



Taguchi Yaklaşımı ile İçten Yanmalı Motorlarda Segman-Silindir Gömleği Arasındaki Sürtünme Katsayısının Deneysel Olarak İncelenmesi

Ömer SAVAŞ¹, Hüseyin ELÇİÇEK², Zafer AYDIN¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

osavas@yildiz.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0001-7454-1457

helcicek@yildiz.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0003-1064-6668

zaydin@yildiz.edu.tr; ORCID ID: orcid.org/0000-0002-0336-1560

Öz

Yapılan çalışmada, içten yanmalı motorlarda yağlayıcı tipi, kirlenici cinsi, kirlenici oranı, yük, devir ve sıcaklık parametrelerinin segman-silindir gömleği çifti arasındaki sürtünme katsayısı üzerine etkileri incelenmiştir. Silindir gömleği yüzey durumu iki seviyeli olarak, diğer parametreler ise üç seviyeli olarak seçilmiştir. Deneylerde içten yanmalı dizel motor segman-silindir gömleği mekanizmasına benzer deney düzeneği kullanılmıştır. Sürtünme katsayısı ölçümleri üç eksenli bir kuvvet sensörü yardımıyla yapılmıştır.

Çalışmada L_{18} ortogonal Taguchi istatistiksel yöntemi kullanılmıştır. Tüm varyasyonlar dikkate alındığında 8748 deney yapılması gerekirken, deney sayısı Taguchi yöntemi ile 18'e düşürülmüştür. Taguchi yönteminin yanı sıra parametrelerin etkinliklerini belirleyebilmek amacıyla varyans analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda segman-silindir gömleği arasında yağlayıcıya yakıt karışımının sürtünme katsayısı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: İçten Yanmalı Motorlar, Deniz Yağları, Segman-Gömlek Çifti, Taguchi Metodu.

Experimental Investigation of Friction Coefficient Between Piston Ring-Cylinder Liner of Internal Combustion Engines with Taguchi Method

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of various parameter on friction coefficient between piston ring and cylinder liners in an internal combustion engine. Fuel contamination type, fuel contamination ratio, load, cycle speed and temperature parameters are chosen as three levels; cylinder shell surface condition parameter is two levels. A tribotester device is manufactured for purpose of examining friction coefficient between piston ring and cylinder liner. Friction coefficients were measured by a three-axis force sensor.

Taguchi (L_{18}) orthogonal array was used to obtain the best combination of working parameters for the most efficient reduction of friction coefficient. Numbers of experiments were reduced from 8748 to 18 by using the Taguchi method. In addition, the analysis of variance was performed to determine the effect of each parameter. Experimental results showed that mixed fuel oil into the lubricating system have been found as a significant effect on friction behavior.

Keywords: Internal Combustion Engine, Friction Coefficient, Marine Lubricant, Piston Ring-Cylinder Liner Pair, Taguchi Method.

To cite this article: Savaş, Ö., Elçiçek, H. ve Aydın, Z. (2018). Taguchi yaklaşımı ile içten yanmalı motorlarda segman-silindir gömleği arasındaki sürtünme katsayısının deneysel olarak incelenmesi. *Journal of ETA Maritime Science*, 6(1), 17-25.

To link to this article: <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2018.98852>

1. Giriş

İçten yanmalı motorlarda sürtünme kayıpları, toplam kayıpların yaklaşık olarak % 20'sini oluşturmaktadır. Segman-silindir gömleği arasında oluşan sürtünme kayıpları ise bu kayıpların önemli bir oranını içerir [1, 2]. Piston grubu üzerinde yapılan çalışmalarda segman-gömlek arasında gelişen sürtünme kayıplarını minimize etmek motorlarda maksimum performans, maksimum yakıt tasarrufu ve minimum egzoz gazı salınımı sağladığını göstermektedir. Segman-gömlek arasında oluşan sürtünmeyi en aza indirmek uygun yağlayıcı seçimi ve çalışma şartlarında yağlama özelliklerini korumasıyla mümkündür [3].

