


	<b>SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ</b> <i>SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE</i>		
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: <a href="http://dergipark.gov.tr/saufenbilder">http://dergipark.gov.tr/saufenbilder</a>		
	<u>Gelis/Received</u> 13.06.2017 <u>Kabul/Accepted</u> 31.03.2018	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.321228	

## Dietil Eter-Dizel Karışımlarının Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyonlarına Etkisi

Vezer Ayhan<sup>\*1</sup>, Serdar Tunca<sup>2</sup>

### ÖZ

Dietil eter (DEE) dizel motorlarında kullanılabilecek yenilenebilir, yüksek setan sayılı, makul seviyede enerji yoğunluğu, yüksek oksijen içeriği, düşük ateşleme sıcaklığı ve yüksek uçuculuğa sahip alternatif yakıtlardan biridir. Bu çalışmada tek silindri, direkt enjeksiyonlu, su soğutmalı bir dizel motorunda DEE-Dizel karışımlarının motor performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. DEE-dizel karımları, DEE3 (%3 DEE+%97 Dizel), DEE5 (%5 DEE) ve DEE7 (%7 DEE) şeklinde farklı kütle oranlarında hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar dizel yakıtı ve karışımlar motorda kullanılarak tam yük şartlarında 1000, 1300, 1600, 1900 ve 2000 d/d motor hızlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda, motorda yakıt olarak DEE karışımları kullanıldığında standart motor verilerine göre motor döndürme momenti ve efektif gücünde azalma, özgül yakıt sarfıyatı ve efektif verimde iyileşmelerin olduğu tespit edilmiştir. Dizel motorları için büyük problem olan NO<sub>x</sub> ve İs emisyonlarında ise kayda değer oranda azalmaların meydana geldiği saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** dizel motor, DEE karışımları, motor performansı, emisyon

## The Effect of Diethyl Ether-Diesel Blends a Direct Injection Diesel Engine on Performance and Emissions

### ABSTRACT

Diethyl ether (DEE) is one of the alternative fuels that can be used in diesel engines with renewable, high cetane number, energy density at reasonable level, high oxygen content, low ignition temperature and high volatility. In this study, the effects of DEE-Diesel mixtures on engine performance and emissions characteristics in a single-cylinder, direct-injection, water-cooled diesel engine was investigated experimentally. DEE-diesel mixtures were prepared at different mass ratios as DEE3 (3% DEE + 97% Diesel), DEE5 (5% DEE) and DEE7 (7% DEE). Experimental studies were carried out under full load conditions using diesel fuel and DEE-diesel mixtures at 1000, 1300, 1600, 1900 and 2000 rpm engine speeds. As a result of the studies, it has been found that, when DEE blends are used as fuel, in engine torque and effective power decrease, the specific fuel consumption and the effective efficiency improvement compared to standard engine datas. It has been found that NO<sub>x</sub> and smoke emissions, which are major problems for diesel engines, decrease considerably.

**Keywords:** diesel engine, DEE blends, engine performance, emissions

\*1 Vezer Ayhan Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya/Türkiye, [vayhan@sakarya.edu.tr](mailto:vayhan@sakarya.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Benzin motorlarına kıyasla özgül yakıt tüketiminin düşük olması ve yüksek sıkıştırma oranı sebebiyle bütün yüklerde daha verimli çalışması, özellikle orta ve ağır hizmet tipi araçlar için dizel motorlarını cazip kılmakta ve her geçen gün birçok alanda farklı amaçlarla kullanımı artmaktadır [1]. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2004 yılında ülkemizde kullanılmakta olan motorlu kara taşıtlarının %32.7'si dizel motorlu iken, 2016 yılında bu oranın %33.6'ya yükseldiği anlaşılmaktadır [2]. Ancak dizel motorlarının, buji ateşlemeli motorlara göre sıkıştırma oranının yüksek olması ve daha yüksek hava fazlalık katsayısı ile çalışması nedenleri ile NOx ve İs emisyonlarının çok daha yüksek seviyede salınımı büyük problemlerden biridir. Emisyon değerlerine getirilen yasal düzenlemeler araştırmacıları ve üreticileri bu konuda önlem almaya yönlendirmektedir. Motorlardan salınan emisyonların azaltılmasında alınan tedbirler yanma öncesi, yanma esnasında ve yanma sonrası alınan tedbirler olarak sınıflandırılmaktadır. Yanma öncesi alınana tedbirlerden biri yakıt kalitesinin iyileştirilmesi, yakıtta katkı maddelerinin katılması, alternatif yakıtların kullanılması vb. şeklinde özetlenebilir [1]. Dizel motorlarda kullanılan başlıca yenilenebilir alternatif yakıtlardan biride dietil eterdir.

Dietil eter, dizel motorlarından salınan zararlı NOx ve İs emisyonlarında önemli düzeyde azalma sağlaması nedeni ile dizel yakıtına karıştırılarak motorlarda kullanılan yenilenebilir bir alternatif yakıttır. DEE, etanolden elde edildiği için biyoyakıt olarak da isimlendirilmektedir. Normal atmosfer şartlarında sıvı fazda olması dizel yakıtına karışım imkanını kolaylaştırmakta ve istenilen oranda karışım hazırlanabilmektedir [3]. DEE sahip olmuş olduğu yakıt özellikleri nedeni ile son yıllarda özellikle dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak veya fumigasyon yöntemiyle yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır[4].

