

# FARKLI ÇALIŞMA KOŞULLARINDA DİETİL ETER-DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

İsmet Sezer\*

Yrd. Doç. Dr., Gümüşhane Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü,  
Gümüşhane  
isezer@gumushane.edu.tr

Atilla Bilgin

Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, Trabzon  
bilgin@ktu.edu.tr

## ÖZET

Bu çalışmada dietil eter dizel karışımlarının motor performansına etkileri, farklı çalışma koşullarında deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde belirli miktardaki dizel yakıtı içerisine hacimsel olarak %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranında dietil eter katılarak hazırlanan farklı yakıt karışımları ve dizel yakıtı kullanılmıştır. Deneyler direk enjeksiyonlu tek silindri bir dizel deney motoru kullanılarak farklı devir sayılarında ve farklı sıkıştırma oranlarında tam gaz durumunda yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre dizel yakıtına dietil eter katılması, ortalama efektif basınç ve bunun sonucu olarak döndürme momenti ve gücün bir miktar düşmesine neden olmaktadır. Ortalama efektif basınç, moment ve güçteki düşüş, artan karışım oranıyla artmış ve  $r=20$  ve  $N=1200$  d/dk çalışma koşulunda %10 dietil eter içeren yakıt karışımı kullanıldığında; ortalama efektif basınçta %5,1'lik düşüş ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan dietil eter karışımları, %7,5 karışım oranına kadar efektif verimin artmasını ve özgül yakıt tüketiminin azalmasını sağlamış ve  $r=20$  ve  $N=1200$  d/dk çalışma koşulunda %7,5 karışım oranıyla efektif verimde %10,9'luk artış elde edilmiştir. Aynı yakıt karışımı ile özgül yakıt tüketiminde %8,7 düşüş sağlanmıştır. Ayrıca yakıt hava ekivalans oranı ve egzoz gazı sıcaklığı, artan dietil eter oranıyla azalma göstermiştir. Öte yandan %7,5 dietil eter içeren karışımla farklı sıkıştırma oranlarında elde edilen sonuçlar, sıkıştırma oranının belli bir değerden sonra artırılmasının motor performansını olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif yakıtlar, dietil eter karışımları, dizel motoru, motor performansı, yakıt tüketimi

## Investigation the Effects of Diethyl Ether-Diesel Fuel Blends on Engine Performance at Various Operating Conditions

### ABSTRACT

In this study, the effects of diethyl ether (DEE)-diesel fuel blends on the performance of a diesel engine investigated experimentally at various operating conditions. In the experiments, the blends prepared with the addition of 2.5, 5, 7.5, and 10 vol. % of DEE with a specified amount of diesel fuel and neat diesel fuel were used. The experiments were performed for various engine speeds and compression ratios at wide open throttle conditions by using a single cylinder direct injection (DI) diesel experimental engine. The results of the study show that DEE addition to diesel fuel causes to decrease in engine performance parameters, i.e., brake mean effective pressure, brake torque and brake power. The decrement in performance parameters increased with increasing blending ratio. The decrement of brake mean effective pressure was obtained as about 5.1% with DEE10 blend at the operating conditions of  $r=20$  and  $N=1200$  rpm. However, brake thermal efficiency increases and brake specific fuel consumption decreases up to 7.5% DEE blending ratio. The increment of brake thermal efficiency was obtained as about 10.9% with DEE7.5 blend at the operating conditions of  $r=20$  and  $N=1200$  rpm. The same fuel blend gives about 8.7% reduction in brake specific fuel consumption. Additionally, exhaust gas temperature decreases and air excess coefficient increases with increasing DEE blending ratio. Moreover, the results obtained by DEE7.5 blend at various compression ratios shows that the increment in compression ratio beyond a certain level affects negatively the engine performance.

**Keywords:** Alternative fuels, diethyl ether blends, diesel engine, engine performance, fuel consumption

\* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 11.04.2012

Kabul tarihi : 17.09.2012

13-14 Mayıs 2011 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Bursa'da düzenlenen 12. Otomotiv ve Üretim Teknolojileri Sempozyumu'nda sunulan bildiri, yazarlarınca güncellenerek ve genişletilerek bu makale hazırlanmıştır.

Sezer, İ., Bilgin, A. 2012. "Farklı Çalışma Koşullarında Dietil Eter-Dizel Yakıt Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 631, s. 42-49.

## 1. GİRİŞ

Dizel motorları yüksek verim ve yüksek moment, artan devir sayıları, dayanıklılık ve benzin motorlarına kıyasla daha düşük karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonu salınımı gibi üstünlükleri sebebiyle özellikle hafif kara yolu taşıtlarında son yıllarda daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, dizel motorları özellikle konvansiyonel dizel yakıtları kullanıldığında yüksek oranda azot oksit (NOx), is ve katı parçacık emisyonu üretirler [1-3]. Dizel motorlarında yakıt ekonomisi sağlamak ve zararlı egzoz emisyonlarını azaltmak için bazı teknikler uygulanmaktadır [4]. Bu yöntemler içinde konvansiyonel yakıtlarının özelliklerinin iyileştirilmesi ve yenilenebilir alternatif yakıtların kullanımı kirletici emisyonlarının azaltılması ve gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanması için umut verici bir çözüm olarak değerlendirilmektedir [5]. Oksijen içeren yakıtların (oksijenatlar) dizel yakıtında katkı olarak kullanımı; özellikle is ve katı parçacık emisyonlarının azaltılmasında ve yanmayı iyileştirerek motor performansının artırılmasında, motor tasarımında önemli bir değişiklik yapmadan, uygulanabilen etkili ve ekonomik bir yöntem olarak görülmektedir [2, 4]. Oksijenatlar içerisinde dietil eter (DEE) yüksek setan sayısı ve yüksek oksijen içeriği sayesinde dizel yakıt katkısı olarak öne çıkmaktadır. Aynı zamanda, DEE kabul edilebilir enerji içeriği, düşük tutuşma sıcaklığı, kolay buharlaşabilme özelliği ve korozif olmaması nedeniyle iyi bir dizel motoru yakıtıdır [6, 7]. DEE etanoldan elde edildiği için yenilenebilir biyoyakıt olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca sıvı yakıt olması sebebiyle istenen oranda dizel yakıtına kolayca katılabilmektedir [8, 9]. Aslında DEE'nin uzun zamandır dizel motorlarının soğuk havalarda çalıştırılmasında yardımcı olarak kullanımı bilinmekle birlikte, yakıt katkısı veya saf dizel yakıtı olarak kullanımı son zamanlarda ilgi çekmeye başlamıştır [10]. Bu nedenle literatürde DEE'nin dizel yakıtı veya yakıt katkısı olarak kullanımına yönelik oldukça az sayıda çalışma bulunmaktadır [4-13]. Bu çalışmada, DEE-dizel yakıt karışımlarının direkt enjeksiyonlu tek silindri bir dizel motorunun performansına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla farklı DEE-dizel yakıt karışımları ve saf dizel yakıtıyla farklı çalışma koşullarında elde edilen performans değerleri birbiriyle karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların güvenilirliğini göstermek için sunulan çalışmada belirsizlik analizi uygulanmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 2.1 Yakıtlar