Malzemelerin birbiri ile teması sonucunda genel olarak; kuru, sıvı ve sınır sürtünmesi olmak üzere üç farklı sürtünme şekli görülmektedir. Kuru sürtünme iki kuru yüzeyin teması sonucunda oluşmaktadır. Temas eden yüzeylerin bir sıvı tarafından ayrılması sonucu oluşan sürtünme, sıvı (hidrodinamik) sürtünme olarak tanımlanır. Bu sürtünme mekanizmasında iki yüzey arasında bir kaygan yağ filmi oluşur ve parçalar birbirine temas etmeden bu yağ filmi üzerinde hareket eder. Sıvı sürtünmenin yetersiz kaldığı veya yağ filminin bozulduğu durum ise sınır sürtünme olarak isimlendirilir. Çalışma şartlarına bağlı olarak kullanılan yağın özelliklerini kaybetmesi, yük, devir ve sıcaklıktaki istenmeyen koşullardan dolayı yağ filmi kalınlığı azalır. Yağ filminin incilmesi sonucunda, yağ filmi bazı noktalardan parçalanarak kuru sürtünmeye sebep olur ve aşınmayı hızlandırır. Yapılan birçok çalışmada hidrodinamik yağlamanın, kuru yağlamaya göre aşınma ve sürtünme kuvvetleri bakımından daha iyi olduğunu göstermiştir [4, 5].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; Kapsız ve ark. L16ortogonal Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile devir, yük ve yağlayıcı tipinin

sürtünme karakteristiği üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda sürtünme karakteristiği üzerine en önemli parametrenin devir olduğu belirlenmiştir [6]. Chaudhari ve Sutaria tarafından yapılan çalışmada devir, yağ viskozitesi ve yükün değişimi ile sürtünme kayıpları incelenmiştir. Çalışmalar 60 N sabit yük altında ve 300-1500 d/dak aralığında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel çalışmalar sonucunda, devir sayısının artması ile sürtünme katsayısının azaldığı gözlemlenmiştir [7]. Grabonve ark. tarafından yapılan bir çalışmada ise honlama açılarının değişiminin tribolojik özellikler üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, honlama açısının artması ile birlikte sürtünme direncinin arttığı görülmüştür [8].

Yapılan bu çalışmada gemi dizel motorlarında segman-silindir gömleği arasında sürtünme katsayısına etki eden faktörlerin araştırılması amaçlanmıştır. Deneyler içten yanmalı motor düzeneğine benzer bir aşınma test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde gemi dizel motorlarında kullanılan yağlama yağları ve yağ-yakıt karışımının sürtünme katsayısına etkisi farklı yük, devir ve sıcaklık faktörleri göz önünde bulundurularak Taguchi deneysel yaklaşımı ile araştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

Deneyler içten yanmalı dizel motorları segman-silindir gömleği sistemine benzer, lineer gelgit hareketi yapan aşınma cihazı üzerinde yapılmıştır. Sistemde lineer hareket krank mekanizması ile 0,75 kW gücüne sahip elektrik motoru yardımıyla sağlanmıştır. Deney düzeneği üzerinde devir sayısı, sıcaklık ve uygulanan yük miktarı aynı anda kontrol edilebilmektedir. Sistem üzerinden sürtünme katsayıları Kistler 9027C marka üç eksenli bir kuvvet sensörü yardımıyla alınmıştır [9, 10]. Deney numuneleri, Şekil 1a'da görüldüğü gibi 120x15 mm ebatlarında

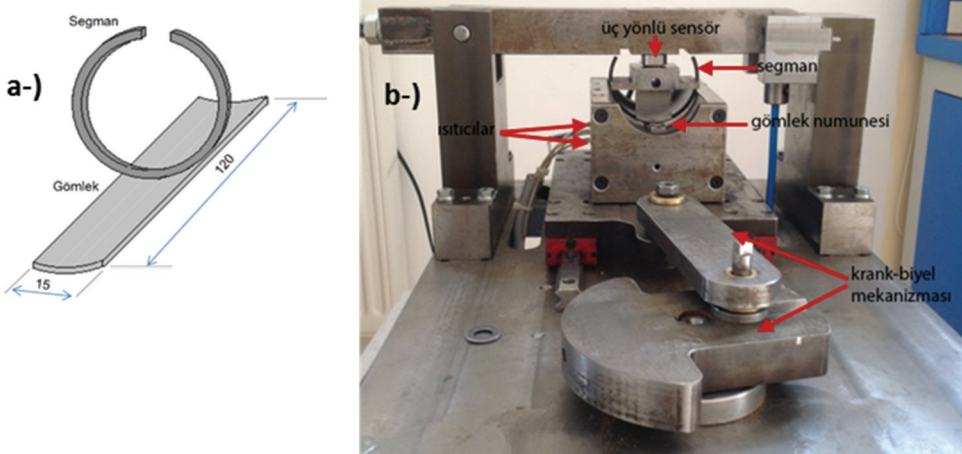
honlu ve honsuz gömleklerden kesilerek hazırlanmıştır. Deneyler, Şekil 1b’de detaylı olarak tanımlanan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.

