

# DİETİL ETER–MOTORİN KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSINA ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

İsmet SEZER\*

\*Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, 29100, Bağlarbaşı–Gümüşhane  
[isezer@gumushane.edu.tr](mailto:isezer@gumushane.edu.tr)

(Geliş/Received: 02.03.2011; Kabul/Accepted: 28.11.2011)

## ÖZET

Bu çalışmada, dietil eter (DEE)–motorin karışımlarının motor performansına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Yakıt karışımları motorin içerisine hacimsel olarak %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranlarında dietil eter karıştırılarak hazırlanmıştır. Deneylerde direk enjeksiyonlu tek silindirli bir dizel deney motoru kullanılmış ve sıkıştırma oranı 20 seçilmiştir. Deneyler saf motorin ve dietil eter–motorin yakıt karışımları kullanılarak tam gaz durumunda ve farklı devir sayılarında yapılmıştır. Çalışma sonuçları motorine dietil eter katılmasının ortalama efektif basınç, döndürme momenti ve efektif güç gibi motor performans parametrelerinde düşüşe neden olduğunu göstermiştir. Performans parametrelerindeki düşüş artan karışım oranı ile artmıştır. Ortalama efektif basınçtaki maksimum düşüş %5,1 olarak DEE10 karışımı ile elde edilmiştir. Diğer taraftan, %7,5 karışım oranına kadar efektif verim artmış ve özgül yakıt tüketimi azalmıştır. Efektif verimde en yüksek artış %10,9 olarak DEE7,5 karışımı ile elde edilmiştir. Aynı yakıt karışımı özgül yakıt tüketiminde %8,7 düşüş sağlanmıştır. Ayrıca artan dietil eter oranı ile hava fazlalık katsayısında artış ve egzoz gazı sıcaklığında azalma meydana gelmiştir.

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

## EXPERIMENTAL INVESTIGATION THE EFFECTS OF DIETHYL ETHER-DIESEL FUEL BLENDS ON THE ENGINE PERFORMANCE

### ABSTRACT

In this study, the effects of diethyl ether (DEE)–diesel fuel blends on the performance of a diesel engine investigated experimentally. The blends were prepared with the addition of 2.5, 5, 7.5, and 10 vol. % of DEE with a specified amount of diesel fuel. In the experiments, a single cylinder direct injection (DI) diesel experimental engine was used and compression ratio was fixed at 20. The experiments were performed with neat diesel fuel and DEE–diesel fuel blends at various engine speeds and wide open throttle conditions. 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 maximum decrement in brake mean effective pressure was obtained with DEE10 blend as about 5.1%. However, brake thermal efficiency increases and brake specific fuel consumption decreases up to 7.5% DEE blending ratio. The maximum increment in brake thermal efficiency was obtained with DEE7.5 blend as about 10.9%. 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.

**Key Words:** Alternative fuels, diethyl ether blends, diesel engine, engine performance, fuel consumption.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dizel motorları yüksek verim ve yüksek moment, artan devir sayıları, dayanıklılık ve benzin motorlarına kıyasla daha düşük karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonu salınımı gibi üstünlükleri

sebebiyle özellikle hafif karayolu taşıtlarında son yıllarda daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, dizel motorları özellikle konvansiyonel yakıtlar kullanıldığında yüksek oranda azot oksit (NO<sub>x</sub>), is ve katı parçacık emisyonu üretirler [1–6]. Dizel motorlarında yakıt ekonomisi sağlamak ve

zararlı egzoz emisyonlarını azaltmak için bazı teknikler uygulanmaktadır [7]. 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 [8]. Oksijen içeren yakıtların (oksijenatlar) motorinde katkı olarak kullanımı; özellikle is ve katı parçacık emisyonlarının azaltılmasında ve yanmayı iyileştirerek motor performansının artırılmasında, motor tasarımında önemli değişiklikler yapılmadan, uygulanabilen etkili ve ekonomik bir yöntem olarak görülmektedir [5, 7]. Oksijenatlar içerisinde dietil eter (DEE) yüksek setan sayısı ve yüksek oksijen içeriği sayesinde motorin katkısı olarak öne çıkmaktadır. Aynı zamanda, DEE kabul edilebilir enerji içeriği, düşük tutuşma sıcaklığı, kolay buharlaşabilme özelliği ve korozif olmaması nedeniyle iyi bir dizel motor yakıtıdır [9, 10]. DEE etanoldan elde edildiği için yenilenebilir biyoyakıt olarak da değerlendirilmektedir. Ayrıca normal atmosfer şartlarında sıvı fazda olması sebebiyle istenen oranda motorine kolayca katılabilmektedir [11, 12]. Aslında, uzun zamandır dizel motorların soğuk havalarda çalıştırılmasında DEE'nin yardımcı olarak kullanımı bilinmekle birlikte, yakıt katkısı veya dizel motor yakıtı olarak kullanımı son zamanlarda ilgi çekmeye başlamıştır [13]. Bu nedenle literatürde DEE'nin dizel motor yakıtı veya yakıt katkısı olarak kullanımına yönelik oldukça az sayıda çalışma bulunmaktadır [7–16]. Bu çalışmada, DEE-motorin karışımlarının direkt enjeksiyonlu tek silindri bir dizel motorunun performansına etkileri sabit bir sıkıştırma oranı (20) için deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla farklı DEE-motorin karışımları ve motorinde elde edilen performans değerleri birbiriyle karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçların güvenilirliğini göstermek için belirsizlik analizi uygulanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1 Yakıtlar (Fuels)