Bu çalışmada saflık derecesi %99'un üzerinde olan JT Baker marka DEE ve Euro-Dizel yakıtları kullanılmıştır. Belirli miktardaki dizel yakıtı içerisine hacimsel olarak %2,5-10 oranında DEE karıştırılarak dört farklı yakıt karışımı hazırlanmıştır. Homojen bir karışım elde etmek ve faz ayrışmasını ön-

lemek için yakıt karışımları deneyler sırasında hazırlanmıştır. Kullanılan dizel yakıtının ve DEE'in başlıca özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Yakıtların Özellikleri

Özellik	Dizel	DEE
Kimyasal formül	$C_xH_y$	$C_4H_{10}O$
Molekül ağırlığı	190-220	74,12
Yoğunluk (kg/L)	~0,84	0,714-0,716
Viskozite (cP)	2,6	0,23
Oksijen içeriği (%)	-	21
Kükürt içeriği (ppm)	~250	-
Kaynama noktası (°C)	180-360	34,6
Tutuşma sıcaklığı (°C)	315	160
Havadaki tutuşma aralığı (%)	0,6-6,5	1,9-9,5
Stokiyometrik hava-yakıt oranı (H/Y) <sub>s</sub>	14,6	11,1
Buharlaşma gizli ısısı (kJ/kg)	250	356
Alt ısı değer (MJ/kg)	42,5	33,9
Setan sayısı	40-55	>125

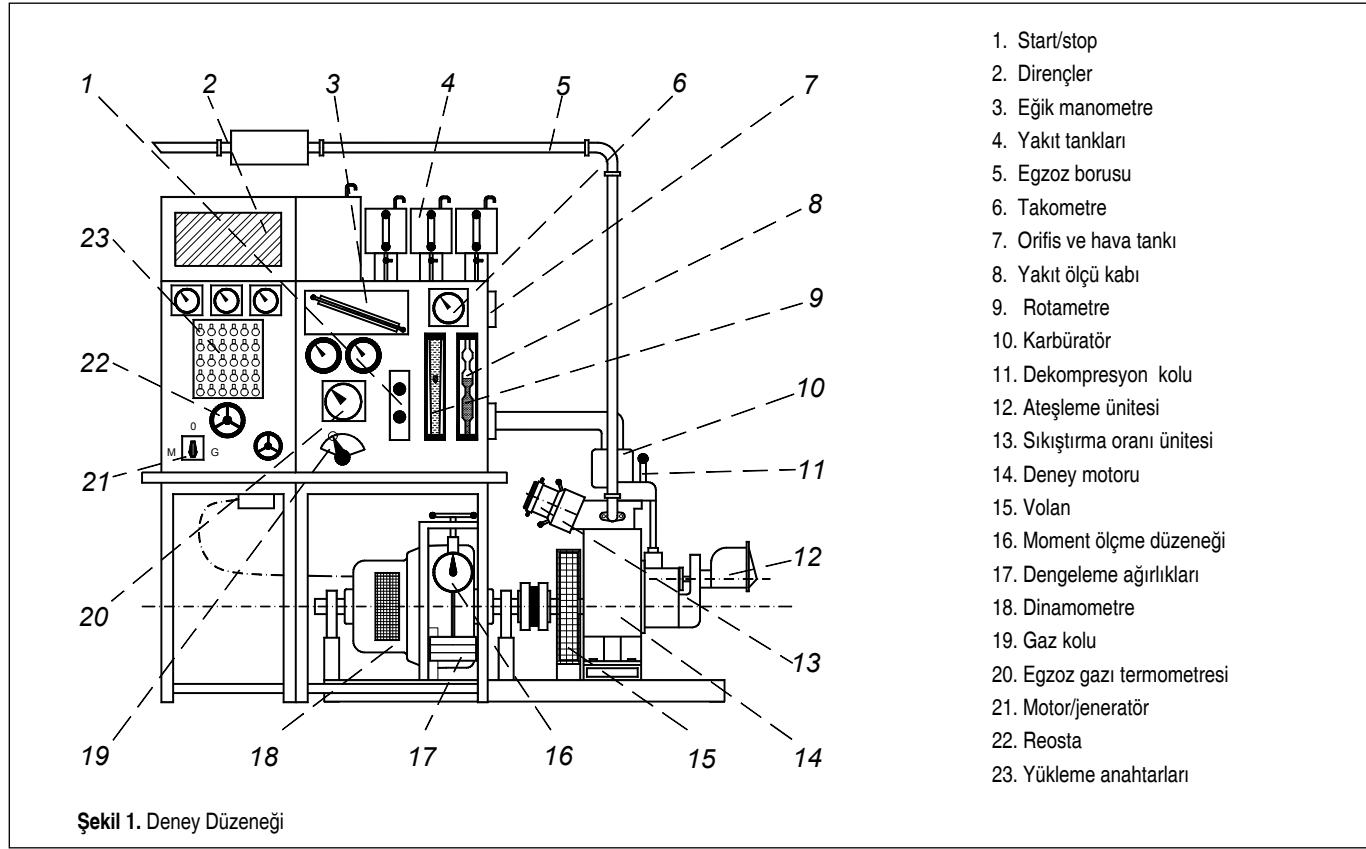
### 2.2 Deneysel Düzenek ve Uygulanan Yöntem