Yağlayıcı olarak gemi dizel motorlarında yaygın olarak kullanılan ticari marka Mobilgard 570, Mobilgard 430 ve Mobilgard 300 yağlama yağı kullanılmıştır. Tablo 1’de seçilen yağlar ve özellikleri verilmiştir.

Deneylerin yapımında yağa yakıt karışımının etkisini belirlemek amacı ile yağlara %1, %5 ve %10 oranlarında Intermediate Fuel Oil (IFO380) ve Marine Diesel Oil (MDO) yakıtları karıştırılmış ve bu şekilde deney öncesi 6 farklı yağ-

yakıt karışımı hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan yakıtların viskozite değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Yapılan çalışmada segman-silindir gömleği arasındaki sürtünme katsayılarına etki eden parametrelerin etkilerini ve optimum deney parametrelerinin tespiti amacı ile; silindir gömleğinin yüzey durumu, yağlayıcı tipi, kirletici oranı, kirletici cinsi, yük, devir ve sıcaklık parametreleri belirlenmiştir. Deneylerde, yağlayıcı tipi, kirletici oranı, kirletici cinsi, yük, devir ve sıcaklık faktörleri 3 seviyeli olarak, silindir gömleğinin yüzey durumu ise 2 seviyeli olarak belirlenmiştir. Tablo 3’te deney



Şekil 1. a-) Segman-Gömlek Çifti Görüntüsü ve Ölçüleri b-) Deney Düzeneği

Tablo 1. Deneylerde Kullanılan Yağ ve Özellikleri [11-13]

Yağ Tipi	Viskozite cSt, 40 °C	Viskozite cSt, 100 °C	Viskozite indeks
Silindir Yağlama Yağı (Mobilgard 570)	229	21	104
Jenaratör Sistem Yağı (Mobilgard 430)	143	13,5-15,3	100
Ana Makine Sistem Yağı (Mobilgard 300)	111	12	97

Tablo 2. Kirletici Olarak Kullanılan Yakıt ve Viskozite Değerleri [14-15]

Kirletici Yakıtlar	Özellik	Değer
Intermediate Fuel Oil (IFO380)	Viskozite cSt, 50 °C	380
Marine Diesel Oil (MDO)	Viskozite cSt, 40 °C	6-11

parametreleri ve seviyeleri verilmiştir.

Deneylerin yapılmasında ve sonuçların yorumlanmasında Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır [16]. Tablo 3'te yer alan faktör ve seviyeleri dikkate alındığında tüm varyasyonlar için toplamda 8748 adet deney yapılması gerekirken Taguchi metodu ile daha az sayıda deney

yapılması olanağı sağlanmıştır. Deneysel reçetelerin hazırlanmasında seçilen faktör ve seviyelerin ve en az deney sayısını öneren $L_{18} 2^1 3^7$ ortogonal serisi kullanılmıştır. Bu şekilde deney sayısı 8748'den 18'e düşürülmüştür. Tablo 4'te $L_{18} 2^1 3^7$ ortogonal serisi ve deney reçeteleri görülmektedir.

Tablo 3. Deneylerde Kullanılan Yağ ve Özellikleri

Sütun	Parametreler	Seviyeler		
		1	2	3
A	Silindir Gömleği yüzey durumu	Honsuz	Honlu	
B	Yağlayıcı Tipi	Mobilgard 570	Mobilgard 430	Mobilgard 300
C	Kirletici Oranı %	1	5	10
D	Yük, N	50	75	100
E	Devir, d/dak	40	60	80
F	Sıcaklık, °C	40	80	120
G	Kirletici Cinsi	IFO380	MDO	IFO380+MDO