Cheng and Dibble [5], 6 silindirli, direkt enjeksiyonlu, aşırı doldurmalı bir dizel motorunda dizel ve %5, %10, %20 ve %30 hacimsel oranlarda DEE-Dizel karışımlarını yakıt olarak kullanmışlardır. 6 farklı motor devrinde ve yükünde gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalar

sonucunda DEE karışımları kullanıldığında dizel yakıtta göre partikül madde (PM) emisyonlarında dikkate değer oranda, NOx emisyonlarında ise bir miktar azalmanın olduğunu tespit etmişlerdir.

Sezer [3], tek silindirli, direkt enjeksiyonlu ve sıkıştırma oranı 20/1 olan bir dizel motorunda DEE-dizel (%2,5, %5, %7,5 ve %10 hacimsel) karışımlarının motor performansına etkisini deneysel olarak incelemiştir. Çalışması sonucunda dizel yakıtına DEE katılmasının motor momenti ve gücünde azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Diğer taraftan %2,5, %5 ve % 7,5 DEE karışım oranlarında dizel yakıtta göre özgül yakıt sarfiyatında azalmaların, efektif verimde ise artmaların olduğunu tespit etmiştir. DEE karışımlarıyla ayrıca hava fazlalık katsayısında artmaların ve egzoz sıcaklığında ise bir miktar azalmaların meydana geldiğini ileri sürmüştür.

Lee ve Kim [6], bir dizel motorunda kütleli oranda hazırladıkları %10, %20 ve %50 DEE-Dizel karışımlarının motor performans, yanma karakteristiği ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmaları sonucunda PM, HC ve CO emisyonlarında azalmaların meydana geldiğini, NOx emisyonlarında artmaların meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir.

Rakopoulos ve ark. [7], hacimsel oranda %8, %16, ve %24 DEE-Dizel karışımlarını tek silindirli, 4 zamanlı, yüksek hızlı bir dizel motorunda yakıt olarak kullanmışlar ve motor performans ve emisyon karakteristiklerindeki değişimleri standart motor verileriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda, NOx, İs, CO emisyonlarında azalmaların meydana geldiğini HC emisyonları ve özgül yakıt sarfiyatında ve egzoz sıcaklığında artmaların olduğunu tespit etmişlerdir.

Subramanian and Ramesh [8], tek silindirli, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda kütleli oranda (%5, %10 ve %15) DEE-Dizel karışımlarını yakıt olarak kullanmışlar ve motor performans ve emisyon karakteristiklerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Termal verim açısından dizel yakıtta göre %10 karışımın en iyi sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Bu karışım oranında ve dizel yakıtının kullanıldığı püskürtme avansı değerinde İs ve CO emisyonlarında tüm motor yüklerinde dikkate

değer oranda azalmaların meydana geldiğini, yüksek yük şartlarında termik verimde artmaların meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Mohan et al. [9] tek silindirli ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda hacimsel olarak hazırladıkları %5, %10, %15,%20 ve %25 oranlarında DEE-Dizel karışımlarını yakıt olarak kullanmışlar, motor performans ve emisyonlara etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmaların sonucunda, performans ve emisyon değerleri açısından dizel yakıtı göre en iyi karışım oranının %5 DEE-Dizel karışımı ile elde etmişlerdir. Bu karışım oranında dizel yakıtı göre is ve CO emisyonlarında azalma, termik verimde ise artmaların olduğunu tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada tek silindirli, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda %3 (DEE3), %5 (DEE5) ve %7 (DEE7), DEE-Dizel karışımlarının motorda yakıt olarak kullanarak motor performansına ve emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Tam yük şartlarında ve 5 farklı motor devrinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen motor performans ve emisyon değerlerinde meydana gelen değişimler standart motor verileriyle karşılaştırılmıştır.

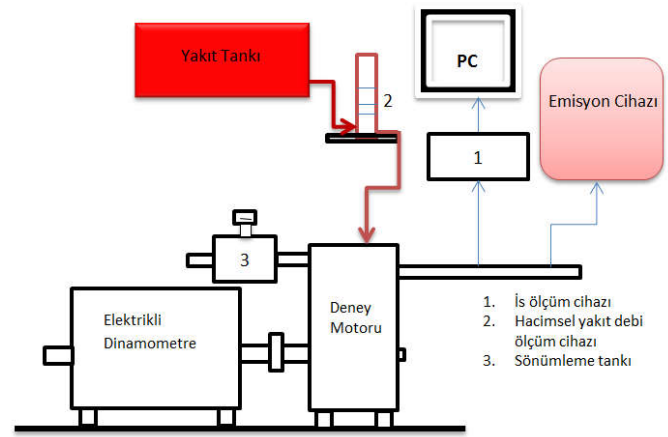
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneylerde tek silindirli, 4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu ve su soğutmalı bir dizel motoru kullanılmıştır. Tablo 1’ de deney motorunun teknik özellikleri, Şekil 2’ de ise deney düzeneğinin şematik şekli verilmiştir. Deney motoru elektrikli tip bir dinamometreye bağlanmıştır. Motor gücünün ölçülmesi için dinamometre kuvvet koluna 0,1 kg hassasiyetli S tipi bir yük hücresi bağlanmıştır. Motor yakıt tüketiminin tespitinde 25 ve 50 cm<sup>3</sup> ölçüm haznelere sahip hacimsel bir ölçüm cihazı kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalar esnasında motor soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıkları, egzoz sıcaklığı ve ortam sıcaklığı için termoelemanlar ve 0,1 C hassasiyetinde göstergeler kullanılmıştır. İş emisyonlarının ölçülmesinde BİLSA marka İş ölçüm cihazı, NOx, CO, HC, O2, CO2 ve HFK (hava fazlalık katsayısı)’nın ölçülmesinde BOSCH marka BEA model gaz analiz cihazı kullanılmıştır.