Şekil 1'de görülen deney düzenek; deney motoru, ölçüm üniteleri ve kontrol panelinden oluşmaktadır. Düzenek üzerindeki deney motoru tek silindri, dört zamanlı ve değişken sıkıştırma oranlı olup, silindir kafası değiştirilerek benzin veya dizel motoru olarak çalıştırılabilmektedir. Deney motorunun başlıca özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Deney motoruna yükleme yapılabilmesi ve döndürme momentinin ölçülmesi için bir elektrikli dinamometre bağlanmıştır. Deneylerde yakıt tüketimi düzenek üzerindeki bir ölçekli kap ve kronometre yardımıyla, hava debisi ise bir eğik manometre ve orifis çifti kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca deneyler sırasında egzoz gazı sıcaklığı ve hesaplamalarda

Tablo 2. Deney Motorun Özellikleri

Tip	4 zamanlı
Soğutma sistemi	Su soğutmalı
Silindir sayısı	1
Çap - Strok	90 mm - 120 mm
Silindir hacmi	763,4 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma oranı	değişken (7,5-24,5)



Şekil 1. Deney Düzenegi

1. Start/stop
2. Dirençler
3. Eğik manometre
4. Yakıt tankları
5. Egzoz borusu
6. Takometre
7. Orifis ve hava tankı
8. Yakıt ölçü kabı
9. Rotametre
10. Karbüratör
11. Dekompresyon kolu
12. Ateşleme ünitesi
13. Sıkıştırma oranı ünitesi
14. Deney motoru
15. Volan
16. Moment ölçme düzeneği
17. Dengeleme ağırlıkları
18. Dinamometre
19. Gaz kolu
20. Egzoz gazı termometresi
21. Motor/jeneratör
22. Reosta
23. Yükleme anahtarları

kullanılmak amacıyla yaş ve kuru termometre sıcaklıkları ve ortam basıncı ölçülmüştür. Deneyler tam gaz durumunda ve farklı devir sayılarında (900-1600 d/dk) gerçekleştirilmiş ve ölçümler motor kararlı çalışma rejimine ulaştıktan sonra alınmıştır. Ölçülen değerler kullanılarak yakıt-hava ekivalans oranı, döndürme momenti, efektif güç, ortalama efektif basınç, efektif verim ve özgül yakıt tüketimi gibi performans parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca, deney ortamı atmosferik koşulları kullanılarak hesaplanan performans değerleri, standart atmosfer koşullarına dönüştürülmüştür [14-16].

### 3. HESAPLAMALAR

#### 3.1 Motor Performans Parametrelerinin Hesaplanması

Motorun efektif gücü aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır,

$$N_{e,1} = M_d \omega \quad (1)$$

burada,  $M_d = F \times L$  döndürme momenti ve  $\omega = \pi n / 30$  krank milinin açısal hızıdır.

Yukarıda hesaplanan motor gücü, nem faktörü  $X_{nem}$ , ortam basıncı  $p_0$  ve ortam sıcaklığı  $T_0$  kullanılarak, aşağıdaki gibi standart atmosfer koşullara dönüştürülmüştür.

$$N_e = N_{e,1} \frac{0,1013}{p_0} \sqrt{\frac{T_0}{293}} X_{nem} \quad (2)$$

Burada kullanılan nem faktörü  $X_{nem}$  kuru ve yaş termometre sıcaklıkları kullanılarak psikometrik diyagramdan belirlenmiştir.

Ortalama efektif basınç aşağıdaki bağıntıdan belirlenmiştir.

$$P_{me} = \frac{60 N_e k}{V_h n z} \quad (3)$$

Burada  $k$  strok sayısına bağlı bir sabit olup dört zamanlı motorlar için 2 alınır.

Özgül yakıt tüketimi ve efektif verim aşağıdaki bağıntılar yardımıyla belirlenmiştir.

$$b_e = \frac{B}{N_e} \quad (4)$$

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \times b_e} \times 100 \quad (5)$$

Burada  $B$  toplam yakıt tüketimi ve  $H_u$  kullanılan yakıtın alt ısı değeri olup aşağıda verilen Mendeleyev formülünden belirlenmektedir [14].

$$H_u = 1000 \times \left[ 33.91 c' + 125.6 h' - 10.89 (o' - s') - 2.51 (h' - w') \right] \quad (6)$$

Yukarıda  $c'$ ,  $h'$ ,  $o'$ ,  $w'$  ve birim miktardaki yakıt içerisindeki hidrojen, karbon, oksijen, kükürt ve suyun kütle oranlarını göstermektedir.

Yakıt-hava ekivalans oranı ( $\phi$ ) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$\phi = \frac{(H/Y)_g}{(H/Y)_s} \quad (7)$$

Burada stokiometrik hava-yakıt oranı  $(H/Y)_s$  yakıtın kimyasal formülünden, gerçek hava-yakıt oranı  $(H/Y)_g$  ise deneydeki ölçümlerden aşağıdaki gibi belirlenir.

$$(H/Y)_g = \frac{3600 \dot{m}_{hava}}{B} \quad (8)$$

Yakıt karışımları için stokiometrik hava-yakıt oranı  $(H/Y)_{s, kar}$  ve alt ısı değeri  $H_{u, kar}$  aşağıdaki gibi belirlenir.

$$(H/Y)_{s, kar} = \frac{\sum y_i \rho_i (H/Y)_{s, kar}}{\sum y_i \rho_i} \quad (9)$$

$$H_{u, kar} = \frac{\sum y_i \rho_i H_{u, i}}{\sum y_i \rho_i} \quad (10)$$

Burada  $i$  indisi dizel veya DEE yakıtını göstermekte olup  $\gamma_i$  ve  $\rho_i$  ise karışım içindeki dizel ve DEE yakıtının hacimsel oranlarını ve yoğunluklarını ifade eder.