Tablo 4. $L_{18} 2^1 3^7$ Ortogonal Serisi ve Deney Reçeteleri

Deney no	Yüzey durumu	Yağlayıcı tipi	Kirletici oranı, %	Yük, N	Devir, d/dak	Sıcaklık, °C	Kirletici cinsi	Sürtünme Katsayısı x 10^{-3}	S/N
1	Honsuz	Mobilgard 570	1	50	40	40	IFO380+MDO	12,80	-22,14
2	Honsuz	Mobilgard 430	5	75	80	70	IFO380	11,27	-21,04
3	Honsuz	Mobilgard 300	10	100	120	100	MDO	13,46	-22,58
4	Honsuz	Mobilgard 570	10	50	80	70	MDO	12,02	-21,60
5	Honsuz	Mobilgard 430	1	75	120	100	IFO380+MDO	11,62	-21,31
6	Honsuz	Mobilgard 300	5	100	40	40	IFO380	13,51	-22,61
7	Honsuz	Mobilgard 570	5	75	40	100	MDO	14,36	-23,14
8	Honsuz	Mobilgard 430	10	100	80	40	IFO380+MDO	12,58	-22,00
9	Honsuz	Mobilgard 300	1	50	120	70	IFO380	11,64	-21,32
10	Honlu	Mobilgard 570	5	100	120	70	IFO380+MDO	12,56	-21,98
11	Honlu	Mobilgard 430	10	50	40	100	IFO380	6,60	-16,39
12	Honlu	Mobilgard 300	1	75	80	40	MDO	16,38	-24,29
13	Honlu	Mobilgard 570	10	75	120	40	IFO380	8,12	-18,19
14	Honlu	Mobilgard 430	1	100	40	70	MDO	11,95	-21,55
15	Honlu	Mobilgard 300	5	50	80	100	IFO380+MDO	10,81	-20,67
16	Honlu	Mobilgard 570	1	100	80	100	IFO380	10,53	-20,45
17	Honlu	Mobilgard 430	5	50	120	40	MDO	10,76	-20,64
18	Honlu	Mobilgard 300	10	75	40	70	IFO380+MDO	13,50	-22,61

Segman-silindir gömleği arasında sürtünme için harcanan enerjinin azaltılması için sürtünme katsayılarının düşürülmesi gerekir. Yapılan çalışmada en düşük sürtünme katsayısı istendiği için sinyal-gürültü (S/N) oranlarını belirlenmesinde Denklem 1’de verilen “en düşük en iyidir” performans karakteristiği kullanılmıştır [16].

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

Burada y_i performans karakteristiğinin i . gözlem değeri; n denemedeki test sayısı; y gözlem değerlerinin ortalamasıdır.

3. Sonuçlar

Tablo 4’te, $L_{18} 2^{137}$ ortogonal serisi deney reçetesi ve bu reçeteye göre alınan sürtünme katsayılarının ortalaması ve ölçülen sürtünme katsayılarının her bir deney reçetesi için hesaplanan Sinyal/Gürültü (S/N) oranları verilmiştir.

Tablo 4’te deneylerden elde edilen sürtünme katsayılarının $16,38 \times 10^{-3}$ ile $6,60 \times 10^{-3}$ değerleri arasında değişim gösterdiği görülmektedir. En yüksek sürtünme katsayısı gömlek yüzeyi honlu, %1 MDO ile kirletilmiş Mobilgard 300 sistem yağının kullanıldığı, 75 N, 80 d/dak ve 40 °C’de yapılan 12. deney numunesinde elde edilmiştir. Minimum sürtünme katsayısı ise gömlek yüzeyi honlu, %10 IFO380 yakıt ile kirletilmiş Mobilgard 430 yağlama yağının

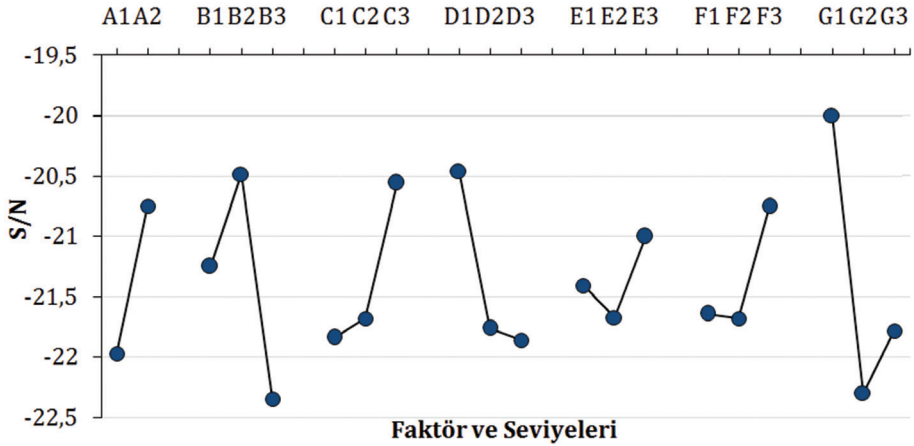
kullanıldığı, 50 N, 40 d/dak ve 100°C’de yapılan 11. deney numunesinde elde edilmiştir.

