir dizel motor silindir yüzeyinin seramik malzeme ile kaplanarak aşınma davranışının deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [11] Aydın, Z. (2015). Deniz taşıtlarında kullanılan farklı yağların segman-silindir çifti yüzeylerindeki tribolojik özelliklerine etki eden parametrelerin incelenmesi, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Ross, P.J. (1988). In: Taguchi techniques for quality engineering, loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design. New York: McGraw-Hill Inc.