#### 3.2 Belirsizlik Analizi

DeneySEL çalışmalardan elde edilen sonuçlar ölçülen fiziksel büyüklüklerden hesaplanır. Bu fiziksel büyüklüklerin ölçümü sırasında ise ölçü aletinden veya ölçme işleminden kaynaklanan bazı belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle elde edilen sonuçların güvenilirliğini göstermek için belirsizlik analizinin uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmada belirsizlik analizi için Kline ve McClintock tarafından geliştirilmiş olan belirsizlik analizi kullanılmıştır [17-18]. Bu yöntemle göre  $x_1, x_2, \dots, x_n$  bağımsız değişkenlerine bağlı bir fonksiyonun sonucu  $R$  ise aşağıdaki gibi eşitlik yazılabilir.

$$R = R(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (11)$$

Bu durumda, elde edilen  $R$  değerindeki belirsizlik aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$U_R = \sqrt{U_{R,1}^2 + U_{R,2}^2 + \dots + U_{R,n}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_{R,i}^2} \quad (12)$$

Burada ölçülen  $x_i$  değerlerinden kaynaklanan  $U_{R,i}$  değerleri aşağıdaki gibi belirlenir.

$$U_{R,i} = \left| \frac{\partial R}{\partial x_i} \right| U_i ; \quad (1 \leq i \leq n) \quad (13)$$

Burada, toplam belirsizlik  $U_R$  ölçülen her bir  $x_i$  büyüklüğünden kaynaklanan  $U_i$  belirsizliğine bağlı olarak belirlendiği için, bu yaklaşım kısmi belirsizlik yaklaşımı olarak isimlendirilir. Bu çalışmada incelenen performans parametreleri için belirsizlik değerlerinin devir sayısına göre değişimleri Tablo 3'te verilmiştir.

Hesaplanan belirsizlik değerleri incelendiğinde, motor performans parametrelerinin belirsizlik değerlerinden önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir.

Tablo 3. Belirsizlik Değerlerinin Devir Sayısına Göre Değişimleri

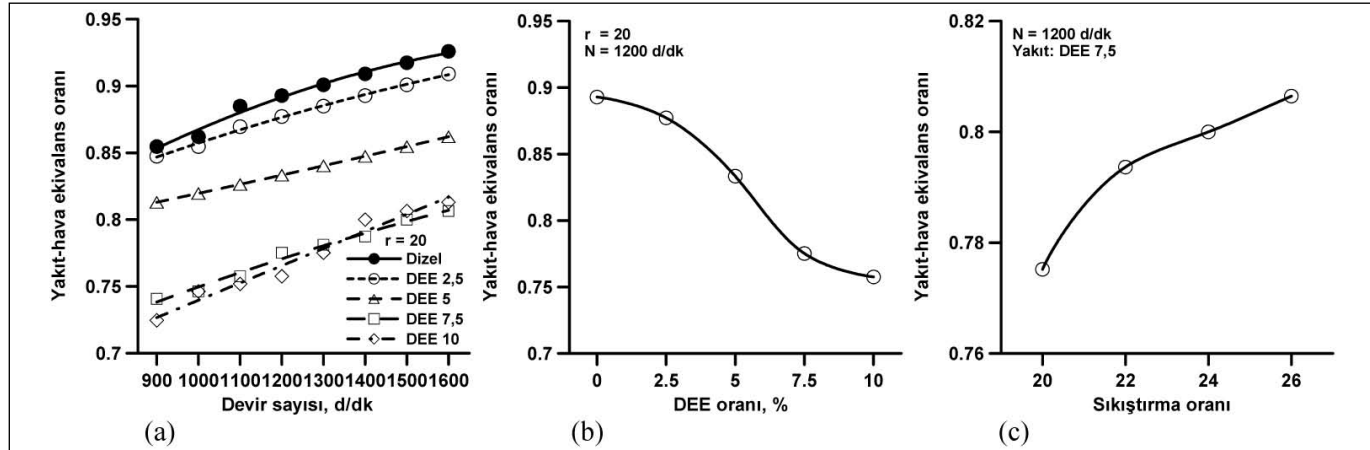
n	Belirsizlik Değerleri				
	$M_d$ (%)	$N_e$ (%)	$P_{me}$ (%)	$b_e$ (%)	$\eta_e$ (%)
900	0,005	0,456	0,618	0,885	0,913
1000	0,005	0,454	0,616	0,959	0,994
1100	0,005	0,450	0,613	1,036	1,079
1200	0,005	0,447	0,611	1,114	1,167
1300	0,005	0,443	0,608	1,206	1,270
1400	0,005	0,442	0,607	1,287	1,361
1500	0,005	0,444	0,609	1,355	1,440
1600	0,005	0,447	0,611	1,422	1,517