Tablo 5’te S/N oranları kullanılarak hazırlanmış olan varyans analizi (ANOVA) tablosu verilmiştir. Sürtünme katsayısı üzerinde faktörlerin etkinliği sırası ile % 0,05 güven düzeyi için kirletici cinsi, silindir yüzey durumu, yağlayıcı tipi, yük ve kirletici oranının olduğu görülmektedir. Sıcaklık ve devir sayısının önemsiz düzeyde sürtünme katsayısı üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Tabloda devir faktörünün etkisi düşük olduğu için “pooling” yapılarak hesaplara dahil edilmemiştir. Bunun yanında Tablo 5’te sürtünme katsayısı üzerinde kirletici cinsinin %34, silindir yüzey durumunun %13, yağlayıcı tipinin %21, kirletici oranının %11, yükün %14, sıcaklığın %6 ve devir sayısının %3 oranında etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 2’de S/N oranlarına bağlı olarak kontrol parametrelerinin değişimi verilmiştir. S/N oranının büyük olduğu seviyeler parametrelerin optimum noktalarını göstermektedir. Buna göre optimum parametreler; A2, B2, C3, D1, E3, F3, G1 şeklindedir. Tablo 6’da minimum sürtünme katsayısının elde edildiği seviyeler vurgulanmıştır. Herhangi bir parametre için optimum değer o parametrenin tüm seviyeleri içerisinde elde edilen en büyük S/N oranına göre belirlenmiştir.

Tablo 5. Varyans Analizi (ANOVA)

Değişim Kaynağı	Kareler Toplamı, S	Serbestlik Derecesi, f	Kareler Ortalaması	Teorik F, F(hesap)	İstatiksel F F(tablo)	%
A	Yüzey durumu	1	6,69	11,82	5,98	13
B	Yağlayıcı tipi	2	5,24	9,25	5,14	21
C	Kirletici oranı	2	2,92	5,16		11
D	Yük	2	3,66	6,47		14
E	Devir#	2	0,68	1,21		3
F	Sıcaklık	2	1,64	2,90		6
G	Kirletici cinsi	2	8,73	15,41		34
	Toplam	11,00	4,64			
	e	6	0,57			7



Şekil 2. Parametrelerin Grafiksel Gösterimi

Tablo 6. En Düşük Sürtünme Katsayısı için Önerilen Faktör Seviyeleri

Faktörler		Seviye		
		1	2	3
A	Malzeme	Honsuz	Honlu	-----
B	Yağlayıcı tipi	Mobilgard 570	Mobilgard 430	Mobilgard 300
C	Karışım oranı [%]	1	5	10
D	Yük [N]	50	75	100
E	Devir [rpm]	40	60	80
F	Sıcaklık [°C]	40	70	100
G	Kirlenici cinsi	IFO380	MDO	IFO380+MDO

Tablo 7. Doğrulama Deneyi Sonuçları ve Tahmini Güven Aralığı

Nicelik	S/N oranı	Sürtünme katsayısı
Optimum şartlar	$A_2B_2C_3D_1E_3F_3G_1$	$A_2B_2C_3D_1E_3F_3G_1$
Ortalama değer, μ	-16,21	$6,56 \times 10^{-3}$
$\alpha=0,05$ için güven aralığı	$-16,91 < \mu < -15,52$	$7,02 \times 10^{-3} < \mu < 6,10 \times 10^{-3}$
Doğrulama Deneyi	-16,39	$6,62 \times 10^{-3}$