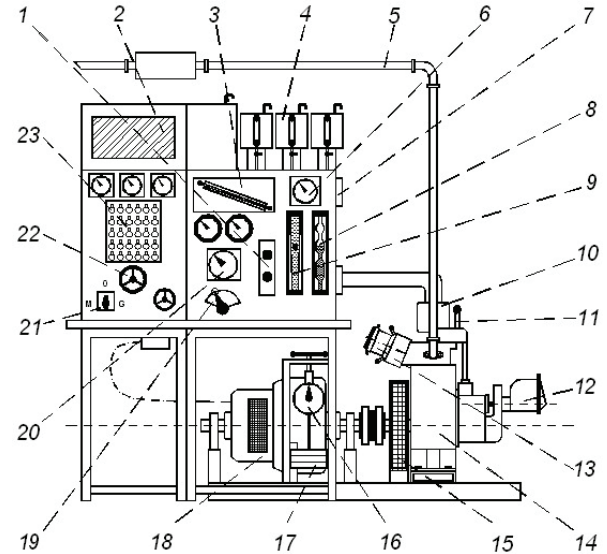
Bu çalışmada saflık derecesi %99'un üzerinde olan JT Baker marka DEE ve Euro-motorin kullanılmıştır. Belirli miktardaki motorin içerisine hacimsel olarak %2,5–10 oranında DEE karıştırılarak dört farklı yakıt karışımı hazırlanmıştır. Homojen bir karışım elde etmek ve faz ayrışmasını önlemek için yakıt karışımları deneyler sırasında hazırlanmıştır. Kullanılan motorin ve DEE'in başlıca özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kullanılan Yakıtların özellikleri (Properties of the fuels)

Özellik	Motorin	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	14,6	11,1
Buharlaştırma 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 Yöntem (Test Bed and Method)

Şekil 1'de görülen deneysel 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. Deneylerde sıkıştırma oranı 20 olarak seçilmiştir. Deneysel motorunun başlıca özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



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 değiştirme ünitesi
14. Deneysel 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

**Şekil 1.** Deneysel düzenek şematik görünümü (Schematic layout of experimental setup)

**Tablo 2.** Deney motorun özellikleri (Specification of the test engine)

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)

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–orifis çifti kullanılarak ölçülmüştür. Ayrıca deneyler sırasında egzoz gazı sıcaklığı ve hesaplamalarda kullanılmak amacıyla yaş ve kuru termometre sıcaklıkları ve ortam basıncı ölçülmüştür. Deneyler tam gaz durumunda ve farklı devir sayılarında (900–1600 d/d) gerçekleştirilmiş ve ölçümler motor kararlı çalışma rejimine ulaştıktan sonra alınmıştır. Ölçülen değerler kullanılarak hava fazlalık katsayısı, 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 atmosferik koşullara dönüştürülmüştür [17–19].

### 3. HESAPLAMALAR (CALCULATIONS)

#### 3.1 Motor Performans Parametrelerinin Hesabı (Calculation of Engine Performance Parameters)

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 atmosferik 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.

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

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

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

$$AID = 1000[33,91 c' + 125,6 h' - 10,89 (o' - s') - 2,51 (h' - w')] \quad (6)$$

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

Hava fazlalık katsayısı ( $\alpha$ ) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

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

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 değer  $AID_{kar}$  aşağıdaki gibi belirlenir.

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

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

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

#### 3.2 Belirsizlik Analizi (Uncertainty Analysis)

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 [20–21]. Bu yöntem göre  $x_1, x_2, \dots, x_n$  gibi 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.

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

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.

Tablo 3. Belirsizlik değerlerinin devir sayısına göre değişimleri (Variation of uncertainty values to engine speed)