### 4. BULGULAR VE İRDELEME

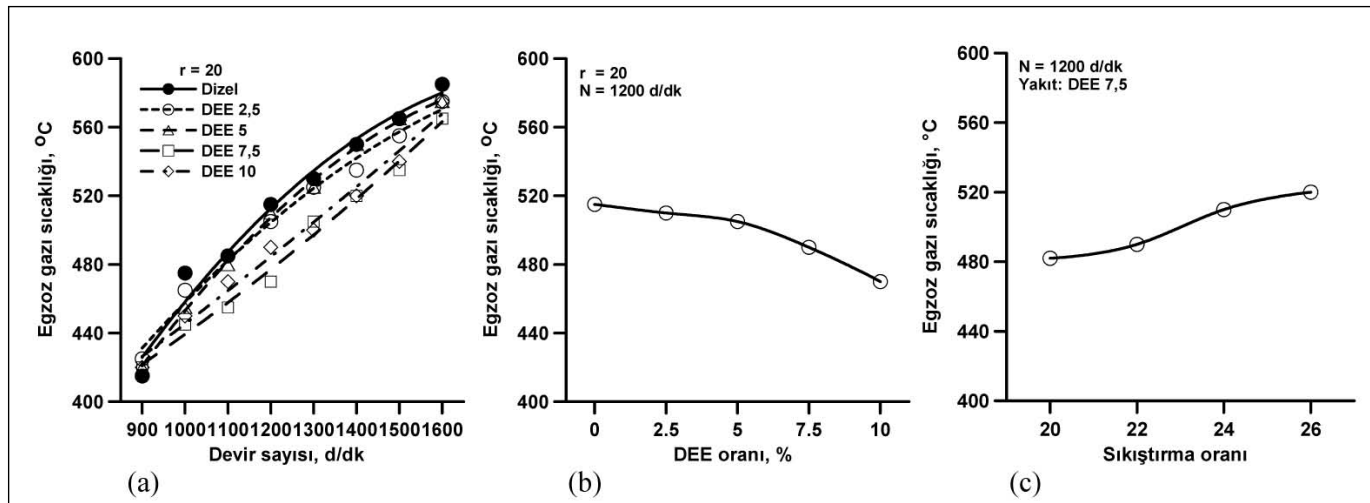
Şekil 2(a)'da yakıt-hava ekivalans oranının devir sayısına göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ekivalans oranı artan devir sayısı ile artmakta olup tüm yakıtlar için benzer karakteristiğe sahiptir. Ekivalans oranının karışım içerisindeki DEE oranına göre değişimi Şekil 2(b)'deki gibidir. DEE oranı arttıkça ekivalans oranı azalmış diğer bir ifadeyle karışım fakirleşmiştir. Ekivalans oranındaki maksimum azalma DEE10 karışımıyla %15,2 olarak elde edilmiştir. Ekivalans oranındaki bu düşüş DEE'nin fakirleştirici etkisinden kaynaklanmaktadır. DEE moleküler yapısının küçük olması ve içeriğinde oksijen bulunması sebebiyle Tablo 1'de görüldüğü gibi dizel yakıtına göre daha düşük stokiometrik hava-yakıt oranına  $(H/Y)_s$  sahiptir. Bu nedenle karışım içerisinde DEE oranı arttıkça karışımın  $(H/Y)_s$  değeri azalmakta dolayısıyla ekivalans oranı düşmektedir. Şekil 2(c)'de ise DEE 7,5 karışımı için yakıt-hava ekivalans oranı artan sıkıştırma oranıyla artmaktadır.

Şekil 3'te egzoz gazı sıcaklığının devir sayısına, DEE oranına ve sıkıştırma oranına göre değişimi görülmektedir. Şekil 3(a)'da egzoz gazı sıcaklığı artan devir sayısı ile artış göster-





Şekil 2. Yakıt-Hava Ekvivalans Oranının (a) Devir Sayısına (b) DEE Oranına (c) Sıkıştırma Oranına Göre Değişimleri

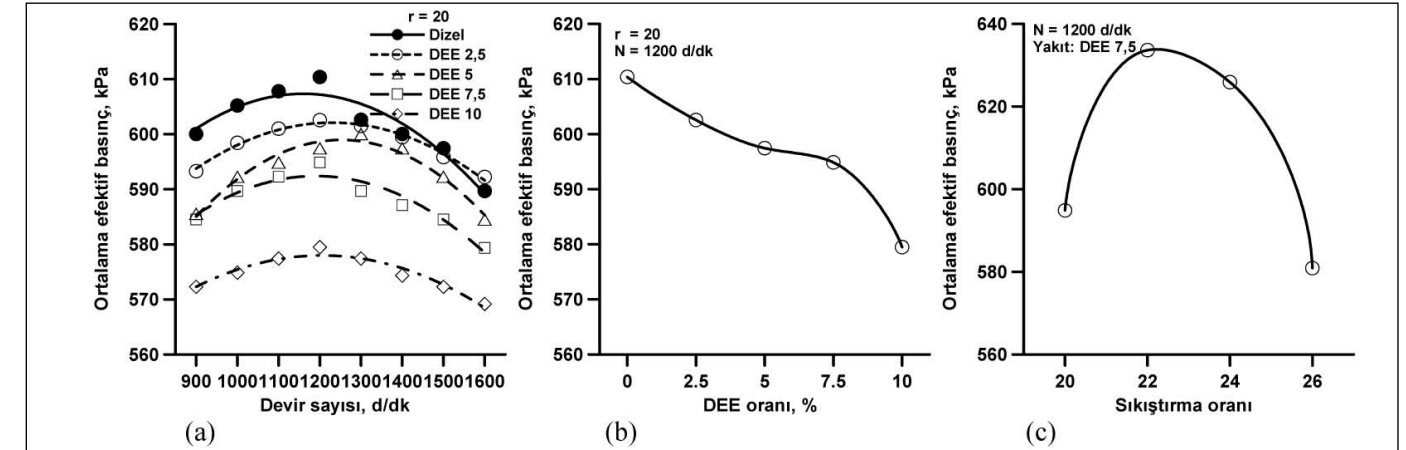


Şekil 3. Egzoz Gazı Sıcaklığının (a) Devir Sayısına (b) DEE Oranına (c) Sıkıştırma Oranına Göre Değişimleri

mektedir. Bu durum Şekil 2(a)'da görüldüğü gibi devir sayısı arttıkça ekivalans oranının artmasıyla silindire daha fazla miktarda yakıt dolayısıyla daha fazla enerji girmesinden kaynaklanır. Ayrıca devir sayısı arttıkça çevrim için geçen süre azaldığından soğutma suyuna ve çevreye olan ısı transferi miktarı azalmakta; bunun sonucu olarak da yanmış gazlar daha yüksek sıcaklıkta egzozdan atılmaktadır. Şekil 3(b)'de egzoz sıcaklığının artan DEE oranı azaldığı görülmektedir. Bu durum Tablo 1'de görüldüğü DEE'in dizel yakıtına kıyasla daha düşük ısı değerine ve daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Yakıt karışımı içinde DEE oranı arttıkça karışımın ısı değeri azalmakta böylece yanma sıcaklıkları ve buna bağlı olarak egzoz gazı sıcaklığı düşmektedir. Diğer taraftan DEE'in yüksek buharlaşma gizli ısısından kaynaklanan soğutucu etkisi egzoz gazı sıcaklığının düşmesine ek bir katkı sağlar. Egzoz gazı sıcaklığındaki maksimum azalma %8,7 olarak DEE10 karışımıyla elde edilmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi egzoz gazı sıcaklığındaki düşüş yanma sıcaklıklarındaki düşüşün bir göstere-