Tablo 1. Deney motoru teknik özellikleri

Motor Tipi	Süper Star
Piston Çapı [mm]	108
Strok [mm]	110
Silindir Sayısı	1
Strok Hacmi [dm <sup>3</sup> ]	1
Güç, 2200 d/d, [kW]	13
Enjektör Açma Basıncı [bar]	175
Püskürtme Avansı [Krank Açısı]	34
Sıkıştırma Oranı	17,5
Maksimum Devir [d/d]	2500
Soğutma Tipi	Su
Püskürtme Tipi	Direkt Enjeksiyon
Piston Tipi	Çanak Piston



Şekil 1. Deney düzeneği

Deneyler tam yük şartlarında 1000, 1300, 1600, 1900, 2200 d/d motor hızlarında gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtı ile tam yük şartlarında püskürtme avansının üst ölü noktadan 34 KMA önce olduğu deneysel olarak tespit edilmiş ve deneysel çalışmalar bu avans değerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylere motor soğutma suyu sıcaklığı 70 °C geldiğinde başlanmıştır. Dizel yakıtı ve farklı oranlarda DEE karışımları için deneyler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve ortalama değerler kullanılmıştır.

Çalışmada, saf dizel yakıtı ve %3, %5 ve %7 kütleli oranlarda DEE-Dizel karışımları kullanılmıştır. DEE-Dizel karışımların hazırlanması 0,01gr hassasiyetinde hassas terazi kullanılmıştır. Tablo 2.de kullanılan yakıtların özellikleri verilmiştir.

Deneysel çalışmalar motor standart değerlerinin elde edilmesi için ilk olarak dizel yakıtı ile gerçekleştirilmiştir. Daha sonra farklı DEE-Dizel karışımları motorda yakıt olarak kullanılarak deneyler tekrarlanmıştır. Çalışmalar sonucunda

elde edilen veriler standart motor verileriyle karşılaştırılarak motor performans ve emisyon karakteristiklerindeki değişimler tespit edilmiştir.

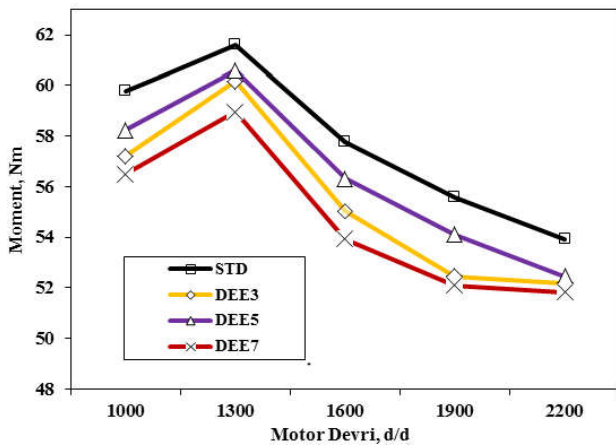
Tablo 2. Yakıtların özellikleri

Özellik	Dizel	Dietil Eter
Kimyasal formül	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
Alt ısı değer (MJ/kg)	43	33,9
Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	0,82	0,71
Setan sayısı	45-55	>125
Kinematic viscosity, mm <sup>2</sup> /s	2,6 (40 °C)	0,23 (at 20 °C)
Stokiometrik hava-yakıt oranı	14,6	11,1
Oksijen içeriği (%)	0	21
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	250	356
Moleküler Ağırlık	170	74

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA

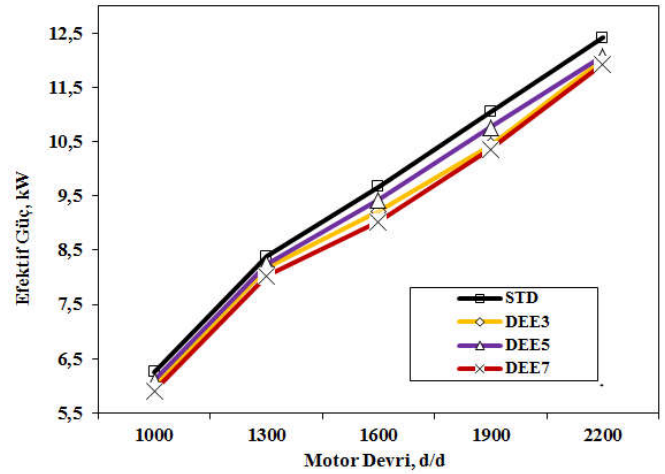
#### 3.1. Motor Performans Parametreleri

Motorda farklı oranlarda DEE- Dizel karışımları kullanılarak elde edilen motor döndürme momenti ve efektif gücünde standart motor verilerine göre meydana gelen değişimler sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3' de verilmiştir.