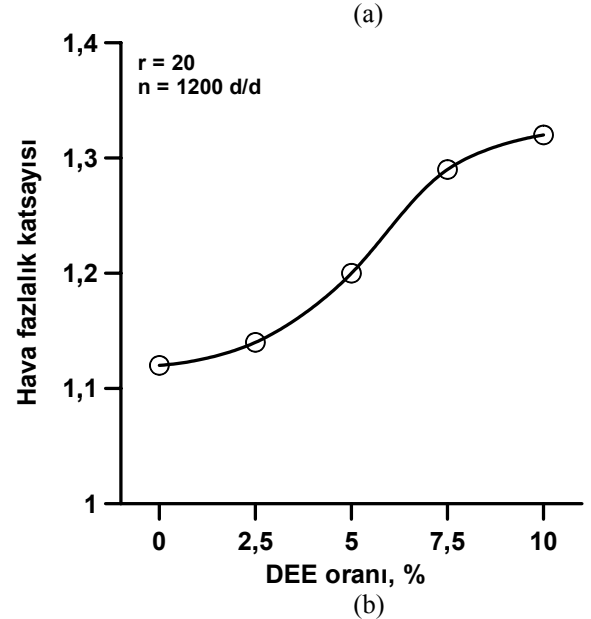
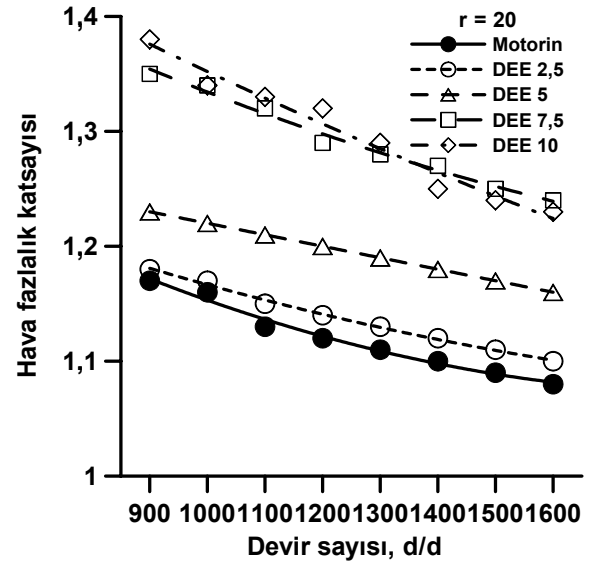
n	Belirsizlik Değerleri				
	$M_d$ (%)	$N_c$ (%)	$P_{me}$ (%)	$b_c$ (%)	$\eta_c$ (%)
900	0,005	0,456	0,618	0,885	0,913
1000	0,005	0,454	0,616	0,959	0,994
1100	0,005	0,45	0,613	1,036	1,079
1200	0,005	0,447	0,611	1,114	1,167
1300	0,005	0,443	0,608	1,206	1,27
1400	0,005	0,442	0,607	1,287	1,361
1500	0,005	0,444	0,609	1,355	1,44
1600	0,005	0,447	0,611	1,422	1,517

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

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Şekil 2(a)'da hava fazlalık katsayısının devir sayısına göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi hava fazlalık katsayısı artan devir sayısı ile azalmakta olup tüm yakıtlar için benzer karakteristiğe sahiptir. Hava fazlalık katsayısının devir sayısı ile azalması dizel motorlarda artan devir sayısı ile püskürtülen yakıt miktarının artmasının bir sonucudur. Ayrıca yüksek devir sayılarında motorun hacimsel veriminde meydana gelen düşüş de bu devirlere ait hava fazlalık katsayısının azalmasında etkili olmaktadır. DEE oranına göre hava fazlalık katsayısının değişimi ise 1200 d/d için Şekil 2(b)'de verilmiştir. Karışım oranının etkisini göstermek için 1200 d/d seçilmesinin nedeni ise aşağıda performans parametreleri ile ilgili grafiklerde görüleceği gibi bu devir sayısının en iyi performans değerlerini vermiş olmasıdır. Şekilden görüldüğü gibi DEE oranı arttıkça hava fazlalık katsayısı artmaktadır. Bu değişim zaten fakir karışımla çalışan dizel motorlarda DEE katkısının karışımı daha da fakirleştirdiğini göstermektedir. Hava fazlalık katsayısındaki bu artışın DEE'nin fakirleştirici etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. DEE moleküler yapısının küçük

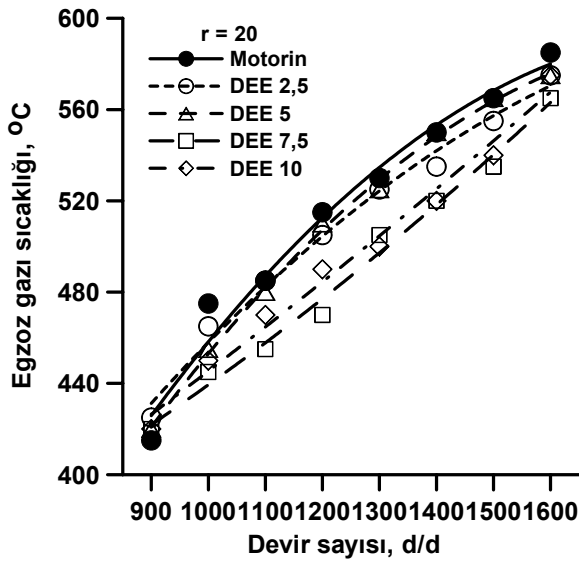
olması ve içeriğinde oksijen bulunması sebebiyle Tablo 1'de görüldüğü gibi motorine göre daha düşük stokiometrik hava-yakıt oranına sahiptir. Bu nedenle karışım içerisinde DEE oranı arttıkça karışımın stokiometrik hava-yakıt oranı azalmakta dolayısıyla eşitlik (7)'den görüleceği gibi hava fazlalık katsayısı artmakta ve yakıt-hava karışım daha da fakirleşmektedir. Hava fazlalık katsayısındaki maksimum artış ise yaklaşık %17,8 olarak DEE10 karışımıyla elde edilmiştir.



