



DİZEL YAKITINA ETANOL VE DİETİL ETER KATILMASININ MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYONLARA ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

İsmet SEZER*

*Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
29100 Bağlarbaşı, Gümüşhane, isezer@gumushane.edu.tr

(Geliş Tarihi: 26.04.2016, Kabul Tarihi: 23.09.2016)

Özet: Bu çalışmada, etanol ve dietil eterin dizel yakıtına katılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde %15 etanol, %15 etanol ile %2 dietil eter ve %15 etanol ile %4 dietil eter içeren üç farklı yakıt karışımı ve dizel yakıtı kullanılmıştır. Deneyler tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motoru kullanılarak 1500 d/dk sabit devir sayısında ve farklı yüklenme durumlarında gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtı ve yakıt karışımları için püskürtme, yanma, performans ve emisyon parametreleri değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçları, etanol ve dietil eter yakıt karışımlarının püskürtme basıncında düşüşe ve dietil eter katkısının püskürtme zamanında gecikmeye neden olduğunu göstermiştir. Yanmanın ilk aşamasında kütleli yanma oranı etanol ve dietil eter karışımları için düşük değerler alırken yanmanın ilerleyen aşamasında kütleli yanma oranı dietil eter içeren karışımlar için artış göstermiştir. Ayrıca, etanol ve dietil eter yakıt karışımları silindir basıncı ve sıcaklığında azalmaya neden olmuştur. Etanol ve dietil eter yakıt karışımları kullanıldığında hava fazlalık katsayısı %9,3–10,4 oranında artarken egzoz gazı sıcaklığı %4,8–5,5 oranında azalmıştır. Etanol karışımı motor gücünde %1,4 oranında düşüşe neden olurken, dietil eter karışımları için güçteki azalma %0,3–1,1 arasında kalmıştır. Etanol ve dietil eter karışımları efektif verimde %14,7–17,2 oranında artış ve özgül yakıt tüketiminde %8,5 oranında azalma sağlamıştır. Yakıt karışımları kullanıldığında NO_x emisyonunda %6,8–18,2 ve CO₂ emisyonunda %10,3–13,8 oranında azalma sağlanmıştır. Yakıt karışımları HC emisyonunda %5–12,5 artışa neden olurken, CO emisyonu motor yüküne bağlı olarak dalgalanmalar göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel yakıt karışımları, Motor performansı, Egzoz emisyonları, Etanol, Dietil eter.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION THE EFFECTS OF ETHANOL AND DIETHYL ETHER ADDITION INTO DIESEL FUEL ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

Abstract: In this study, effects of ethanol and diethyl ether addition into diesel fuel on the performance and emissions of a diesel engine were experimentally investigated. A commercial diesel fuel and three different blends prepared with 15% ethanol, 15% ethanol and 2% diethyl ether and 15% ethanol and 4% diethyl ether were used in the tests. The experiments were performed at an engine speed of 1500 rpm and under various loads by using a single cylinder direct injection diesel engine. The injection, combustion, performance and emissions parameters were evaluated for baseline fuel and blends. The results show that, the injection pressure decreases for all blends, and diethyl ether addition causes a delay in the injection timing. The burnt mass fraction is lower for ethanol and diethyl ether blends during early combustion phase, while it increases for diethyl ether blends during the progressive combustion phase. Ethanol and diethyl ether blends also give the reductions in the cylinder pressure and temperature. Air excess coefficient increases the rate by 9.3–10.4%, but exhaust gas temperature decreases the rate by 4.8–5.5% when using ethanol and diethyl ether blends. Although ethanol blend causes a decrement of 1.4% in engine power, reductions in engine power are between 0.3% and 1.1% for diethyl ether blends. Both ethanol and diethyl ether blends yield increments the rate by 14.7–17.2% in brake thermal efficiency and a reduction of 8.5% in brake specific fuel consumption. The reductions were obtained the rate by 6.8–18.2% for NO_x and 10.3–13.8% for CO₂ emissions, when using the blended fuels. Ethanol and diethyl ether blends cause the increments the rate by 5–12.5% for HC emission, while CO emission fluctuates depending on the engine load.

Keywords: Diesel fuel blends, Engine performance, Exhaust emissions, Ethanol, Diethyl ether.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

AFR hava–yakıt oranı (kg hava/kg yakıt)
BP efektif güç (kW)
BSFC özgül yakıt tüketimi (kg yakıt/kWh)
BTE efektif termik verim, (%)
CN setan sayısı (–)
EGT egzoz gazı sıcaklığı (°C)
HV buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)
LHV alt ısı değer (kJ/kg)

N devir sayısı (d/dk)
TPU toplam belirsizlik oranı (%)
U belirsizlik (%)
y karışımdaki her bir yakıtın hacimsel oranı (%)
Yunan Harfleri
v kinematik viskozite (mm²/s–cSt)
ρ yoğunluk (kg/L)
Alt İndisler
b karışım
s stokiyometrik

Kısaltmalar

D	dizel yakıtı
E15	%15 etanol içeren karışım
E15DEE2	%15 etanol %2 dietil eter içeren karışım
E15DEE4	%15 etanol %4 dietil eter içeren karışım