Şekil 2. Motor moment değişimleri (Engine torque changes)

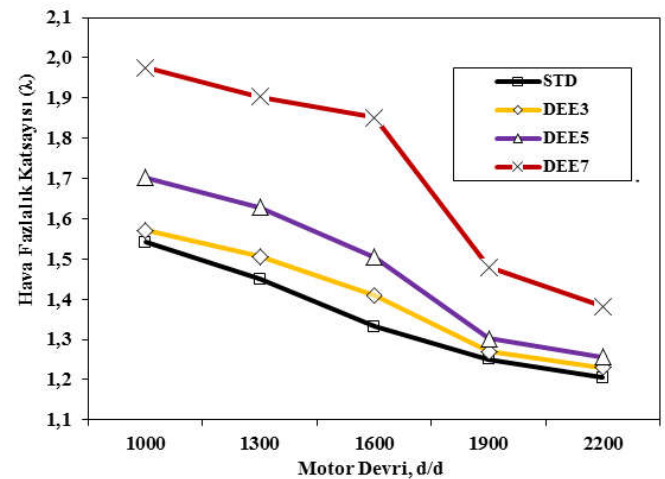
Şekillerden de görüldüğü gibi motorda DEE-Dizel karışımları kullanıldığında tüm karışım oranlarında motor momenti ve efektif gücünde standart motor verilerine göre azalmaların olduğu görülmektedir. DEE5 kullanımında DEE3 ve DEE7 kullanımına göre azalma miktarı daha az olmuştur. Standart durumda tam yük şartlarında maksimum momentin elde edildiği 1300 d/d motor hızında 61,6 Nm ölçülen moment değeri DEE5 kullanımında aynı motor devrinde 60,6 Nm olarak ölçülmüştür. Momentte bu şartlarda meydana gelen değişim %1,65 olmuştur.



Şekil 3. Motor efektif güc değişimleri (Engine effective power changes)

Maksimum gücün elde edildiği 2200 d/d motor hızında standart durumda efektif güc 12,4 kW ölçülürken DEE5 karışımı ile 12,1 kW olarak ölçülmüştür. Bu şartlarda standart duruma göre meydana gelen değişim %2,7 olarak hesaplanmıştır. Moment ve güçte meydana gelen azalma değerinin DEE' in ısı değerinin dizele göre daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca DEE7 kullanımında motorda vuruntu oluştuğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4' de dizel ve farklı oranlarda DEE-Dizel karışımlarının kullanıldığı durumlarda ölçülen Hava fazlalık katsayısı (HFK) değişimleri görülmektedir.

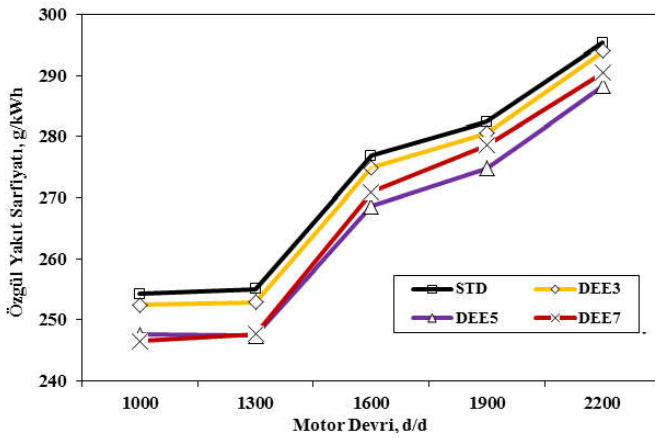


Şekil 4. Hava fazlalık katsayısının değişimleri (Air excess coefficient changes)

Motorda dizel ve DEE karışımlarının kullanılması durumunda tam yük şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen motor özgül yakıt sarfiyatı (ÖYS) değişimleri Şekil 5' de görülmektedir. Özgül yakıt sarfiyatı hesaplamaları

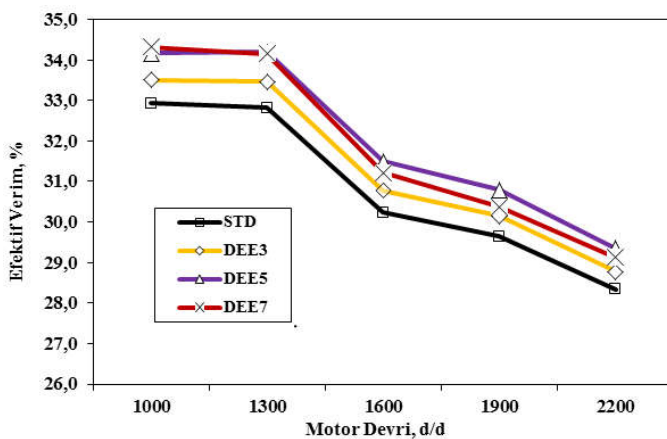


kullanılan yakıt oranları ve ısı değerler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Şekil 5 incelendiğinde motorda DEE karışımları kullanıldığında ÖYS' de standart motor verilerine göre azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Motor gücünde azalma olmasına karşılık ÖYS' da meydana gelen azalma miktarı yakıtın ısı değerinin düşük olmasına karşın oksijen içeriğinin yüksek olması motorun daha fakir karışımlarla çalışmasına neden olmaktadır. ÖYS hesaplamasında DEE' in yoğunluğunun düşük olması toplam kütleli yakıt tüketiminin azalmasına neden olmaktadır. ÖYS' daki maksimum azalma miktarı DEE5 ile elde edilmiştir. Bu oranda maksimum azalma miktarı 1600 d/d motor hızında %3 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Motor ÖYS değişimleri (Engine SFC changes)