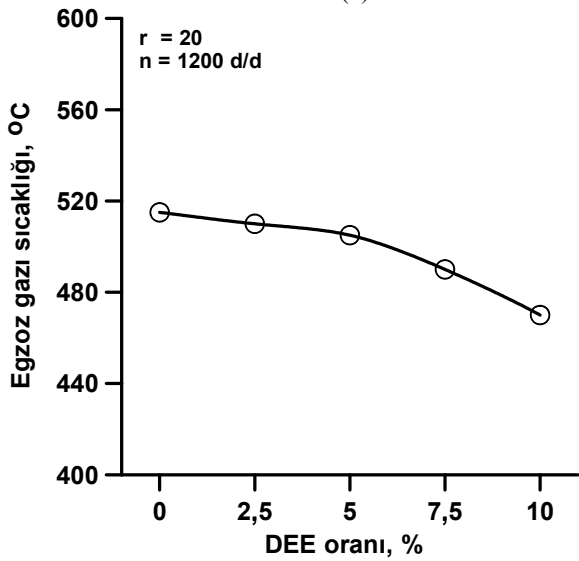
Şekil 2. Hava fazlalık katsayısının (a) devir sayısına göre (b) DEE oranına göre değişimi (Variation of the air excess coefficient to (a) engine speed (b) DEE ratio)

Şekil 3'te egzoz gazı sıcaklığının devir sayısına ve DEE oranına göre değişimi verilmiştir. Şekil 3(a)'da egzoz gazı sıcaklığı artan devir sayısı ile artış göstermektedir. Bu durum Şekil 2(a)'da görüldüğü gibi devir sayısı arttıkça hava fazlalık katsayısının azalması sonucu silindire daha fazla miktarda yakıt dolayısıyla daha fazla enerji girmesinden kaynaklanır.

Ayrıca devir sayısı arttıkça çevrim için geçen süre kısaldığından soğutma suyuna ve çevreye olan ısı transferi miktarı azalmakta bunun sonucu olarak da yanmış gazlar daha yüksek sıcaklıkta egzozdan atılmaktadır. Şekil 3(b)'de 1200 d/d için egzoz gazı sıcaklığının DEE oranına göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi egzoz sıcaklığı artan DEE oranı ile azalmaktadır. Bu durumun Tablo 1'de görüldüğü gibi DEE'in motorine kıyasla daha düşük ısısal değere ve daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmasıyla açıklanabilir. Yakıt karışımı içerisinde DEE oranı arttıkça karışımın ısısal 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 sağlamaktadır.



(a)

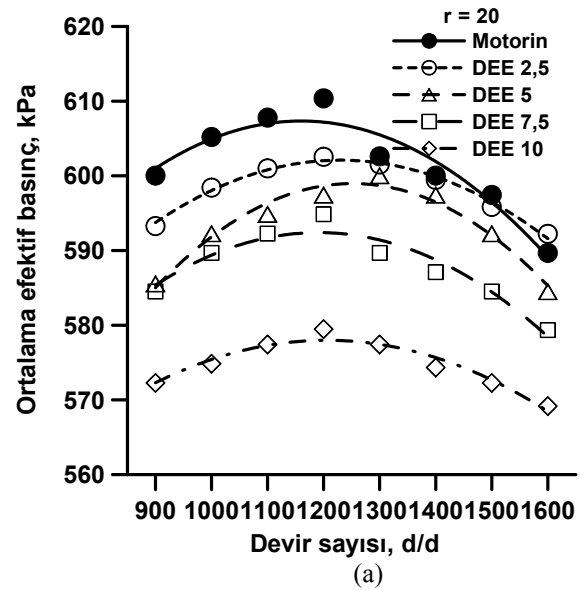


(b)

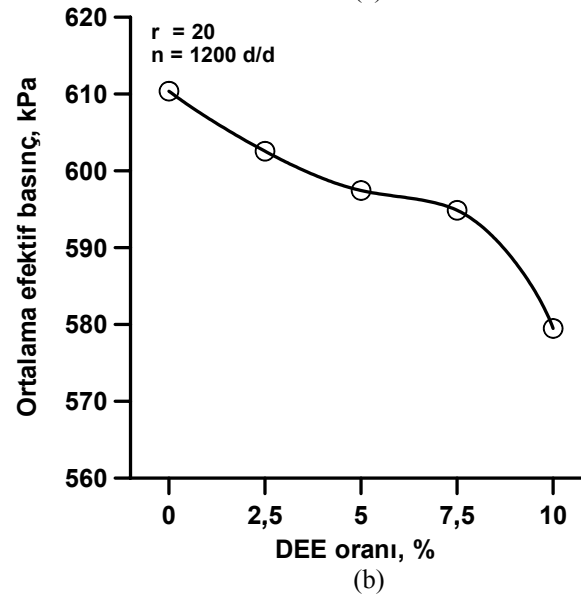
Şekil 3. Egzoz gazı sıcaklığının (a) devir sayısına göre (b) DEE oranına göre değişimi (Variation of the exhaust gas temperature to (a) engine speed (b) DEE ratio)

Egzoz gazı sıcaklığındaki maksimum azalma %8,7 olarak DEE10 karışımıyla elde edilmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi egzoz gazı sıcaklığındaki düşüş yanma sıcaklıklarındaki düşüşün bir göstergesidir [8]. Böylece literatürde de belirtildiği gibi DEE karışımları kullanıldığında yanma sıcaklıklarındaki düşüşe bağlı olarak NO<sub>x</sub> emisyonunda azalma olması beklenmektedir [7, 9, 13]. Ayrıca yine literatürde belirtildiği üzere, DEE karışımlarının fakirleştirici etkisi sonucu is ve katı parçacık emisyonlarında da bir azalma olacağı söylenebilir [8, 9, 13].