sidir. Böylece literatürde de belirtildiği gibi DEE karışımları kullanıldığında yanma sıcaklıklarındaki düşüşe bağlı olarak NOx emisyonunun azalacağı söylenebilir [4, 6, 10]. Ayrıca literatürde de belirtildiği üzere DEE karışımlarının fakirleştirici etkisi sonucu is ve katı parçacık emisyonlarında bir azalma beklenebilir [5, 6, 10]. Şekil 3(c)'de ise DEE 7,5 karışımı için egzoz gazı sıcaklığının artan sıkıştırma oranıyla arttığı görülmektedir. Sıkıştırma oranının artırılması yanma sırasında oluşan basınç ve sıcaklıkları artıracığından bu beklenen bir sonuçtur.

Şekil 4'te ortalama efektif basıncın devir sayısına, DEE oranına ve sıkıştırma oranına göre değişimi verilmiştir. Şekil 4(a)'da görüldüğü gibi ortalama efektif basınç 1200-1300 d/dk aralığında maksimum değerine ulaşmış olup tüm yakıtlar için benzer değişimler söz konusudur. Şekil 4(b)'de ortalama efektif basınç, artan DEE oranıyla azalmış ve dizel yakıtıyla kıyaslandığında DEE10 karışımı %5,1'lik azalmayla en düşük ortalama efektif basınç değerini vermiştir. Ortalama efek-

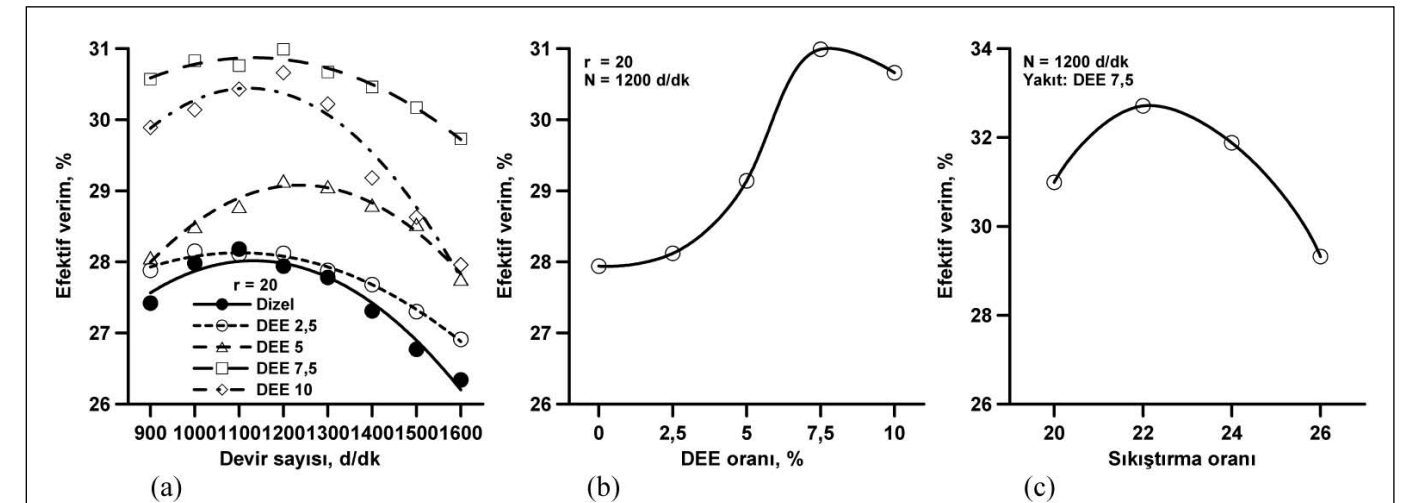


Şekil 4. Ortalama Efektif Basıncın (a) Devir Sayısına (b) DEE Oranına (c) Sıkıştırma Oranına Göre Değişimleri

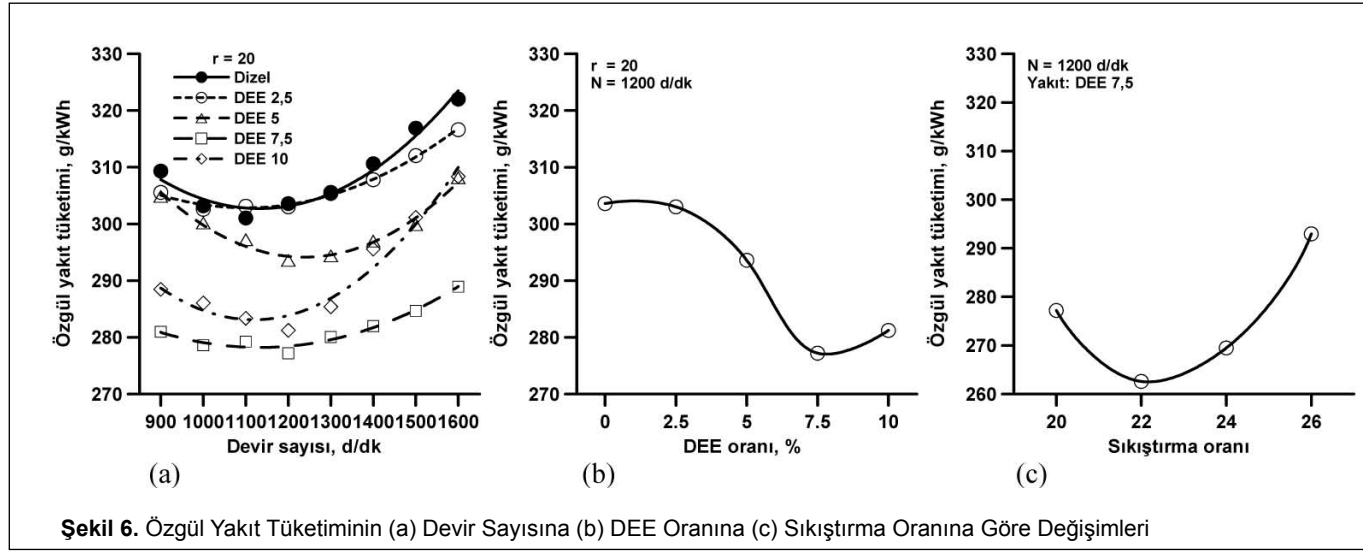
tif basıncındaki bu azalma döndürme momenti ve efektif güçteki düşüşün de bir göstergesidir. DEE karışımları kullanıldığında performans değerlerinde ortaya çıkan bu düşüş Tablo 1'de görüldüğü gibi DEE'nin ısı değeri dizel yakıtına göre daha düşük olmasının bir sonucudur. Şekil 4(c)'de ise DEE 7,5 karışımı için ortalama efektif basınç belli bir sıkıştırma oranına ( $r=22$ ) kadar artmış daha sonra azalmıştır. Tablo 1'de görüldüğü gibi DEE dizel yakıtına göre çok yüksek setan sayısına sahiptir. DEE'nin bu yüksek setan sayısının yüksek sıkıştırma oranı değerlerinde kontrolsüz yanmaya neden olarak ortalama efektif basıncı düşürmektedir. Bu durum deneysel çalışma sırasında gürültülü (vuruntulu) çalışma şeklinde kendini göstermiştir. Sıkıştırma oranı  $r=20$ 'den  $r=22$ 'ye çıkarıldığında ortalama efektif basınçta yaklaşık %6,5'lik artış olmuş, ancak  $r=26$  değerinde ortalama efektif basınçta %2,3'lük bir azalma meydana gelmiştir.