Şekil 6' da tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde dizel yakıtı ve 3 farklı DEE karışımları kullanılan motor efektif değişim değerleri görülmektedir.

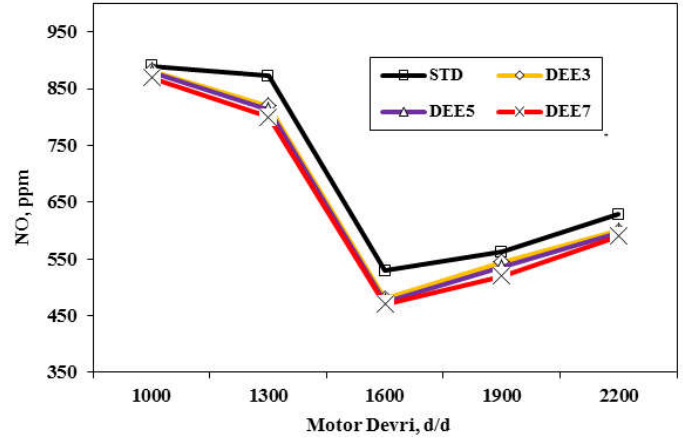


Şekil 6. Motor efektif verim değişimleri (Engine effective efficiency changes)

Şekilden de görüldüğü gibi motorda yakıt olarak DEE karışımları kullanıldığında tüm motor devirlerinde efektif verimde artmaların meydana geldiği görülmektedir. ÖYS' nin azalmasına neden olan etkenler efektif verimin artmasına neden olmuştur.

### 3.2. Emisyon Karakteristikleri

Motorda dizel ve farklı oranlarda DEE- Dizel karışımları kullanılarak elde edilen NO emisyonlarındaki değişimler Şekil 7' de verilmiştir.

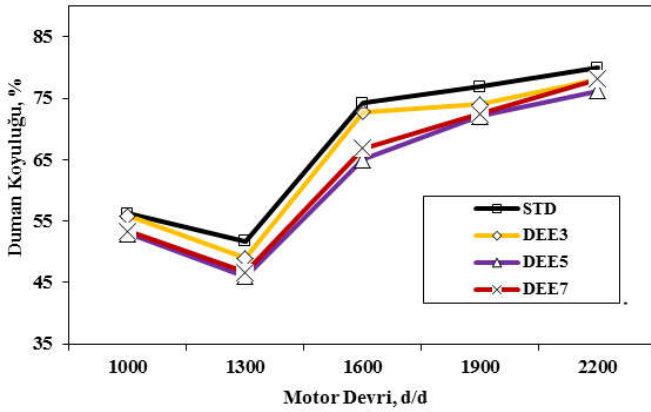


Şekil 7. NOx emisyonları değişimleri (NOx emissions changes)

Şekil incelendiğinde DEE karışımları kullanımında standart duruma göre motordan salınan NO emisyon değerinde azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Maksimum momentin elde edildiği 1300 d/d motor hızında standart durumda 872 ppm olarak ölçülen NO değeri, DEE3' de 820 ppm, DEE5' de 813 ppm, DEE7' de ise 800 ppm olarak ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan DEE %99,5 saflık değerindedir. NO emisyonlarını tetikleyen ana mekanizma silindir içerisinde ulaşılan yüksek sıcaklıklardır [10]. Kullanılan DEE' in saflık derecesi dikkate alınarak termodinamiğin birinci yasasına göre adyabatik alev sıcaklıkları hesaplandığında; dizel yakıt kullanımında 2102 K olarak hesaplanan sıcaklık değeri DEE5 kullanıldığında 2100 olarak hesap edilmiştir. Sıcaklık değerindeki azalma miktarı NO emisyonlarının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Rakopoulos ve ark. [7], DEE karışımlarıyla yaptıkları çalışmada, DEE karışımları kullanıldığında silindir içi sıcaklığının azaldığını ve buna bağlı olarak NOx emisyonlarında düşmelerin meydana geldiğini vurgulamaktadır. Diğer taraftan dizel yakıtın gizli buharlaşma ısısı 250 kJ/Kg iken DEE' in 356 kJ/Kg' dır. Buda DEE karışımları kullanılması durumunda silindir içi sıcaklığının düşeceğinin bir göstergesidir. Silindir içerisinde NO emisyonunu etkileyen ikinci etken ise HFK' dır. Hava fazlalık katsayısı stokiometrik karışımdan biraz fakir karışım bölgesine geldiğinde dizel motorlarından maksimum NO salınırken daha fakir karışım