Şekil 4'te ortalama efektif basıncın devir sayısına ve DEE oranına göre değişimi verilmiştir. Şekil 4(a)'da görüldüğü gibi ortalama efektif basınç 1200 d/d civarında maksimum değerine ulaşmış olup tüm yakıtlar için benzer eğriler elde edilmiştir.



(a)

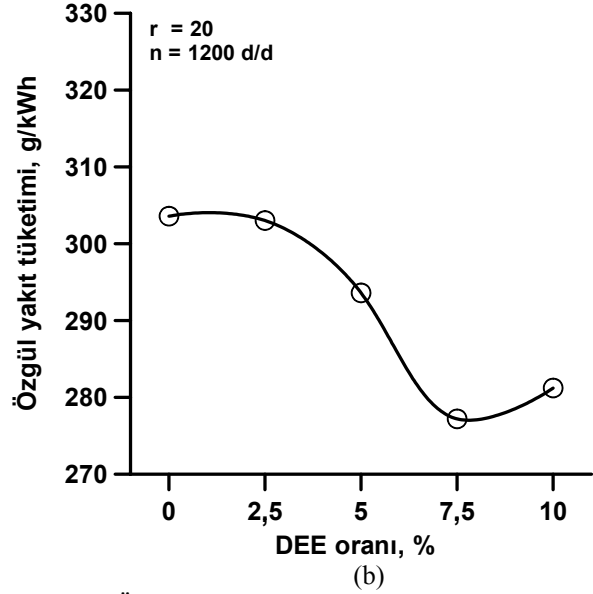
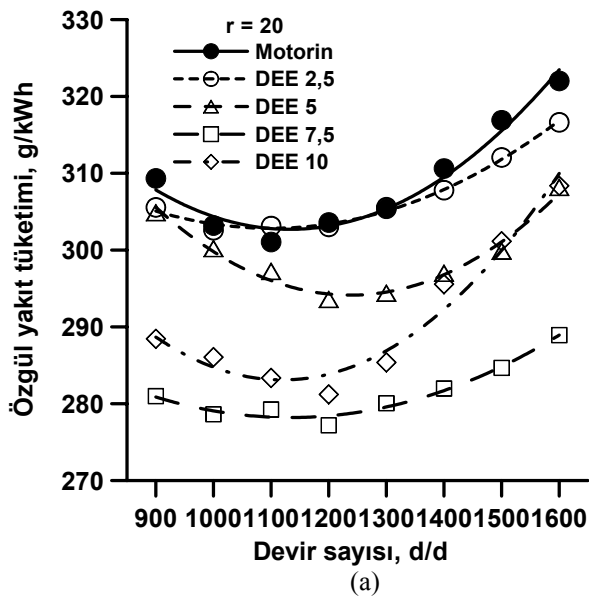


(b)

Şekil 4 Ortalama efektif basıncın (a) devir sayısına göre (b) DEE oranına göre değişimi (Variation of the mean effective pressure to (a) engine speed (b) DEE ratio)

Şekil 4(a)'da ortaya çıkan ortalama efektif basınç devir sayısına göre değişimi içten yanmalı motorlara özgü karakteristik bir değişimdir. 1200 d/d için DEE oranının etkisini gösteren Şekil 4(b)'de ise ortalama efektif basınç artan DEE oranı ile azalmış olmakla birlikte %2,5 ve %5 karışım oranlarıyla elde edilen değerler motorine ait değerlere oldukça yakındır. Ancak özellikle %10 karışım oranında ortalama efektif basınçta önemli miktarda düşüş meydana gelmiş ve motorinle kıyaslandığında DEE10 karışımı %5,1'lik azalma ile en düşük ortalama efektif basınç değerini vermiştir. Ortalama efektif basınçtaki bu azalma aynı zamanda döndürme momenti ve efektif güçteki düşüşün de bir göstergesidir. Özellikle %10 karışım oranında ortalama efektif basınçta ortaya çıkan bu yüksek düşüş Tablo 1'de görüldüğü gibi DEE'nin ısısal değerinin (enerji içeriğinin) motorine göre daha düşük olmasının bir sonucudur. Öte yandan deneylerde motorun yakıt sisteminde herhangi bir değişiklik yapılmadığından hacimsel olarak silindire giren yakıt yaklaşık sabit kalmasına karşın Tablo 1'de görüleceği gibi DEE'nin yoğunluk değeri motorine göre daha düşük olduğundan kütleli olarak silindire giren toplam yakıt azalmaktadır. Bu ise karışımdaki DEE oranı arttıkça silindire giren enerjinin daha da düşmesine neden olarak ortalama efektif basınç ve buna bağlı olarak moment ve gücü düşürmektedir.