GİRİŞ

Dizel motorları, benzin motorlarına göre daha verimli olmaları ve dizel yakıtının benzine göre daha ucuz olması nedeniyle; özellikle inşaat, nakliyat ve tarım gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Koç ve Abdullah, 2013; Putrasari vd, 2013). Ancak petrol fiyatlarının sürekli artışı ve hava kirliliği ile ilgili sorunlar benzinli motorlarda olduğu gibi dizel motorlarda da alternatif yakıtlar üzerine çalışmaların yapılmasını zorunlu hale getirmiştir. Araştırılacak alternatif yakıtların gelecekteki enerji ihtiyacını karşılaması ve zararlı emisyonları olabildiğince azaltması hedeflenmektedir (Agarwal, 2007; Murcak vd, 2015). Çeşitli alternatif yakıtlar arasında biyodizel ve etanol yerel biyokütle kaynaklarından üretilmeleri nedeniyle oldukça ümit verici olarak görülmektedir (Agarwal vd, 2016; Praptijantoa vd, 2015; Rakopoulos vd, 2008;). Biyodizel yapısında oksijen bulunan ve kükürt içermeyen önemli alternatif dizel motor yakıtlarından birisi olup bitkisel yağlardan (Banapurmath vd, 2008; Çelik vd, 2016) atık kızarma yağlarından (Rao vd, 2008; Najafi vd, 2007) ve hayvansal yağlardan (Aydoğan, 2015; da Cunha vd, 2009) üretilmektedir. Biyodizel, dizel yakıtına yakın ısı değeri ve yüksek setan sayısı sayesinde dizel motorlarda doğrudan veya dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Ancak, biyodizelin motor gücü ve verimde düşüşe, yüksek viskozite ve düşük uçuculuk gibi özellikleri nedeniyle uzun süreli kullanımda karbon birikimine neden olduğu belirtilmektedir (Demirbas ve Karlioglu, 2007; Lahane ve Subramanian, 2015). Bazı alkoller ve bunların türevi olan çeşitli eterler dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak kullanılacak diğer alternatif yakıtlar arasındadır (Rakopoulos vd, 2014). Oksijen içerikli bu yakıtların petrol türevli yakıtlara karıştırılarak kullanımı, motor tasarımında değişiklik yapılmadan emisyonları ve konvansiyonel yakıt tüketimini azaltmanın etkili bir yöntemi olarak görülmektedir (Ren vd, 2008). Etanol ve onun türevi olan dietil eter (DEE) yenilenebilir biyokütle kaynaklarından üretilmeleri sebebiyle tercih edilebilecek yakıtlar arasındadır. Ancak, setan sayısının çok düşük olması nedeniyle etanolun, %10'un üzerindeki karışım oranlarında dizel yakıtının tutuşma karakteristiklerini olumsuz yönde etkilediği ve bu nedenle setan artırıcı kullanılması gerektiği belirtilmektedir (Yahuza ve Dandakouta, 2015). Diğer taraftan, dietil eter dizel yakıt katkısı olarak önemli avantajlara sahiptir. Atmosferik koşullarda sıvı fazda olması dietil eterin taşınmasını ve depolanmasını kolaylaştırmaktadır. Setan sayısının yüksek ve ısı değeri makul düzeyde olmasının yanında, oksijen içeriğinin yüksek, tutuşma ve buharlaşma özelliklerinin iyi olması dietil eteri cazip hale getirmektedir. Bu özellikleri sayesinde dietil eterin motor performansını iyileştirmesi, zararlı emisyonları azaltması ve soğuk havalarda motorun çalışmasını kolaylaştırması mümkündür (Sezer, 2011).

Etanolun dizel motorlarda kullanımına yönelik literatürde oldukça fazla sayıda çalışma vardır (Gnanamoorthi ve Devaradjane, 2015; Park vd, 2010; Rakopoulos vd, 2008).

Ancak, etanol ile birlikte dietil eterin kullanıldığı çalışmalar (Iranmanesh, 2013; Nagdeote ve Deshmukh, 2012; Paul vd, 2015) oldukça sınırlıdır. Dolayısıyla, etanol–dizel karışımlarına dietil eter katılmasının etkileri detaylı olarak incelenerek literatüre katkı sağlanabilir. Bu çalışmada %15 etanol içeren karışım seçilmiş ve bu karışıma setan artırıcı olarak sırasıyla %2 ve %4 oranında dietil eter katılıp olası iyileşmelerin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için dizel yakıtı ve incelenen tüm karışımlar için püskürtme, yanma, performans ve emisyon parametreleri değerlendirilmiştir. Böylece %15 gibi kritik oranda etanol içeren dizel–etanol karışımına dietil eter katkısının etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Yakıtlar

Deneyisel çalışmada, piyasada Euro–dizel olarak satılan dizel yakıtı, saflık derecesi %99,7 olan etanol ve saflık derecesi %99,5 olan JT Baker marka dietil eter kullanılmıştır. Söz konusu yakıtların özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Çalışmada önce hacimsel olarak %15 etanol içeren yakıt karışımı test edilmiş daha sonra bu karışım içerisine setan artırıcı olarak sırasıyla %2 ve %4 oranlarında dietil eter karıştırılarak üç farklı yakıt karışımı hazırlanmıştır. Deneylerde kullanılan dizel yakıtı, %15 etanol içeren karışım, %15 etanol ile %2 dietil eter içeren karışım ve %15 etanol ile %4 dietil eter içeren karışım sırasıyla; D, E15, E15DEE2 ve E15DEE4 şeklinde kodlanmıştır.

Tablo 1. Yakıtların özellikleri

Özellik	Dizel	Etanol	DEE
Kimyasal formül	C _x H _y	C ₂ H ₆ O	C ₄ H ₁₀ O
Moleküler ağırlık	190–220	46,04	74,12
Yoğunluk (kg/L)	~0,83	0,789	0,713
Viskozite (mm ² /s) @ 40°C	2,6–4,1	1,19	0,23
Bulk modülü (GPa) @ 20°C	1,39	1,32	0,69
Yüzey gerilimi (mN/m) @ 20°C	25,2	22,3	17
Oksijen içeriği (% kütlese)	–	34,7	21
Kükürt içeriği (ppm)	~250	–	–
Kaynama noktası (°C)	180–360	78,4	34,6
Ken. tutuşma sıcaklığı (°C)	315	235	160
Tutuşabilir karışım oranı (% hac.)	0,6–6,5	3,3–19	1,9–9,5
Stok. hava–yakıt oranı (AFRs)	14,6	9	11,1
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	250	825	356
Alt ısı değeri (kJ/kg)	42500	26800	33900
Setan sayısı (CN)	40–55	5–8	~128

Yakıt karışımlarının yoğunluk, kinematik viskozite, setan sayısı, stokiometrik hava–yakıt oranı, buharlaşma gizli ısı ve alt ısı değeri gibi özellikleri aşağıda verilen bağıntılardan yararlanılarak hesaplanmıştır (Bayraktar, 2008; Wang vd, 2009, Al–Hassan vd, 2012).

$$\rho_b = \sum y_i \rho_i \quad (1)$$

$$\nu_b = \sum y_i \nu_i \quad (2)$$

$$CN_b = \sum y_i CN_i \quad (3)$$

$$AFR_{s,b} = \frac{\sum y_i \rho_i AFR_{s,i}}{\sum y_i \rho_i} \quad (4)$$

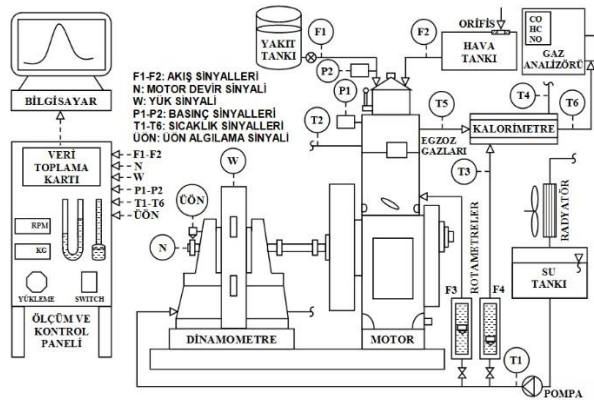
$$HV_b = \frac{\sum y_i \rho_i HV_i}{\sum y_i \rho_i} \quad (5)$$

$$LHV_b = \frac{\sum y_i \rho_i LHV_i}{\sum y_i \rho_i} \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemlerde i alt indisi dizel yakıtı, etanol ve dietil eteri göstermekte olup y_i ise karışımdaki her bir yakıtın hacimsel oranıdır.