bölgelerinde NO oluşum oranının düştüğü vurgulanmaktadır [11]. Şekil 4 incelendiğinde DEE karışımları kullanıldığında HFK' nın oldukça fakir karışım oranlarına geldiği gözlemlenmektedir. Bu da DEE karışımları kullanılması durumunda NO emisyonlarının azalmasına neden olan diğer etkidir. Iranmanesh ve ark. [12], Yaptıkları çalışmada dizel içerisine DEE karışımları katıldığında (%5, %10, %15) NOx emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir. Tudu ve ark. [13], DEE karışımlarının kullanılması durumunda dizel yakıtı göre NOx emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Motorda dizel ve DEE karışımlarının kullanılması durumunda tam yük şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen Duman Koyuluğu (%) değerleri değişimleri Şekil 8' de görülmektedir.

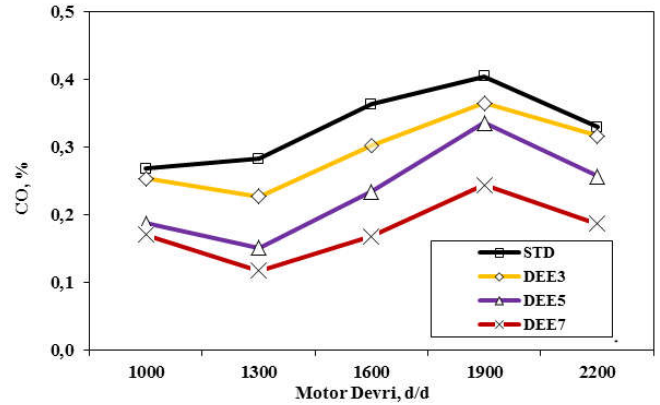


Şekil 8. Duman koyuluğu değişimleri (İs emissions changes)

Şekilden de görüldüğü gibi motorda DEE karışımları kullanıldığında standart motor verilerine göre is emisyonlarında azalmalar meydana gelmiştir. Maksimum momentin elde edildiği devir sayısı olan 1300 d/d' da standart durumda ölçülen duman koyuluğu değeri %57,7 iken, DEE3' te %49, DEE5' te %46 ve DEE7' de % 46,6 olarak ölçülmüştür. Standart duruma göre maksimum azalma miktarı %12 değerinde DEE5' de karışımı kullanımında elde edilmiştir. Dizel motorlarının yüksek hava fazlalık katsayısında çalışmalarına rağmen is emisyonlarının oluşum nedeni, silindir içerisinde yakıt/hava karışımının yeterince iyi karışmaması nedeni ile lokal zengin karışım bölgelerinin oluştuğu ve yanma için yeterli zamanın olmamasından kaynaklandığı bilinmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde DEE karışımlarının kullanılması durumunda HFK' nın artmasına bağlı olarak motor daha fakir karışımlarda çalışmakta ve silindir içerisinde oluşan

lokal zengin karışım bölgelerinin azaldığı tahmin edilmektedir [7]. DEE karışımları kullanılarak yapılan birçok çalışmada İs emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir [5-9].

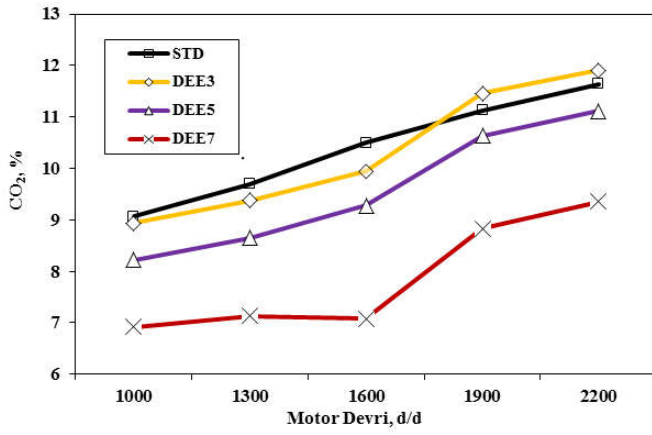
Şekil 9' da dizel ve farklı oranlarda DEE karışımları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde ölçülen CO emisyon değerleri görülmektedir.



Şekil 9. CO emisyonları değişimleri (CO emissions changes)

Şekil incelendiğinde standart duruma göre DEE karışımları kullanıldığında CO değerlerinde dikkate değer oranda bir azalmanın meydana geldiği görülmektedir. Karışım içerisindeki DEE oranı arttıkça CO emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. CO emisyonlarının motorda oluşum nedeni İs emisyonu ile hemen hemen aynı sebeplerden kaynaklanmaktadır. CO azalmasının nedeni DEE karışımları kullanıldığında DEE' in oksijen içeriği ve daha fakir karışımla yanma özelliğine bağlı olarak HFK' nın standart duruma göre artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde DEE karışımları kullanılması durumunda yapılan birçok çalışmada CO emisyonlarının azaldığı vurgulanmaktadır [6-9].