Özgül yakıt tüketiminin devir sayısına ve DEE oranına göre değişimleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekil 5(a)'da tüm yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin devir sayısına göre karakteristik değişimi görülmektedir. Şekil 5(b)'de ise 1200 d/d için DEE oranına göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi %7,5 DEE oranına kadar özgül yakıt tüketimi düşmüş bu karışım oranından sonra ise artış eğilimi göstermiştir. Böylece en düşük özgül yakıt tüketimi %8,7 olarak DEE7,5 karışımıyla elde edilmiştir.

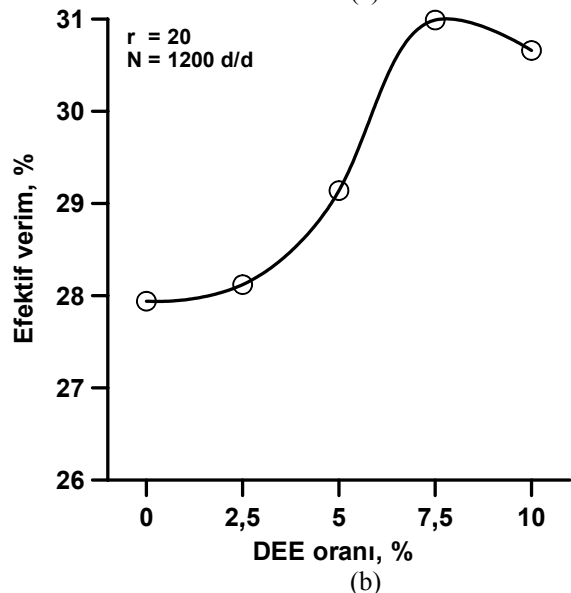
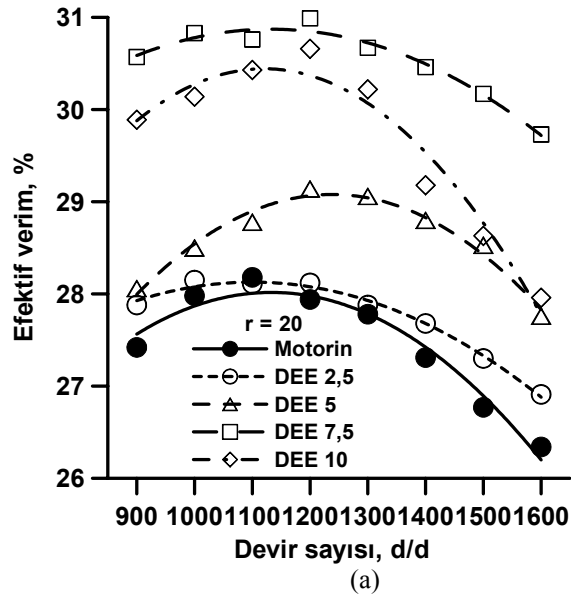


Şekil 5. Özgül yakıt tüketiminin (a) devir sayısına göre (b) DEE oranına göre değişimi (Variation of the brake specific fuel consumption to (a) engine speed (b) DEE ratio)

Yukarıda belirtildiği gibi deneylerde motorun yakıt sisteminde değişiklik yapılmadığından ve DEE motorine göre daha düşük yoğunluğa sahip olduğundan eşitlik (6)'da görülen toplam kütleli yakıt tüketimi ( $B$ ) değeri DEE karışımları için azalmaktadır. Bunun sonucunda DEE karışımları için ortalama efektif basınç değerleri düşük olmasına karşın özgül yakıt tüketimi belirli bir karışım oranına kadar iyileşmektedir. Ancak %10 karışım oranında Şekil 4(a) ve (b)'de de görüldüğü gibi ortalama efektif basınçta önemli miktarda düşüş olduğundan özgül yakıt tüketiminde de artış eğilimi meydana gelmiştir.

Şekil 6'da efektif verimin devir sayısına ve DEE oranına göre değişimi verilmiştir. Şekil 6(a)'da tüm yakıtlar için efektif verimin devir sayısına göre karakteristik değişimi görülmektedir. Şekil 6(b)'de ise 1200 d/d için efektif verimin DEE oranına göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi efektif verim %7,5 DEE oranına kadar artmış bu karışım oranından sonra ise düşüş eğilimi göstermiştir. Böylece en yüksek efektif verim değeri %10,9'luk bir artışla DEE7,5 karışımıyla elde edilmiştir. DEE oranına bağlı olarak efektif verimde meydana gelen bu değişimler şöyle açıklanabilir. DEE'nin fakirleştirici etkisi (birim yakıt başına düşen hava miktarının artması) ve içeriğinde bulunan fazladan oksijen silindirde yanabilen yakıt miktarını artırıp yanmayı iyileştirerek efektif verimin artmasına katkı sağlamaktadır. Öte yandan Tablo 1'de görüldüğü gibi DEE'nin setan sayısı motorine göre çok yüksektir. Bu nedenle belirli bir DEE oranından sonra silindire püskürtülen yakıtın tutuşma süresi çok kısalarak yanma hızı aşırı artmakta bunun sonucunda oluşan kontrolsüz yanma sebebiyle silindir içerisinde sıcaklıklar ani şekilde yükselerek ısı kayıpları artmakta ve silindir basıncı dolayısıyla ortalama