Deney Düzenegi ve Deney Prosedürü

Deney düzenegi deney motoru, dinamometre, ölçüm ve kontrol paneli olmak üzere üç ana kısımdan oluşmakta olup deney düzeneginin şematik görünüşü Şekil 1'de verilmiştir. Deney motoruna yükleme yapmak için bir elektrikli dinamometre bağlanmış olup motor yükü bir yükleme anahtarı ile kontrol edilmektedir. Düzenek üzerinde hava, yakıt ve soğutma suyu tankları ile hava debisi, yakıt debisi, soğutma suyu debisi, moment, devir sayısı, silindir ve yakıt basıncı ve çeşitli noktalarda sıcaklık ölçümlerinin alınabilmesi için ölçüm sistemleri bulunmaktadır. Alınan ölçümlerin bilgisayara aktarılabilmesi için düzenekte bir veri aktarım sistemi yer almakta ve motor performans parametreleri LABVIEW tabanlı ENGINESOFTE adlı bir yazılım programıyla hesaplanmaktadır. Ayrıca, düzeneg e karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), azot oksit (NO_x) ve karbondioksit (CO₂) gibi egzoz gazlarının ölçülebilmesi için CAPALEC-CAP marka bir gaz analiz cihazı bağlanmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneginin şematik görünüşü

Deney düzenegi üzerindeki deney motoru dört zamanlı, doğal emişli, su soğutmalı, direkt püskürtmeli bir dizel motoru olup deney motorunun başlıca özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Deney motoru, silindir kafası değiştirilerek benzin veya dizel motoru olarak çalıştırılabilmektedir. Ayrıca, motorun sıkıştırma oranı silindir bloğu üzerindeki bir mekanizmayla değiştirilebilmektedir.

Tablo 2. Deney motorunun özellikleri

Marka & Model	Kirloskar TV1
Silindir sayısı	1
Çap x Strok	87,5 mm x 110 mm
Silindir hacmi	661 cm ³
Sıkıştırma oranı	17:1
Motor gücü	3,5 kW @ 1500 d/dk

Deneyler 1500 d/dk sabit devir sayısında %25'lik artışla %0-100 arasında değişen farklı yükleme durumlarında

yapılmıştır. Ölçümler motor kararlı çalışma rejime ulaştıktan sonra alınmış olup deneylerde motorun püskürtme, yanma ve performans karakteristikleri ile CO, HC, NO_x ve CO₂ emisyonları ölçülmüştür.

Belirsizlik Analizi

DeneySEL ölçümler sırasında ölçüm aletlerinin hassasiyetinden ve çevresel koşullardan belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle deneysel çalışma sonuçlarına belirsizlik analizi uygulanması gereklidir. DeneySEL çalışma sonuçlarına Holman (2001) tarafından geliştirilen metotla belirsizlik analizi uygulanmıştır. Bu metotta herhangi bir R sonuç parametresi x_1, x_2, \dots, x_n şeklindeki bağımsız parametrelerin fonksiyonu olup aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$R = R(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (7)$$

Buna göre herhangi bir sonuç parametresine ait belirsizlik değeri aşağıdaki gibi belirlenir.

$$U_R = \sqrt{U_{R,1}^2 + U_{R,2}^2 + \dots + U_{R,n}^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n U_{R,i}^2} \quad (8)$$

Kısmi belirsizlik yöntemi olarak isimlendirilen bu yöntemde (8) numaralı denklemden verilen herhangi bir x_i bağımsız değişkenine ait belirsizlik değeri $U_{R,i}$ aşağıdaki gibi belirlenir.

$$U_{R,i} = \left| \frac{\partial R}{\partial x_i} \right| U_i \quad (1 \leq i \leq n) \quad (9)$$

Deney düzenegi üzerindeki ölçüm sistemlerine ait hassasiyet ve belirsizlik değerleri Tablo 3'de verilmiştir. Böylece devir sayısı (N), efektif güç (BP), efektif özgül yakıt tüketimi (BSFC), efektif termik verim (BTE), egzoz gazlarının sıcaklığı (EGT), silindir basıncı (PP) ve emisyon ölçümlerinden kaynaklanan kısmi belirsizlik değerleri Tablo 3'deki gibi belirlenmiş olup deneylerdeki toplam belirsizlik değeri (TPU) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$TPU = \sqrt{(N)^2 + (BP)^2 + (BSFC)^2 + (BTE)^2 + (EGT)^2 + \sqrt{(PP)^2 + (CO)^2 + (HC)^2 + (NO_x)^2 + (CO_2)^2}} = 2.56\% \quad (10)$$

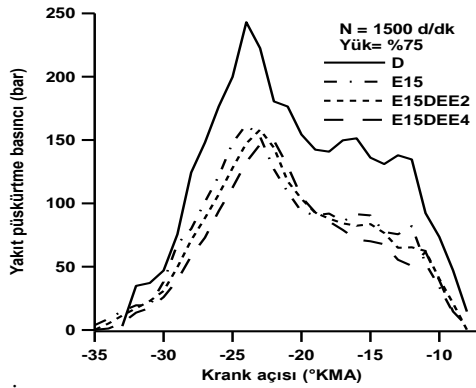
Tablo 3. Ölçme sistemleri skala, hassasiyet ve belirsizlik değerleri