Şekil 5'te efektif verimin devir sayısına, DEE oranına ve sıkıştırma oranına göre değişimi verilmiştir. Şekil 5(a)'da tüm

yakıtlar için efektif verimin devir sayısına göre karakteristik değişimi görülmektedir. Şekil 7(b)'de efektif verim, %7,5 DEE karışım oranına kadar artmış, bu karışım oranından sonra ise azalma eğilimi göstermiştir. Böylece en yüksek efektif verim değeri, %10,9'luk artışla DEE7,5 karışımıyla elde edilmiştir. DEE oranına bağlı olarak efektif verimdeki bu değişimler şöyle açıklanabilir. DEE'nin fakirleştirici etkisi ve içeriğinde bulunan oksijen yanma odası içerisinde daha homojen bir yakıt-hava karışımı oluşmasına yardımcı olarak yanmanın iyileşmesini ve verimin artmasını sağlamıştır. Ancak DEE'nin belli bir orandan sonra artırılması, yukarıda açıklandığı üzere motor performansının önemli ölçüde azalmasına neden olduğundan yanmadaki iyileşmeye baskın hâle gelmekte ve efektif verim azalmaktadır. Şekil 7(c)'de ise DEE 7,5 karışımı için efektif verim belli bir sıkıştırma oranına ( $r=22$ ) kadar artmış daha sonra azalmıştır. Efektif verimde ortaya çıkan bu değişim, yukarıda ortalama efektif basınçla ilgili açıklamalara dayanmaktadır. Sıkıştırma oranı  $r=20$ 'den  $r=22$ 'ye çıkarıldı-



Şekil 5. Efektif Verimin (a) Devir Sayısına (b) DEE Oranına (c) Sıkıştırma Oranına Göre Değişimleri



ğında efektif verim yaklaşık %5,5'lik artış ve  $r=26$  değerinde efektif verimde %5,3'lük bir azalma olmuştur.

Özgül yakıt tüketiminin devir sayısına, DEE oranına ve sıkıştırma oranına göre değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Bilindiği gibi özgül yakıt tüketimi efektif verimle ters orantılı değişim gösteren bir karakteristiktir. Bu nedenle özgül yakıt tüketimi yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı %7,5 karışım oranına kadar azalmış, daha sonra artış eğilimi göstermiştir. Böylece en düşük özgül yakıt tüketimi %8,7 olarak DEE7,5 karışımıyla elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketiminin sıkıştırma oranına göre değişimi de efektif verimdeki değişimin tam tersi şeklindedir. Böylece DEE7,5 karışımı için  $r=22$  sıkıştırma oranı değerine kadar özgül yakıt tüketimi azalmış daha sonra artmıştır. Sıkıştırma oranı  $r=20$ 'den  $r=22$ 'ye çıkarıldığında özgül yakıt tüketimi yaklaşık %5,2 azalmış ve  $r=26$  değerinde özgül yakıt tüketimi yaklaşık %5,5 azalmıştır.

## 5. SONUÇLAR

Sunulan çalışmada dizel yakıtına hacimsel olarak farklı oranlarda (%2,5-10) dietil eter katılmasının motor performansına etkileri farklı çalışma koşullarında deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulguların ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir.

1. Dietil eterin fakirleştirici etkisi yakıt-hava ekivalans oranının azalmasını sağlamaktadır. Dizel yakıtına %10 dietil eter katılması ekivalans oranını yaklaşık %15,2 artırmaktadır. Ekivalans oranındaki bu azalmanın sonucunda yakıt-hava karışımının fakirleşmesiyle is ve katı parçacık emisyonlarında azalma beklenebilir.
2. Dietil eter karışımları dizel yakıtına göre daha düşük egzoz gazı sıcaklıkları vermektedir. Egzoz gazı sıcaklığındaki bu düşüşün yanma sıcaklıklarındaki düşüşten

kaynaklandığı ve böylece azot oksit emisyonlarında da bir düşüş beklenebilir.

3. Dietil eter-dizel yakıt karışımları ortalama efektif basınçta ve buna bağlı olarak da döndürme momenti ve efektif güçte bir miktar düşüşe neden olmaktadır. Performans değerlerindeki düşüşler dietil eter oranının artmasıyla artmaktadır. Ancak %7,5 karışım oranına kadar efektif verimde ve özgül yakıt tüketiminde iyileşme olmuş; ancak bu karışım oranından sonra efektif verim ve özgül yakıt tüketimi de olumsuz etkilenmiştir.
4. %7,5 dietil eter içeren yakıt karışımıyla farklı sıkıştırma oranlarında elde edilen sonuçlar ise motor performansında belli bir sıkıştırma oranına kadar ( $r=22$ ) iyileşme olduğunu, ancak sıkıştırma oranının daha fazla artırılmasının performansı olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.