efektif basınç ve buna bağlı olarak da efektif verim düşmektedir. Ayrıca, bu durum eşitlik (7)'ye bağlı olarak şu şekilde de açıklanabilir. Yukarıda belirtildiği gibi DEE karışımları kullanıldığında toplam kütesel yakıt tüketimi ve eşitlik (7)'de görülen yakıtın alt ısıl değeri (*AID*) azalmaktadır. Bunun sonucunda efektif verimde bir artış meydana gelmektedir. Ancak yukarıda belirtildiği gibi belirli bir karışım oranından sonra ortalama efektif basınçta ve buna bağlı olarak güçte meydana gelen yüksek düşüş efektif verimi de azaltmaktadır.



Şekil 6. Efektif verimin (a) devir sayısına göre (b) DEE oranına göre değişimi (Variation of the brake thermal efficiency to (a) engine speed (b) DEE ratio)

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Sunulan çalışmada motorine hacimsel olarak farklı oranlarda (%2,5–10) dietil eter katılmasının motor performansına etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

Çalışmadan elde edilen bulguların ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir.

1. Dietil eterin fakirleştirici etkisi hava fazlalık katsayısının arttırmakta diğer bir ifadeyle yakıt–hava karışımını daha da fakirleştirmektedir. Motorine %10 oranında dietil eter katılması hava fazlalık katsayısını %15,2 oranında arttırmaktadır. Yakıt–hava karışımındaki bu fakirleşmesinin is ve katı parçacık emisyonlarını azaltacağı literatürde belirtilmektedir.
2. Dietil eter karışımları motorine göre daha düşük egzoz gazı sıcaklıkları vermektedir. Egzoz gazı sıcaklığındaki bu düşüşün yanma sıcaklıklarındaki düşüşten kaynaklandığı ve buna bağlı olarak azot oksit emisyonlarında da bir düşüş meydana geleceği literatürde belirtilmektedir.
3. Dietil eter–motorin karışımları kullanıldığında ortalama efektif basınçta ve buna bağlı olarak moment ve güçte farklı oranlarda düşüşler olmaktadır. Motor performans değerlerindeki bu düşüşler karışımdaki dietil eter oranının artmasıyla artmaktadır. Ancak %7,5 karışım oranına kadar efektif verimde ve özgül yakıt tüketimde iyileşme elde edilmiş, bu karışım oranından sonra efektif verim ve özgül yakıt tüketimi de olumsuz yönde etkilenmiştir.
4. Bu çalışma sonuçlarına göre %7,5 dietil eter içeren yakıt karışımı yaklaşık olarak efektif verimde %10,9, özgül yakıt tüketiminde %8,7 iyileşme ve motor performansında %2,5 düşüşle uygun bir karışım olarak önerilebilir. Performans değerindeki düşüş yakıt sisteminde her hangi bir değişiklik yapılmadığı durumunda geçerlidir. Yakıt sisteminde yapılacak küçük değişikliklerle azaltılabilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir.

## SEMBOLLER DİZİNİ (NOMENCLATURE)

<i>AID</i>	yakıtın alt ısıl değeri (kJ/kg)
<i>B</i>	toplam yakıt tüketimi (kg/h)
<i>b<sub>e</sub></i>	özgül yakıt tüketimi (kg yakıt/kWh)
<i>F</i>	kuvvet (N)
<i>H/Y</i>	hava-yakıt oranı (kg hava/kg yakıt)
<i>L</i>	uzunluk (m)
<i>M<sub>d</sub></i>	döndürme momenti (Nm)
<i>ṁ</i>	kütesel debi (kg/s)
<i>n</i>	devir sayısı (d/d)
<i>N<sub>e</sub></i>	efektif güç (kW)
<i>P<sub>me</sub></i>	ortalama efektif basınç (kPa)
<i>p<sub>0</sub></i>	ortam basıncı (MPa)
<i>r</i>	sıkıştırma oranı (boyutsuz)
<i>T<sub>0</sub></i>	ortam sıcaklığı (K)
<i>U</i>	belirsizlik (%)
<i>V<sub>h</sub></i>	strok hacmi
<i>X<sub>nem</sub></i>	nem faktörü (boyutsuz)
<i>y</i>	hacimsel oran (%)
<i>z</i>	silindir sayısı (boyutsuz)

## Yunan harfleri (Greek Letters)

$\alpha$	hava fazlalık katsayısı (boyutsuz)
$\eta_e$	efektif verim (%)
$\rho$	yoğunluk (kg/L)
$\omega$	açıl hız (rad/s)