Ölçülen parametre	Ölçüm tekniği	Skala	Hassasiyet	Belirsizlik (%)
Yük	Strain gauge tip	0-50 kg	±0,1 kg	±0,5
Devir sayısı	Manyetik tip	0-10000 d/dk	±10 d/dk	±1
Basınç	Piezo sensor tip	0-5000 psi	±0,1 psi	±1
Krank açısı	Manyetik tip	-	±1 °	±0,2
Hava debisi	Diferansiyel basınç dönüş.	200 mm	1 mm	±1
Yakıt debisi	Diferansiyel basınç dönüş.	500 mmWC	1 mm	±1
Egzoz gazı sıcak.	K tipi termo eleman	0-1200 °C	±1 °C	±0,2
Egzoz gazları	CO	0-15%	0,001%	±0,2
	CO ₂	0-20%	0,1%	±0,15
	HC	0-20000 ppm	1 ppm	±0,2
	NO _x	0-5000 ppm	1 ppm	±0,3

BULGULAR VE TARTIŞMA

Püskürtme ve Yanma Parametreleri

Şekil 2’de incelenen yakıt ve karışımlar için püskürtme basıncının motor yüküyle değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi püskürtme basıncı etanol ve dietil eter karışımları için daha düşük değerler almış olup bu durum yakıtların fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Yoğunluk, viskozite, Bulk modülü ve yüzey gerilimi gibi yakıt özelliklerinin püskürtme parametreleri üzerinde önemli etkilerinin olduğu bilinmektedir. Tablo 1’de görüldüğü gibi söz konusu yakıt özellikleri etanol ve dietil eter için daha düşük değerlerde olup bu farklılık etanol ve dietil eter karışımları kullanıldığında püskürtme basıncının düşmesine neden olmaktadır. Viskozite ve Bulk modülündeki düşüşün püskürtme basıncında azalmaya ve püskürtme zamanında gecikmeye neden olduğu literatürde de bildirilmektedir (Kegl, 2006).

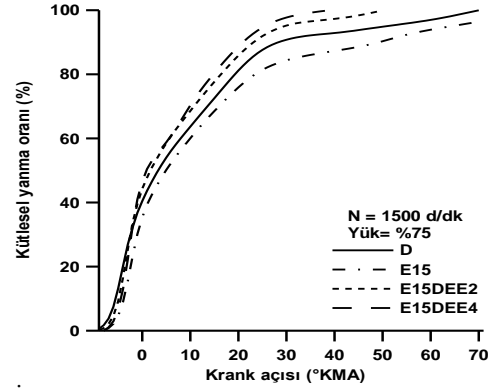


Şekil 2. İncelenen yakıt ve karışımlar için püskürtme basıncının değişimi

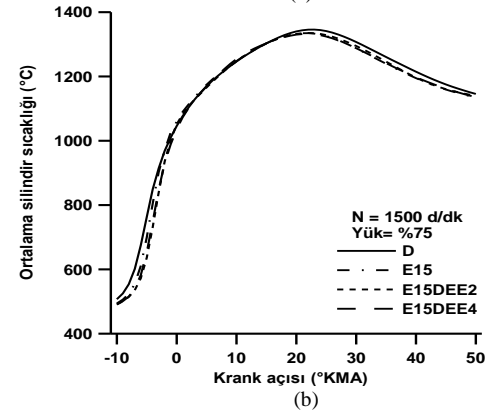
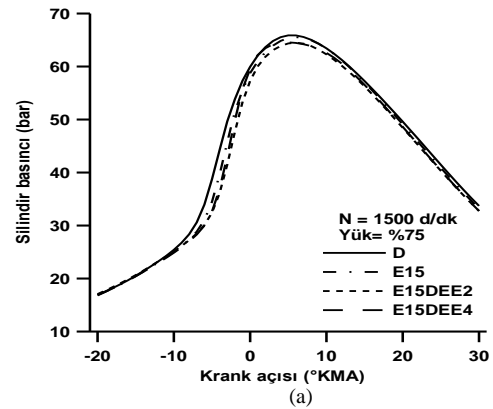
Şekil 3’te incelenen yakıt ve karışımlar için kütleli yanma oranı ve ısı yayılım oranının değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kütleli yanma oranı yanmanın ilk aşamasında etanol ve dietil eter karışımları için dizel yakıtına göre daha düşük değerler almıştır. Bu durumun, Tablo 1’de görüldüğü gibi etanolün oldukça düşük setan sayısı nedeniyle tutuşma gecikmesi süresinin uzamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dietil eterin yüksek setan sayısına sahip olmasına rağmen, dietil eter içeren karışımların gecikmeli püskürtülmesi nedeniyle (Şekil 2) yanmanın ilk aşamasında kütleli yanma oranı dietil eter karışımları için de düşük değerler almıştır. Yanmanın ilerleyen aşamasında ise kütleli yanma oranı dietil eter karışımları için dizel yakıtına göre yüksek değerler alırken, etanol karışımına ait değerler dizel yakıtından düşüktür. Etanol ve dietil eterin yapısındaki oksijen yanma odasında daha homojen bir karışım oluşturarak yanmanın daha hızlı tamamlanmasını sağlamaktadır. Dietil eterin yüksek setan sayısının da yanma hızının artmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. Ancak, etanolün düşük setan sayısı yanma hızının dolayısıyla kütleli yanma oranının artmasını olumsuz yönde etkileyerek etanol karışımının daha düşük silindir değerler vermesine neden olmuştur.

Şekil 4 (a) ve (b)’de incelenen yakıt ve karışımlar için sırasıyla silindir basıncı ve ortalama silindir sıcaklığının değişimi verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi yakıt karışımları için basınç ve sıcaklık değerleri dizel yakıtına göre oldukça az miktarda düşüktür. Yakıt karışımlarının daha düşük silindir

basıncı ve sıcaklığı vermesinin temel nedeni Tablo 1’de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre daha düşük ısı değere sahip olmasıdır. Ancak, yakıt karışımlarının dizel yakıtına oldukça yakın basınç ve sıcaklık değerleri vermesinin yapılarında bulunan oksijen sayesinde yanmayı iyileştirmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Maksimum silindir basıncındaki azalmalar E15, E15DEE2 ve E15DEE4 karışımları için sırasıyla %0,5, %2 ve %2,1 şeklindedir.