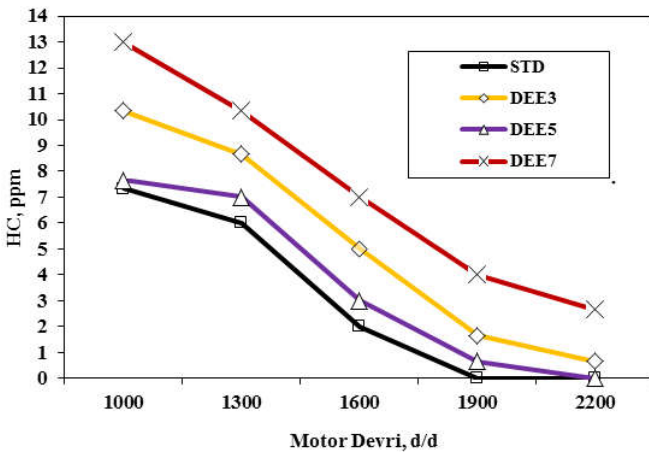
Motorda dizel ve DEE karışımlarının kullanılması durumunda tam yük şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen CO<sub>2</sub> değerleri değişimleri Şekil 10' da görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi DEE karışımları kullanıldığında CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinde azalmaların meydana geldiği görülmektedir. Silindir içerisinde meydana gelen yanma olayı oldukça kompleks bir olaydır. CO<sub>2</sub> emisyonları tam yanma ürünüdür.



Şekil 10. CO2 emisyonları değişimleri (CO2 emissions changes)

DEE karışımları kullanılması durumunda oksijen içeriğinin artmasına bağlı olarak CO2 emisyonlarının azalmasına sebebi şu şekilde izah edilebilir. DEE' in içerisindeki Karbon (C) atomu sayısı dizele göre oldukça azdır. DEE karışımları kullanılması durumunda standart dizel yakıtı içerisindeki C atomu sayısı 14,4 olarak alındığında DEE3' de C atomu sayısı 14' de, DEE5' de 13,8' e, DEE7' de ise 13,6' ya düştüğü anlaşılmaktadır. Tudu ve Patel [13], DEE karışımlarının kullanılması durumunda dizel yakıtı göre CO2 emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir.

Şekil 11' de dizel ve farklı oranlarda DEE karışımları kullanılarak tam yük şartlarında ve farklı motor devirlerinde ölçülen HC emisyon değerleri görülmektedir.

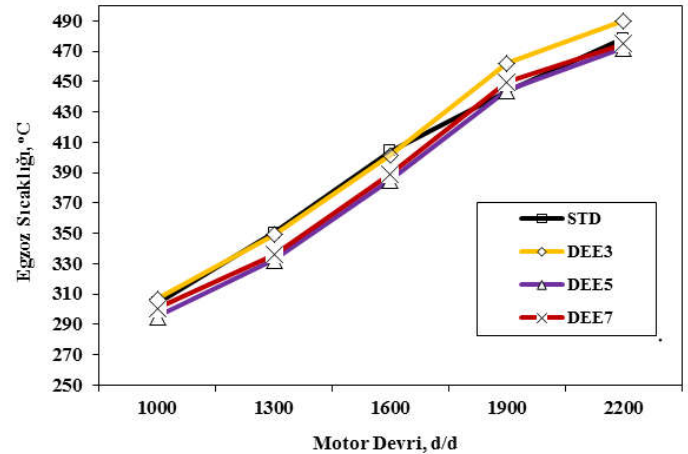


Şekil 11. HC emisyonları değişimleri (HC emissions changes)

Şekilden de görüldüğü gibi DEE karışımları kullanıldığında HC emisyonlarında artmalar meydana geldiği tespit edilmiştir. Standart duruma göre en az artma miktarı DEE5 karışımı kullanımında ölçülmüştür. HC emisyonlarının artmasının birkaç sebebi olabilir. Bunlardan birincisi, DEE' in dizele göre daha yüksek

buharlaştırma ısısına sahip olması silindir içine enjekte edilen yakıtın buharlaşmasını geciktirmiş ve bu sebeple H/Y karışımı oluşumu zayıflamış olabilir. ikincisi, DEE karışımları kullanılması durumunda silindir içi sıcaklığının azalmasına bağlı olarak silindir cidarlarına yakın bölgelerde (silindir içi en soğuk bölgeler) alev sönmeleri meydana gelmesi HC emisyonlarını arttıracaktır. Diğer, dizel motorlarında yanma sonu ulaşılan yüksek sıcaklıklardan dolayı tam yanma ürünleri yüksek sıcaklık altında endotermik reaksiyon gerçekleştirerek parçalanmaktadır. DEE karışımları kullanılması durumunda DEE' in gizli buharlaştırma ısısının yüksek olmasına bağlı olarak silindir içi sıcaklıkların azalması bu termik disasiasyon reaksiyonlarını azaltmış olabilir. Son olarak DEE' in setan sayısının yüksek olmasından dolayı tutuşma gecikmesi esnasında kendiliğinden ateşleme olaylarının daha erken meydana gelmesi HC emisyonlarını arttıran bir sebep olabilir [14]. Literatürde de bazı çalışmalarda DEE karışımları kullanılması durumunda HC emisyonlarının arttığı vurgulanmaktadır [7,13].

Motorda dizel ve DEE karışımlarının kullanılması durumunda tam yük şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ölçülen egzoz sıcaklık değerleri değişimleri Şekil 12' de görülmektedir.