**İndisler (Subscripts)**

e	efektif
g	gerçek
kar	karışım
s	stokiometrik

**Kısaltmalar (Abbreviations)**

DEE	dietil eter
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

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- Özsezen, A.N. ve Çanakçı, M. “An Investigation of the Effect of Methyl Ester Produced from Waste Frying Oil on the Performance and Emissions of an IDI Diesel Engine”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Volume 23, Issue 2, 395–404, 2008.
- Can, Ö., Çınar C. ve Şahin, F. “The Investigation of the Effects of Premixed Gasoline Charge on HCCI–DI Engine Combustion and Exhaust Emissions”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Volume 24, Issue 2, 229–236, 2009.
- Aktaş, A. ve Doğan, O. “Effects of LPG Percentage to Performance and Exhaust Emissions in a Dual Fuel Engine”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, Volume 25, Issue 1, 171–178, 2010.
- Geo, V.E., Nagarajan, G. ve Nagalingam, B. “Studies on Improving The Performance of Rubber Seed Oil Fuel for Diesel Engine with DEE Port Injection”, **Fuel**, Volume 89, Issue 11, 3559–3567, 2010.
- Zhang, N., Di, Y., Huang, Z. ve Zhang, Z. “Flame Instability Analysis of Diethyl Ether–Air Premixed Mixtures at Elevated Pressures”, **Engineering Thermophysics**, Volume 55, Issue 3, 314–320, 2010.
- Lu, X., Wu, T., Ji, L., Ma, J. ve Huang, Z. “Effect of Port Fuel Injection of Methanol on the Combustion Characteristics and Emissions of Gas-to-Liquid–Fueled Engines”, **Energy & Fuels**, Volume 23, Issue 2, 719–724, 2009.
- Anand, R. ve Mahalakshmi, N.V. “Simultaneous Reduction of NO<sub>x</sub> and Smoke from a Direct–Injection Diesel Engine with Exhaust Gas Recirculation and Diethyl Ether”, **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, Volume 221, Issue 1, 109–116, 2007.
- Ren, Y., Huang, Z., Miao, H., Jiang, D., Zeng, K., Liu, B. ve Wang, X. “Combustion and Emission Characteristics of a Direct–Injection Diesel Engine Fueled with Diesel–Diethyl Adipate Blends”, **Energy & Fuels**, Volume 21, Issue 3, 1474–1482, 2007.
- Iranmanesh, M., Subrahmanyam, J.P. ve Babu, M.K.G. “Potential of Diethyl Ether as Supplementary Fuel to Improve Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engines”, **SAE Paper 2008–28–0044**, 305–312, 2008.
- Ashok, M.P. ve Saravanan, C.G. “Performance and Emission of the Emulsified Fuel in a DI Diesel Engine Using Oxygenated Additive Diethyl Ether with Surfactant of Span–80”, **Energy & Fuels**, Volume 21, Issue 4, 1878–1882, 2007.
- Bailey, B., Eberhardt, J., Gougen, S. ve Erwin, J. “Diethyl Ether (DEE) as a Renewable Diesel Fuel”, **SAE Paper 972978**, 1997.
- Kannan, T.K. ve Marappan, R. “Study of Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Using Thevetia Peruviana Biodiesel with Diethyl Ether Blends”, **European Journal of Scientific Research**, Volume 43, Issue 4, 563–570, 2010.
- Pugazhavadivu, M. ve Rajagopan, S. “Investigations on a Diesel Engine Fuelled with Biodiesel Blends and Diethyl Ether as an Additive”, **Indian Journal of Science and Technology**, Volume 2, Issue 5, 31–35, 2009.
- Iranmanesh, M., Subrahmanyam, J.P. ve Babu, M.K.G. “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**, 2008.
- Ramadhass, A.S. Jayaraj, S. ve Muraleedharan, C. “Experimental Investigations on Diethyl Ether as Fuel Additive in Biodiesel Engine”, **International Journal of Global Energy Issues**, Volume 29, Issue 3, 329–336, 2008.
- Sezer, I. “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**, Volume 27, Issue 1, 139–154, 2011.
- Sezer, I., **Normal Benzine Metanol ve MTBE Katılmasının Buji Ateşlemeli Motorun Performansına ve Eksoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel İncelenmesi**, Master Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- Sezer, I. ve Bilgin, A. “Effects of Methyl *tert*-Butyl Ether Addition to Base Gasoline on the Performance and CO Emissions of a Spark Ignition Engine”, **Energy & Fuels**, Volume 22, Issue 2, 1341–1348, 2008.
- Bilgin, A. ve Sezer, I. “Effects of Methanol Addition to Gasoline on the Performance and Fuel Cost of a Spark Ignition Engine”, **Energy & Fuels**, Volume 22, Issue 4, 2782–2788, 2008.
- Holman, J.P., **Experimental Methods for Engineers**, 7th edition, McGraw–Hill, New York, A.B.D., 2001.
- Kostic, M. “Unleashing Error or Uncertainty Analysis of Measurement Results”, **NASA Faculty Fellowship Program Lecture Series**, Presented at Ohio Aerospace Institute Lecture Hall, Ohio, 1–11, 1 August 2003.