Şekil 3. İncelenen yakıt ve karışımlar için kütleli yanma oranının değişimi

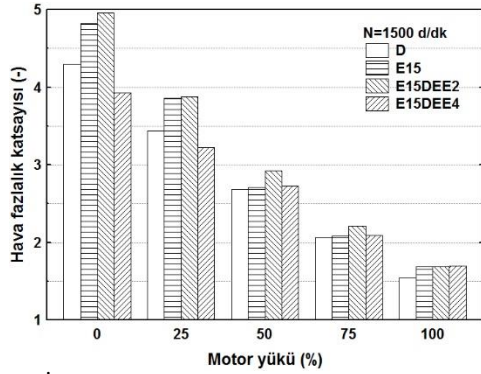


Şekil 4. İncelenen yakıt ve karışımlar için silindir basıncı ve ortalama silindir sıcaklığının değişimi

Performans Parametreleri

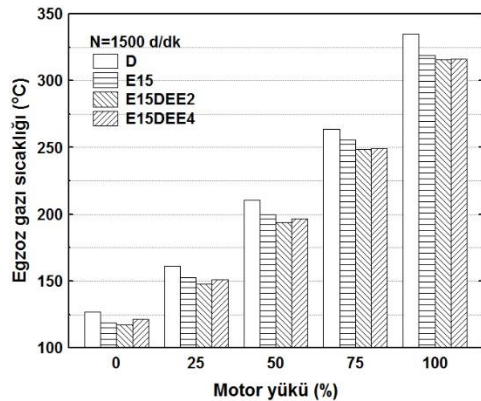
Şekil 5’de incelenen yakıt ve karışımlar için hava fazlalık katsayısının değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi etanol ve dietil eter karışımları genel olarak dizel yakıtına göre biraz daha yüksek hava fazlalık katsayısı değerlerine sahiptir. Tablo 1’de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre daha düşük stokiyometrik hava yakıt oranına sahip olması nedeniyle yakıt karışımları kullanıldığında birim yakıt başına düşen hava miktarı artmakta ve böylece daha yüksek

hava fazlalık katsayısı değerleri elde edilmektedir. Ancak, dietil eterin stokiyometrik hava-yakıt oranı etanoldan yüksek olduğundan, karışımındaki dietil eter oranı artınca karışımın stokiyometrik hava-yakıt oranı artmaktadır. Bunun sonucunda, silindire emilen hava miktarı sabit olduğundan E15DEE4 karışımı kullanıldığında özellikle düşük yüklerde hava fazlalık katsayısı bir miktar azalmıştır. Diğer taraftan, etanol ve dietil eterin yapısında bulunan oksijen de hava fazlalık katsayısının artışına ek katkı sağlamakta olup oksijen içerikli yakıtların bu etkisine yakıtta bağlı olarak fakirleştirici etki denilmektedir. Tam yük durumunda hava fazlalık katsayısındaki artış oranları E15, E15DEE2 ve E15DEE4 karışımları için sırasıyla %9,3, %9,7 ve %10,4 şeklindedir.



Şekil 5. İncelenen yakıt ve karışımlar için hava fazlalık katsayısının değişimi

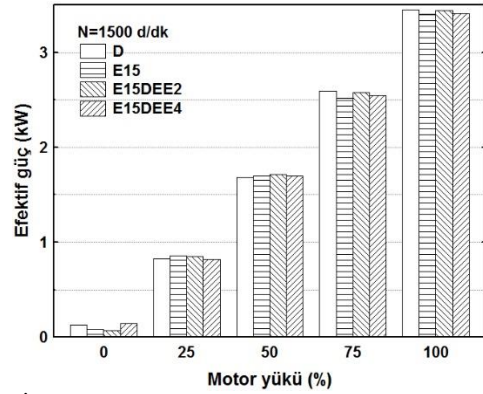
Şekil 6'da incelenen yakıt ve karışımlar için egzoz gazı sıcaklığının değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha düşük sıcaklık değerleri vermiş olup bu düşüş Şekil 4 (b)'de görülen düşük yanma sıcaklıklarının bir sonucudur. Egzoz gazı sıcaklıklarındaki bu düşüş temelde yakıtların ısı değerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, Tablo 1'de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin dizel yakıtına göre daha yüksek olan buharlaşma gizli ısı düşük yanma sıcaklıklarının dolayısıyla düşük egzoz gazı sıcaklıklarının ortaya çıkmasında rol oynamaktadır. Tam yük durumunda egzoz gazı sıcaklığındaki düşüş oranları E15, E15DEE2 ve E15DEE4 karışımları için sırasıyla %4,8, %5,6 ve %5,5 şeklindedir.



Şekil 6. İncelenen yakıt ve karışımlar için egzoz gazı sıcaklığının değişimi

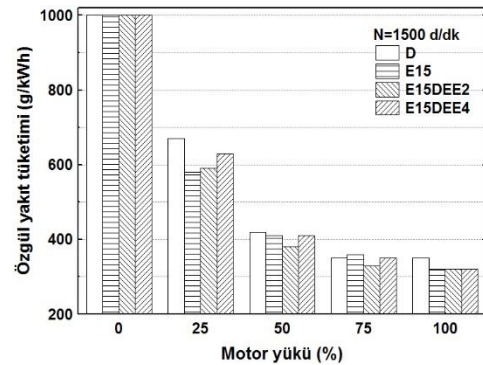
Şekil 7'de incelenen yakıt ve karışımlar için efektif gücün değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi efektif güç etanol ve dietil eter karışımları kullanıldığında az miktarda azalmıştır. Ancak, dietil eter içeren yakıt karışımları

özellikle orta ve üzeri yük değerlerinde efektif gücün az da olsa artmasını sağlamıştır. Yakıt karışımları kullanıldığında efektif güçte meydana gelen düşüşler bu yakıtların ısı değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, Tablo 1'de görüldüğü gibi etanol ve dietil eterin ısı değeri dizel yakıtına göre oldukça düşük olmasına rağmen bu yakıtların yanmayı iyileştirici özellikleri sayesinde güçte önemli düşüşler ortaya çıkmamıştır. Tam yük durumunda efektif güçteki düşüş oranları E15, E15DEE2 ve E15DEE4 karışımları için sırasıyla %1,4, %0,3 ve %1,1 şeklindedir.