Şekil 12. Egzoz sıcaklığı değişimleri (Exhaust temperature changes)

Motorda DEE karışımları kullanıldığında genel olarak egzoz sıcaklığının dizel yakıtı göre azaldığı 1900 d/d ve 2000 d/d motor hızlarında ise DEE3 karışımı kullanımında arttığı tespit edilmiştir. DEE karışımlarının kullanılması durumunda DEE' in gizli buharlaştırma ısısına bağlı olarak silindir içi sıcaklık değerlerinin azalması egzoz sıcaklığının da düşmesine neden olduğu düşünülmektedir.

#### 4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada tek silindirli bir dizel motorunda DEE-Dizel karışımlarının motor performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada motorda saf dizel ve 3 farklı DEE3 DEE5 ve DEE7 karışımları yakıt olarak kullanılarak farklı motor devirlerinde tam yük şartlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların incelenmesi sonucu aşağıdaki bulgular sağlanmıştır.

1. Motorda DEE karışımları kullanıldığında standart motor verilerine göre motor döndürme momenti ve efektif gücünde ve özgül yakıt sarfiyatında azalmaların, efektif verimde ise artmaların olduğu tespit edilmiştir. Performans parametreleri açısından en uygun karışım DEE5 olduğu gözlemlenmiştir.
2. DEE karışımlarının kullanılması durumunda dizel yakıtı göre NO emisyonlarında %12' ye varan oranda azalma, duman koyuluğu(is) emisyonlarında %11' e varan oranda azalma, CO emisyonlarında dikkate değer oranda azalma, CO2 emisyonlarında azalma ve HC emisyonlarında ise artmaların meydana geldiği tespit edilmiştir. Egzoz sıcaklığında ise DEE karışımları kullanıldığında genel olarak azalmanın meydana geldiği tespit edilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde dizel motorlarında DEE kullanımı özellikle NO ve İS emisyonlarında dikkate değer oranda azalma sağlamaktadır. Aynı zamanda ÖYS ve efektif verimde de iyileşmelere neden olduğu tespit edilmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeler Koordinatörlüğü tarafından (FBYLTEZ-2012-50-01-046) desteklenmiştir. Maddi desteklerinden dolayı SAÜ, BAPK' a teşekkür ederiz.

#### KAYNAKÇA

- [1] Ayhan, V. "Bir dizel motoruna buhar enjeksiyonunun NOx ve is emisyonlarına

etkisinin araştırılması", *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi, Doktora Tezi*, 2009.

- [2] <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24595>, Son erişim tarihi: 05.06.17.
- [3] Sezer İ. "Dietil Eter-Motorin Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt* 27, No 1, 117-124, 2012.
- [4] Arcoumanis, C., Bae, C., Crookes, R., Kinoshita, E. "The potential of di-methyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: a review". *Fuel* 87:1014-30, 2008.
- [5] Cheng, A.S., Dibble, R.,W. "Emissions performance of oxygenate-in-diesel blends and Fischer-Tropsch diesel in a compression ignition engine". *SAE Paper* no. 1999-01-3606; 1999.
- [6] Lee, S., Kim, T.Y. "Performance and emission characteristics of a DI diesel engine operated with diesel/DEE blended fuel", *Applied Thermal Engineering* 121; 454-461, 2017.
- [7] Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E.G., Dimaratos, A. M. "Characteristics of performance and emissions in high-speed direct injection diesel engine fueled with diethyl ether/diesel fuel blends", *Energy*, 43; 214-224, 2012.
- [8] Subramanian, K.A., Ramesh., A. "Operation of a compression ignition engine on diesel-diethyl ether blends", *In: Proceedings of 2002 ASME internal combustion engines division fall technical conference (ICEF2002), New Orleans, LA, vol. 39; Sept. 8-11, p. 353-60, 2012.*
- [9] Mohanan, P., Kapilan, N., Reddy, R.P. "Effect of diethyl ether on the performance and emission of a 4-S DI diesel engine", *SAE Paper* no. 2003-01-0760; 2003.
- [10] Ayhan, V. "Direkt enjeksiyonlu bir dizel motoruna buhar ve farklı yöntemlerle su gönderiminin performans ve NOx emisyonlarına etkilerinin incelenmesi", *SAÜ Fen Bil Der.*, 20. Cilt, 3. Sayı, s. 463-471, 2016.



- [11] Soruşbay, C. “İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz gazları Emisyonu”, *Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi*, 1989.
- [12] Iranmanesh, M., Subrahmanyam, J.P., Babu, M.K.G. “Application of diethyl ether to reduce smoke and NOx emissions simultaneously with diesel and biodiesel fueled engines”. In: *Proceedings of 2008 ASME international mechanical engineering congress and exposition (IMECE2008), Boston, MA; Oct. 31-Nov. 6, p. 77-83, 2008.*
- [13] Tudu, K., Murugan, S., Patel, S.K., “Effect of diethyl ether in a DI diesel engine run on a tyre derived fuel-diesel blend”, *Journal of the Energy Institute*, 89, 525-535, 2016.
- [14] Heywood, J.B. “Internal combustion engine Fundamentals”, *New York, USA: McGraw-Hill*; 1988.