Taguchi yaklaşımına göre deneylerin doğru yapıp yapılmadığını kontrol etmek amacı ile önerilen optimum şartlar dikkate alınarak doğrulama deneyi yapılmıştır. Doğrulama deneyi sonrasında alınan sonuç değerinin güven aralığı içerisinde olması, yapılan deneylerin doğru yapıldığını ve kontrol altına alınmayan faktörlerin etkisinin önemsiz olduğunu göstermektedir. Tablo 7'de optimum şartlar altında gerçekleştirilen doğrulama

deneyine ait %0,05 güven düzeyi için elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 7'de optimum deney şartlarına göre yapılacak doğrulama deneyinde alınan sürtünme katsayısı değerlerinin $6,10 \times 10^{-3}$ ile $7,02 \times 10^{-3}$ arasında olması gerekmektedir. Optimum şartlar altında yapılan deney sonucunda ortalama sürtünme katsayısı $6,56 \times 10^{-3}$ ve S/N oranı -16,21 değerinde olması gerektiğini göstermektedir. Tablo 7'de ayrıca

doğrulama deneyinin S/N oranının -16,39, ortalama sürtünme katsayısının $6,62 \times 10^{-3}$ olduğu görülmektedir. Doğrulama deneyi sonuçlarının önerilen tahmini güven aralığının içerisinde yer aldığı için yapılan deneylerin %0,05 güven düzeyi için doğru yapıldığını göstermektedir.

Yapılan deneyler sonucunda, silindir gömleğinin honlanması sürtünme katsayısında önemli bir düşüş göstermiştir. Aynı zamanda, sürtünme katsayısı uygulanan yükün artması ile birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar literatürde yapılan çalışmalarla uyum içerisindedir [17, 18]. Artan sıcaklık ile sürtünme katsayısı azaldığı tespit edilmiştir. Motor normal çalışma sıcaklığı 80-90 °C olarak düşünüldüğünde, düşük sıcaklıklarda (40-70 °C) yağlayıcı viskozitesini aşırı yükselttiği ve yapışkanlığa neden olduğu düşünülmektedir. Deneylerde kullanılan en yüksek sıcaklığın (100 °C) motor normal çalışma sıcaklıklarına yakın olması ile en iyi viskozite ve yağ filmi şartları ile minimum sürtünme katsayısını ortaya koymuştur.

Şekil 2'de en düşük sürtünme katsayısının Mobilgard 430, ardından Mobilgard 570 ve en yüksek sürtünme katsayısı ise Mobilgard 300 yağı ile elde edilmiştir. Hidrodinamik yağlama prensibine göre viskozitenin artmasına bağlı olarak sürtünme katsayısının artması gerekmektedir [19]. Ancak Şekil 2'de verilen grafikte viskozitesi en düşük olan Mobilgard 300 yağlama yağının daha fazla sürtünme katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Bunun muhtemel nedeni yağa karışan kirleticilerden dolayı yağ filmi incelterek sınır sürtünme mekanizması göstermesinden kaynaklandığı öngörülmektedir.

Yağlayıcıya IFO380 yakıtının karışması ile en düşük sürtünme katsayısı gözlemlenirken, yağlayıcıya MDO yakıtının karışması sonucunda ise en fazla sürtünme katsayısı gözlemlenmiştir. Yağlayıcı içerisine karışan IFO 380 kirletici

oranının artmasına bağlı olarak sürtünme katsayılarında azalma gözlenmiştir. Bunun muhtemel nedeni yağlayıcı içerisindeki IFO 380 ile sülfür oranının artması ve viskozitenin artışıdır. Yağlayıcı içerisine karışan MDO kirletici oranının artışı ise sürtünme katsayısının artışına sebep olmuştur. Bunun muhtemel nedeni yağa karışan MDO yakıtının yağın özelliklerini bozduğu ve viskozitesini düşürdüğü ve buna bağlı olarak yüzeyler arasında ince yağ filmi tabakası oluşmuştur. Ortaya çıkan bu olumsuz koşulların sürtünme kuvvetlerinin artışına sebep olabileceği düşünülmektedir.

4. Genel Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada içten yanmalı motorlarda segman-silindir gömleği arasında yağlama sistemlerine yakıt karışımının sürtünme katsayıları üzerine etkileri farklı gömlek yüzey durumu, yük, sıcaklık ve devir göz önünde bulundurularak araştırılmıştır. $L_{18} 2^3$ ortogonal serisine göre toplamda 18 adet deney yapılmıştır. Alınan sonuçlar Taguchi deney yöntemi kullanılarak yorumlanmıştır. Çalışmanın özeti maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır;