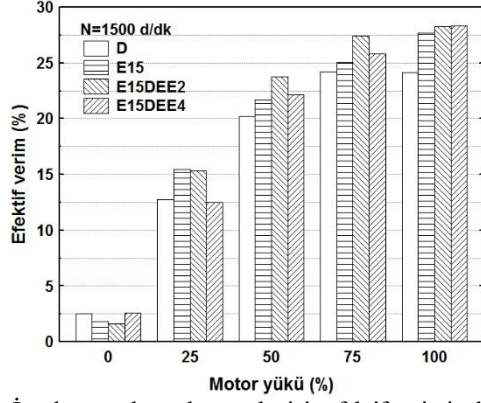
Şekil 7. İncelenen yakıt ve karışımlar için efektif gücün değişimi

Şekil 8'de incelenen yakıt ve karışımlar için özgül yakıt tüketiminin değişimi verilmiştir. Şekilde etanol ve dietil eter karışımları kullanıldığında yüksüz durum haricinde özgül yakıt tüketiminde bir düşüş eğilimi olduğu görülmektedir. Özgül yakıt tüketimindeki bu azalma etanol ve dietil eterin yanmayı iyileştiren özellikleri sayesinde yanma veriminde ortaya çıkan artışın bir sonucudur (Navaneethakrishnan ve Vasudevan, 2015). Tam yük durumunda özgül yakıt tüketimindeki azalma oranları kullanılan tüm karışımlar için yaklaşık olarak %8,5 civarındadır.



Şekil 8. İncelenen yakıt ve karışımlar için özgül yakıt tüketiminin değişimi

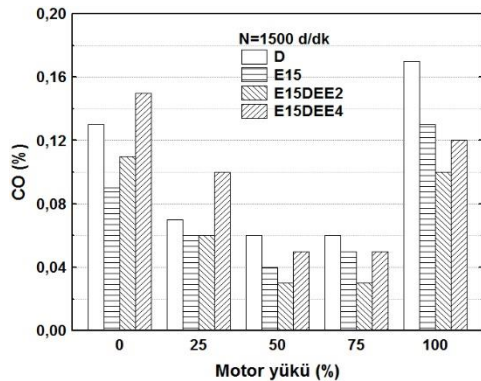
Şekil 9'da incelenen yakıt ve karışımlar için efektif verimin değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi özellikle orta ve yüksek yüklerde etanol ve dietil eter karışımları dizel yakıtına göre daha yüksek efektif verim değerleri vermiştir. Efektif verimdeki artış bu yakıtların yukarıda bahsedilen fakirleştirici etkisi ve dietil eterin yüksek setan sayısı sayesinde ısı verimin artırmasından kaynaklanmaktadır (Navaneethakrishnan ve Vasudevan, 2015). Tam yük durumunda efektif verimdeki artış oranları E15, E15DEE2 ve E15DEE4 karışımları için sırasıyla %14,7, %17,1 ve %17,2 şeklindedir.



Şekil 9. İncelenen yakıt ve karışımlar için efektif verimin değişimi

Emisyon Parametreleri

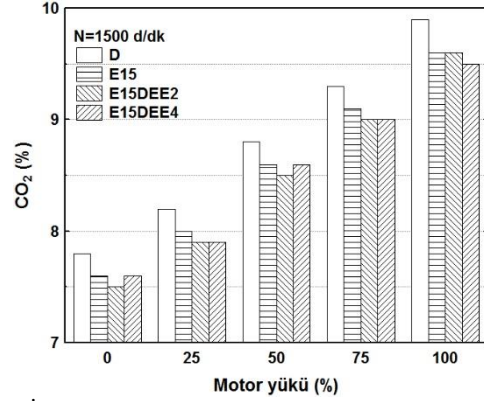
Şekil 10'da incelenen yakıt ve karışımlar için CO emisyonunun değişimi verilmiştir. CO emisyonu tüm yakıtlar için orta yüklerde düşük değerler alırken düşük ve yüksek yüklerde artış görülmektedir. Diğer taraftan, etanol ve dietil eter karışımları özellikle orta ve yüksek yüklerde genelde dizel yakıtından düşük CO emisyonu değerleri vermiştir. Ancak, E15DEE4 karışımı kullanıldığında CO emisyonunda bir miktar artış meydana gelmiştir. CO emisyonu eksik yanma ürünü olup yanma odasında yetersiz oksijen nedeniyle veya yüksek yanma sıcaklıkları sonucu parçalanma ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Etanol ve dietil eter karışımları kullanıldığında CO emisyonunda ortaya çıkan azalmalar bu yakıtların fakirleştirici etkisiyle yanmanın iyileşmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, etanol ve dietil eterin buharlaşma ısısının yüksek olması sonucu yanma sıcaklığının azalması ve karışımdaki dietil eter oranının artmasıyla yakıt-hava karışımının aşırı fakirleşmesi eksik yanmaya neden olarak CO emisyonunun artışında etkili olabilir (Kannan ve Marappan, 2011). Tam yük durumunda CO emisyonundaki düşüş oranları E15, E15DEE2 ve E15DEE4 karışımları için sırasıyla %23,5, %41,2 ve %29,4 şeklindedir.



Şekil 10. İncelenen yakıt ve karışımlar için CO emisyonunun değişimi

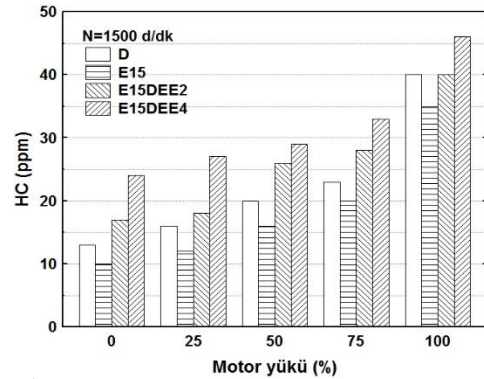
Şekil 11'de incelenen yakıt ve karışımlar için CO₂ emisyonunun değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi CO₂ emisyonu artan motor yüküyle artmış ve yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha düşük CO₂ emisyonu değerleri vermiştir. CO₂ emisyonunun motor yüküyle artması silindire daha fazla yakıt girmesinin bir sonucudur. Diğer taraftan, yakıt karışımları kullanıldığında CO₂ emisyonundaki azalma, Tablo 1'de görüldüğü gibi etanol ve

dietil eterin dizel yakıtına göre daha düşük karbon içeriğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Tam yük durumunda CO₂ emisyonundaki düşüş oranları E15 ve E15DEE2 ve karışımları için %10,3 ve E15DEE4 karışımı için %13,8 şeklindedir.