## SEMBOLLER

(H/Y)	hava-yakıt oranı (kg hava/kg yakıt)
B	toplam yakıt tüketimi (kg/h)
$b_{mep}$	ortalama efektif basınç (kPa)
$b_e$	özgül yakıt tüketimi (kg yakıt/kWh)
$\eta_e$	efektif verim (%)
$H_u$	alt ısıl değer (kJ/kg)
$M_d$	döndürme momenti (Nm)
N	devir sayısı (d/dk)
$P_e$	efektif güç (kW)
$P_0$	ortam basıncı (MPa)
r	sıkıştırma oranı (boyutsuz)
$T_0$	ortam sıcaklığı (K)

U	belirsizlik (%)
$V_h$	strok hacmi
$X_{nem}$	nem faktörü (boyutsuz)
y	hacimsel oran (%)
Z	silindir sayısı (boyutsuz)

## Yunan harfleri

$\phi$	yakıt-hava ekivalans oranı (boyutsuz)
$\rho$	yoğunluk (kg/L)
$\omega$	açısal hız (rad/s)

## İndisler

e	efektif
g	gerçek
kar	karışım
s	stokiyometrik

## Kısaltmalar

DEE2,5	%2,5 DEE içeren yakıt karışımı
DEE5	%5 DEE içeren yakıt karışımı
DEE7,5	%7,5 DEE içeren yakıt karışımı
DEE10	%10 DEE içeren yakıt karışımı

## KAYNAKÇA

1. Geo, V. E., Nagarajan, G., Nagalingam, B. 2010. "Studies on Improving the Performance of Rubber Seed oil Fuel for Diesel Engine With DEE Port Injection," Fuel, vol. 89, p. 3559-3567.
2. Zhang, N., Di, Y., Huang, Z., Zhang, Z. 2010. "Flame Instability Analysis of Diethyl Ether-Air Premixed Mixtures at Elevated Pressures," Engineering Thermophysics, vol. 55, no. 3, p. 314-320.
3. Lu, X., Wu, T., Ji, L., Ma, J., Huang, Z. 2009. "Effect of Port Fuel Injection of Methanol on the Combustion Characteristics and Emissions of Gas-to-Liquid-Fueled Engines," Energy & Fuels, vol. 23, p. 719-724.
4. Anand, R., Mahalakshmi, N. V. 2007. "Simultaneous Reduction of NOx and Smoke From a Direct-Injection Diesel Engine With Exhaust Gas Recirculation and Diethyl Ether," Proc. Inst. Mech. Eng., Part D, vol. 221, p. 109-116.
5. Ren, Y., Huang, Z., Miao, H., Jiang, D., Zeng, K., Liu, B., Wang, X. 2007. Combustion and Emission Characteristics of a Direct-Injection Diesel Engine Fueled with Diesel-Diethyl Adipate Blends," Energy & Fuels, vol. 21, p. 1474-1482.
6. Iranmanesh, M., Subrahmanyam, J. P., Babu, M. K. G. 2008. "Potential of Diethyl Ether as Supplementary Fuel to Improve Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engines," SAE Paper 2008-28-0044.
7. Ashok, M. P., Saravanan, C. G. 2007. "Performance and Emission of the Emulsified Fuel in a DI Diesel Engine Using Oxygenated Additive Diethyl Ether with Surfactant of Span-80," Energy & Fuels, vol. 21, p. 1878-1882.
8. Bailey, B., Eberhardt, J., Gougen, S., Erwin, J. 1997. "Diethyl Ether (DEE) as a Renewable Diesel Fuel," SAE Paper 972978.
9. Kannan, T. K., Marappan, R. 2010. "Study of Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Using Thevetia Peruviana Biodiesel with Diethyl Ether Blends," European Journal of Scientific Research, vol. 43, no. 4, p. 563-570.
10. Pugazhivadivu, M., Rajagopan, S. 2009. "Investigations on a Diesel Engine Fuelled With Biodiesel Blends and Diethyl Ether as an Additive," Indian Journal of Science and Technology, vol. 2, no. 5, p. 31-35.
11. Iranmanesh, M., Subrahmanyam, J. P., Babu, M. K. G. 2008. "Potential of Diethyl Ether as a Blended Supplementary Oxygenated Fuel with Biodiesel to Improve Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engines," SAE Paper 2008-01-1805.
12. Ramadhas, A. S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C. 2008. "Experimental Investigations on Diethyl Ether as Fuel Additive in Biodiesel Engine," International Journal of Global Energy Issues, vol. 29, no. 3, p. 329-336.
13. Sezer, I. 2011. "Theoretical Analysis the Use of Dimethyl Ether and Diethyl Ether in a Diesel Engine," Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, vol. 27, no. 1, p. 139-154.
14. Sezer, I. 2002. "Experimental Investigation of the Effects of Blending Methanol and MTBE With Regular Gasoline on the Performance and Exhaust Emissions of SI Engines," M.S. thesis (in Turkish), Karadeniz Technical University.
15. Sezer, I., Bilgin, A. 2008. "Effects of Methyl Tert-Butyl Ether Addition to Base Gasoline on the Performance and CO Emissions of a Spark Ignition Engine," Energy & Fuels, vol. 22, p. 1341-1348.
16. Bilgin, A., Sezer, I. 2008. Effects of Methanol Addition to Gasoline on the Performance and Fuel Cost of a Spark Ignition Engine," Energy & Fuels, vol. 22, p. 2782-2788.
17. Holman, J. P. 2001. Experimental Methods for Engineers, 7th ed., McGraw-Hill, New York.
18. Kostic, M. 2003. "Unleashing Error or Uncertainty Analysis of Measurement Results," Presented at the NASA Faculty Fellowship Program Lecture Series.