1. Seçilen kontrol faktörlerinden; malzemenin ikinci seviyesi (Honlu), yağlayıcı tipinin ikinci seviyesi (Mobilgard430) karışım oranının üçüncü seviyesi (%10) yükün birinci seviyesi (50 N) devirin üçüncü seviyesi (80 d/dak) sıcaklığın üçüncü seviyesi (100°C) ve kirletici cinsinin birinci seviyesi (IFO380) en düşük ortalama sürtünme katsayısı değerlerinin elde edilmesini sağlayan parametrelerinin optimum seviyeleri olarak belirlenmiştir.
2. Gemi dizel motorlarında segman-silindir gömleği çiftinin yağlanmasında kirletici cinsi ve yağlayıcı tipi en etkin parametreler olduğu gözlemlenmiştir. Kirletici cinsi ve yağlayıcı tipi ANOVA analizleri sonucunda sürtünme katsayısı üzerinde %34 ve %21 oranında etkiye

sahip olduğu belirlenmiştir.

3. Sürtünme katsayısı artan yük ile artmıştır ve yükün %14 oranında etkiye sahip olduğu görülmüştür.
4. Gömlek iç yüzey özelliklerinin değişmesi segman-silindir gömleği çifti arasındaki sürtünme katsayısı üzerinde önemli etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.
5. ANOVA analizi sonrasında parametrelerin etkinlik sırası; kirletici cinsi, yağlayıcı tipi, yük, yüzey durumu ve kirletici oranı şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Teşekkür

Yazarlar; Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2013-10-02-KAP02 numaralı projesi ile desteklerinden ve Müh. Semih ÖZEL ve Müh. Aykut BURUP'a yardımlarından dolayı teşekkür eder.

Kaynaklar

- [1] Morris, N. Mohammadpour, M. Rahmani, R. ve Rahnejat, H. (2017). Optimisation of piston compression ring for improved energy efficiency of high performance race engines. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part D, Journal of Automobile Engineering.
- [2] Richardson, D.E. (2000). Review of Power Cylinder Friction for Diesel Engines, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 122(4):506-519.
- [3] Livanos, G. A., Kyrtatos, N.P. (2007). Friction model of a marine diesel engine piston assembly, Tribology International, 40(10):1441-1453.
- [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] Kapsız, M. Durat, M. Ficici, F., (2011). Friction and wear studies between cylinder liner and piston ring pair using Taguchi design method, Advances in Engineering Software, 42(8):595-603.
- [7] Chaudhari, T. Sutaria, B., (2016). Investigation of friction characteristics in segmented piston ring liner assembly of IC engine, Perspectives in Science, 8:599-602.
- [8] Grabon, W. Pawlusa, P. Wosa, S. Koszelaa, W. Wiczorowski, M., (2017). Effects of honed cylinder liner surface texture on tribological properties of piston ring-liner assembly in short time tests, Tribology International, 113:137-148.
- [9] Akalin, O. and Newaz, G., (1998). A New Experimental Technique for Friction Simulation in Automotive Piston Ring and Cylinder Liners, SAE Technical Paper.
- [10] Savaş, Ö. (2017). İçten Yanmalı Motorlarda Segman-Silindir Gömleği Arasındaki Yağlama Yağına Yakıt Karışmasının Aşınmaya Etkilerinin İncelenmesi, Journal of ETA Maritime Science, 5(2):112-119.
- [11] http://www.steuaromana.ro/prod/COMBMARINTIPRMG380_en.pdf, 03.06.2017.
- [12] http://www.omnimpex.ro/texte/petroliere/engleza_07, 03.06.2017.
- [13] http://www.tropicoil.com/downloads/Mobilgard_570.pdf, 05.10.2017.
- [14] www.ulei-mobil.ro/pdf/MobilAutoDataSheet/Mobilgard%2030%20Series%20pds.pdf, 05.10.2017.
- [15] <http://www.peltamax.com.uy/pdfweb/Mobilgard%20300.pdf>, 05.10.2017.
- [16] Ross, P.J. (1988). Taguchi techniques for quality engineering, loss function,

orthogonal experiments, parameter and tolerance design. McGraw-Hill Inc. New York.

- [17] 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.
- [18] Johansson, S., Nilsson, P.H., Ohlsson R., Rosen, B. (2011). Experimental friction evaluation of cylinder liner/piston ring contact, *Wear*, 271:625-633.
- [19] Kim, M. (2005). Friction Force Measurement and Analysis of Rotating Liner Engine, Doctor of Philosophy Thesis, The Faculty of The Graduate School of The University of Texas, Austin.