Şekil 11. İncelenen yakıt ve karışımlar için CO₂ emisyonunun değişimi

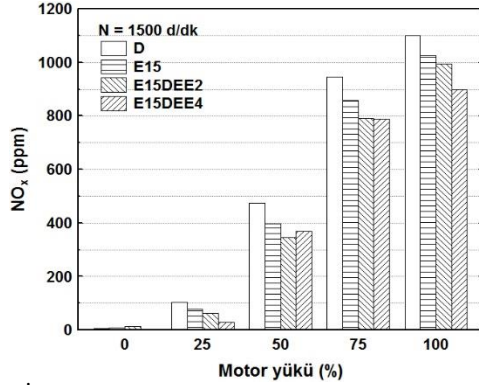
Şekil 12'de incelenen yakıt ve karışımlar için HC emisyonunun değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi HC emisyonu motor yüküyle artmış ve etanol karışımı dizel yakıtına göre daha düşük dietil eter içeren karışımlar ise dizel yakıtına göre genelde daha yüksek HC emisyonu değerleri vermiştir. Motor yüküne bağlı olarak HC emisyonunun artışı püskürtülen yakıt miktarının artmasıyla yakıtın tamamen yanmamasından kaynaklanmaktadır. Etanol karışımı kullanıldığında HC emisyonundaki azalma etanolün fakirleştirici etkisi sonucu yanma verimin artmasıyla açıklanabilir. Dietil eter kullanıldığında HC emisyonundaki artış ise dietil eterin soğutucu etkisiyle yanma sıcaklığının düşmesinden ve yakıt-hava karışımının aşırı fakirleşmesiyle oluşan eksik yanmadan kaynaklandığı düşünülmektedir (Kannan ve Marappan, 2011). Tam yük durumunda HC emisyonundaki düşüş oranı E15 karışımı için %12,5 ve artış oranı E15DEE4 karışımı için %5 şeklindedir.



Şekil 12. İncelenen yakıt ve karışımlar için HC emisyonunun değişimi

Şekil 13'de incelenen yakıt ve karışımlar için NO_x emisyonunun değişimi verilmiştir. Literatürde NO_x emisyonu oluşumunun; yanma odasındaki oksijen konsantrasyonuna, yanma sıcaklıklarına ve püskürtme karakteristiklerine bağlı olduğu belirtilmektedir (Sivalakshmi and Balusamy, 2013). Şekilde görüldüğü gibi NO_x emisyonu motor yüküyle artmakta olup bu artış yanma sıcaklığının artmasının bir sonucudur. Diğer taraftan, etanol ve dietil karışımları dizel yakıtına göre daha düşük NO_x emisyonu değerleri vermiştir. Yakıt karışımları kullanıldığında NO_x emisyonunda görülen

düşüşün etanol ve dietil eterin düşük ısıl değer ve yüksek buharlaşma gizli ısısı nedeniyle yanma sıcaklıklarını düşürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, setan sayısının yüksek olması nedeniyle dietil eter karışımları kullanıldığında yanma işlemi daha kısa sürede tamamlanmaktadır (Şekil 3). Bunun sonucunda yanma sıcaklığı daha erken düşmekte (Şekil 4–b) ve daha düşük NO_x emisyonu değerleri elde edilmektedir (Devan and Mahalakshmi, 2009). Tam yük durumunda NO_x emisyonundaki azalma miktarları E15, E15DEE2 ve E15DEE4 karışımları için sırasıyla %6,8, %9,7 ve %18,2 şeklindedir.



Şekil 13. İncelenen yakıt ve karışımlar için NO_x emisyonunun değişimi

SONUÇLAR

Sunulan çalışmada, etanol ve etanol ile birlikte dietil eterin dizel yakıtına katılmasının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulguların ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir.

- Dizel yakıtına etanol ve dietil eterin katılması püskürtme basıncında düşüğe neden olmakta ve püskürtme gecikmeli başlamaktadır. Bunun sonucunda yanmanın ilk aşamasında kütleli yanma oranı azalmaktadır. Diğer taraftan, etanol ve dietil eter yakıt karışımları kullanıldığında silindir basıncı ve sıcaklığında bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Maksimum silindir basıncındaki azalmalar; E15, E15DEE2 ve E15DEE4 karışımları için sırasıyla %0,5, %2 ve %2,1 şeklindedir.
- Etanol ve dietil eter içeren karışımlar hava fazlalık katsayısında artışa egzoz gazı sıcaklığında ise düşüğe neden olmuştur. Hava fazlalık katsayısı %9,3–10,4 oranında artmış, egzoz gazı sıcaklığı ise %4,8–5,5 oranında azalmıştır. Ayrıca, etanol ve dietil eter karışımları efektif verimde ve özgül yakıt tüketiminde iyileşme sağlamış ancak motor gücünde az da olsa düşüş meydana getirmiştir. Efektif verim %14,7–17,2 oranında artarken, özgül yakıt tüketimi %8,5 oranında azalmıştır. Efektif güçteki azalma ise %0,3–1,4 gibi düşük oranlarda kalmıştır.
- Dizel yakıtına etanol katılması CO, CO₂, HC ve NO_x emisyonlarında azalma sağlarken, etanol ile birlikte dietil eter kullanımı CO ve HC emisyonlarında bir miktar artışa neden olmuştur. Ancak bu durumda dahi elde edilen CO ve HC emisyonu değerleri dizel yakıtına göre daha düşüktür. CO emisyonunda elde

edilen azalma %23,5–41,2 oranlarında iken NO_x emisyonundaki düşüş %6,8–18,2 oranlarında değişmektedir. Etanol ve dietil eter karışımları için CO₂ emisyonundaki düşüş oranları %10,3–13,8 arasındadır. HC emisyonundaki azalma oranı %12,5 iken artış oranı %5 civarındadır.

ÖNERİLER

- Yakıt karışımlarının özellikleri ilgili standartlara göre deneysel olarak belirlenebilir.
- Benzer karışımlarla farklı motorlarda deneyler yapılarak elde edilen sonuçlar genelleştirilebilir.
- Bu çalışmada ölçülen emisyonlara ilave olarak partikül madde (PM–is) emisyonu da ölçülerek çalışmada incelenen yakıt karışımlarının is emisyonu üzerindeki etkileri de belirlenebilir.

TEŞEKKÜR

Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimine desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Agarwal A.K., 2007, Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines, *Progress in Energy and Combustion Science*, 33, 233–271.
- Agarwal A.K., Shrivastava A. and Prasad R.K., 2016, Evaluation of toxic potential of particulates emitted from Jatropha biodiesel fuelled engine, *Renewable Energy*, 99, 564–572.
- Al–Hassan M., Mujafeta H. and Al–Shannag M., 2012, An experimental study on the solubility of a diesel-ethanol blend and on the performance of a diesel engine fueled with diesel–biodiesel–ethanol blends, *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 6 (2), 147–153.
- Aydogan H., 2015, Performance, emission and combustion characteristics of bioethanol–biodiesel–diesel fuel blends used in a common rail diesel engine, *Journal of Thermal Science and Technology*, 35 (2), 19–27.
- Banapurmath N.R., Tewari P.G. and Hosmath R.S., 2008, Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operated on honge, jatropha and sesame oil methyl esters, *Renewable Energy*, 33, 1982–1988.
- Bayraktar H., 2008, An experimental study on the performance parameters of an experimental CI engine fueled with diesel–methanol–dodecanol blends, *Fuel*, 87, 158–164.
- Çelik M., Solmaz H., Yücesu H.S. and Yılmaz E., 2016, Examination of the effects of n–heptane addition to the canola methyl ester on engine performance and combustion characteristics, *Journal of Thermal Science and Technology*, 36, 1, 9–16.
- da Cunha M.E., Krause L.C., Moraes M.S.A., Faccini C.S., Jacques R.A., Almeida S.R., Rodrigues M.R.A. and Caramão E.B., 2009, Beef tallow biodiesel produced in a pilot scale, *Fuel Processing Technology*, 90, 570–575.

- Demirbas A. and Karslioglu S., 2007, Biodiesel production facilities from vegetable oils and animal fats, *Energy Sources Part A*, 29, 133–141.
- Devan P.K. and Mahalakshmi N.V., 2009, Study of the performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine using poon oil-based fuels, *Fuel Processing Technology*, 90, 513–519.
- Gnanamoorthi V. and Devaradjane G., 2015, Effect of compression ratio on the performance, combustion and emission of DI diesel engine fueled with ethanol–diesel blend, *Journal of the Energy Institute*, 88, 19–26.
- Holman J.P., 2001, *Experimental Methods for Engineers*, New York, McGraw–Hill.
- Iranmanesh M., 2013, Experimental investigations about the effect of new combination of biofuels on simultaneous reduction of NO_x and smoke emissions in DI–Diesel engine, *International Journal of Automotive Engineering*, 3 (2), 379–392.
- Kannan T.K. and Marappan R., 2011, Comparative study of performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled by emulsified biodiesel/diethyl ether blended biodiesel, *Journal of Applied Sciences*, 11 (16), 2961–2967.
- Kegl B., 2006, NO_x emission using biodiesel, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 13 (4), 497–506.
- Koc A.B. and Abdullah M., 2013, Performance and NO_x emissions of a diesel engine fueled with biodiesel–diesel–water nanoemulsions, *Fuel Processing Technology*, 109, 70–77.
- Murcak, A., Hasimoglu, C., Cevik, I. and Kahraman, H., 2015, Effect of injection timing to performance of a diesel engine fuelled with different diesel–ethanol mixtures, *Fuel*, 153, 569–577.
- Lahane, S. and Subramanian, K.A., 2015, Effect of different percentages of biodiesel–diesel blends on injection, spray, combustion, performance, and emission characteristics of a diesel engine, *Fuel*, 139, 537–545.
- Nagdeote D.D. and Deshmukh M.M., 2012, Experimental study of diethyl ether and ethanol additives with biodiesel–diesel blended fuel engine, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2 (3), 195–199.
- Najafi G., Ghobadian B., Yusaf T.F. and Rahimi H., 2007, Combustion analysis of a CI engine performance using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network aid, *American Journal of Applied Sciences*, 4 (10), 756–764.
- Navaneethkrishnan P. and Vasudevan D., 2015, Experimental study on performance and exhaust emission characteristics of a C.I. engine fuelled with tri compound oxygenated diesel fuel blends, *Indian Journal of Science and Technology*, 8 (1), 96–102.
- Park S.H., Youn I.M. and Lee C.S., 2010, Influence of two–stage injection and exhaust gas recirculation on the emissions reduction in an ethanol–blended diesel–fueled four–cylinder diesel engine, *Fuel Processing Technology*, 91, 1753–1760.
- Paul, A., Bose, P.K., Panua, R.S. and Debroy, D., 2015, Study of performance and emission characteristics of a single cylinder CI engine using diethyl ether and ethanol blends, *Journal of the Energy Institute*, 88, 1–10.
- Praptijantoa, A., Muharama, A., Nur, A. and Putrasaria, Y., 2015, Effect of ethanol percentage for diesel engine performance using virtual engine simulation tool, *Energy Procedia*, 68, 345–354.
- Putrasari, Y., Nur, A. and Muharam, A., 2013, Performance and emission characteristic on a two cylinder DI diesel engine fuelled with ethanol–diesel blends, *Energy Procedia*, 32, 21–30.
- Rakopoulos D.C., Rakopoulos C.D., Kakaras E.C. and Giakoumis E.G., 2008, Effects of ethanol–diesel fuel blends on the performance and exhaust emissions of heavy duty DI diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 49, 3155–3162.
- Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis, E.G., Papagiannakis, R.G. and Kyritsis, D.C., 2014, Influence of properties of various common bio-fuels on the combustion and emission characteristics of high-speed DI (direct injection) diesel engine: Vegetable oil, bio-diesel, ethanol, n–butanol, diethyl ether, *Energy*, 73, 354–366.
- Rao G.L.N., Sampath S. and Rajagopal K., 2008, Experimental studies on the combustion and emission characteristics of a diesel engine fuelled with used cooking oil methyl ester and its diesel blends, *International Journal of Applied Science*, 4 (1), 64–70.
- Ren Y., Huang Z., Miao H., Di Y., Jiang D., Zeng K., Liu B. and Wang X., 2008, Combustion and emissions of a DI diesel engine fuelled with diesel–oxygenate blends, *Fuel*, 87, 2691–2697.
- Sezer I., 2011, Thermodynamic, performance and emission investigation of a diesel engine running on dimethyl ether and diethyl ether, *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 1594–1603.
- Sivalakshmi S. and Balusamy T., 2013, Effect of biodiesel and its blends with diethyl ether on the combustion, performance and emissions from a diesel engine, *Fuel*, 106, 106–110.
- Wang J., Wu F., Xiao J. and Shuai, S., 2009, Oxygenated blend design and its effects on reducing diesel particulate emissions, *Fuel*, 88, 2037–2045.
- Yahuza I. and Dandakouta H., 2015, A Performance review of ethanol–diesel blended fuel samples in compression–ignition engine, *Journal of Chemical Engineering Process Technology*, 6 (5), 256–261.