

# Soya Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri

Yakup SEKMEN, Abdurrazzak AKTAŞ

## ÖZET

Biyodizel, bitkisel yağlar, atık kızartma yağları ve hayvansal yağların alkil esterler oluşturmak üzere bir alkol ile reaksiyona sokulması ile üretilen; oksijen içerikli, sülfür içermeyen, zehirleyici olmayan, bozunabilir, yüksek setan sayılı ve yağlayıcılık özellikli yenilenebilir alternatif bir dizel yakıttır ve dizel motorlarda önemli herhangi bir değişiklik yapılmadan saf veya karışım halinde kullanılabilir. Bu çalışmada, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda yakıt olarak soya yağı metil esteri kullanılması performans ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışma 1200-2400 d/dak hız aralığında ve tam yükte dizel yakıt no.2 ve soya yağı metil esteri kullanılarak yapılmıştır. Biyodizelin ısı değeri dizel yakıtından düşük olduğundan motor gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde artış belirlenmiştir. Ayrıca, biyodizel ile çalışmada, CO, HC, NO<sub>x</sub> ve duman emisyonlarında azalma belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Dizel motor, Biyodizel, Soya yağı metil esteri, Egzoz emisyonu.

# Effects of Soybean Oil Methyl Ester on Diesel Engine Performance and Exhaust Emissions

## ABSTRACT

Biodiesel is an alternative fuel for diesel engine that can be produced by chemically reacting a vegetable oils, waste cooking oils, and animal fats with an alcohol to form alkyl esters. It is an oxygenated, sulfur-free, non-toxic, biodegradable, and renewable fuel with a higher cetan number and lubricity and can be used as pure or blends without any significant modification in diesel engines. In this study, the effects of using soybean oil methyl ester as a fuel in a direct injected diesel engine on the performance and exhaust emissions were investigated experimentally. Experimental study was performed using diesel fuel no.2 and soybean oil methyl ester at full load and engine speeds ranging from 1200 to 2400 rpm. The results showed that the biodiesel produced lower effective power and higher specific fuel consumption than diesel fuel due to lower heating value of soybean oil methyl ester. In addition, CO, HC, NO<sub>x</sub> and smoke emissions from biodiesel were lower than that of diesel fuel no.2.

**Keywords:** Diesel engine; Biodiesel, Soybean oil methyl ester; Exhaust emission.

## 1. GİRİŞ

Dünya petrol rezervlerinin hızla azalması ve petrol kökenli yakıtların çevreye zararlı etkilerinin azaltılması amacıyla yenilenebilir ve çevreci yakıtların kullanılması önerilmektedir. Tarım potansiyeli yüksek olan ülkelerde bitkisel yağlar ve yağ esterleri alternatif dizel yakıtı olarak kullanılabilir. Bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan üretilen enerji ise biyoenerji olarak tanımlanmaktadır. Petrolün tükenen bir kaynak olması ve yanma ürünlerinin çevreye zararlarının azaltılması alternatif yakıt araştırmalarını yoğunlaştırmaktadır. Bu konuda yağ esterleri ve alkollerin motorlu taşıtlarda kullanımı gündeme gelmektedir. Etanol ısı değerinin düşük, üretim maliyetinin yüksek ve setan sayısının dü-

şük olmasından dolayı dizel motorlarda uzun tutuşma gecikmesi ve vuruntuya neden olduğundan alternatif yakıt olarak kullanılması uygun görülmemektedir (1). Biyodizel sera gazı emisyonlarını azalttığı için bu kapsamda düşünülmekte ve son yıllarda çevre duyarlılığının artması dolayısıyla daha da önem kazanmaktadır. Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak çevreye ciddi faydalar sağlamaktadır. Bitkisel yağlar ve dizel yakıtı ile karışımları yakıtların viskozite, bulutlanma noktası, setan sayısı, ısı değeri ve kaynama noktası gibi fiziko-kimyasal özelliklerini değiştirmektedir. Mesela, yüksek setan sayısı genellikle soğukta çalışmayı kolaylaştırmakta, gücünü azaltmakta ve motorun ömrünü uzatmaktadır. Dolayısıyla, karışımların özellikleri belirli sınırlar içinde kalmalıdır. İçten yanmalı motorlarda kullanılacak yakıtların, motorda en az yapısal değişiklik gerektirmeleri, motor ömrünü kısaltmamaları, üretimi, taşınması, depolanması ve kullanımı sırasında insan sağlığı ve çevreye zarar vermemeleri gibi belirli kriterleri sağlamaları gerekmektedir. Bunun yanında, fiyatları düşük, yenilenebilir, bol ve sürekli temin edilebilir olmalıdırlar. Amerika'da soya ve kanola, Avrupa'da kolza bitkisi biyodizel için temel hammadde olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ise ayçiçeği üretimi yaygın olarak yapılmak-

Makale 24.07.2007 tarihinde geldi, 06.06.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

Y. SEKMEN, Karabük Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü, Karabük, Türkiye

A. AKTAŞ, Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Karabük, Türkiye

suatozdemir@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.3.249-254

tadır. Tarım Bakanlığı aspir ve kanola üretimi için teşvik vermektedir. Kolza, soya ve palm yağı gibi yenilebilir mutfak yağları gıda sektöründe kullanılmasına rağmen biyodizel üretimi içinde kullanılmaktadır. Fakat, yenilebilir bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin fiyatı dizel yakıtına yakın olduğundan atık mutfak yağlarının biyodizele dönüştürülmesi tercih edilmektedir (2-5).

Amerikan Test ve Malzemeler Birliği (ASTM), biyodizeli bitkisel ve hayvansal yağlardan türetilen yağ asidi zincirlerinin mono alkil esteri olarak tanımlanmaktadır. *Biyö* öneki yenilenebilir ve biyolojik olduğunu, *dizel* kelimesi ise dizel motorlarda kullanımını ifade etmektedir. Biyodizel toksik etkisi olmayan, doğada bozunabilir, yapısında oksijen bulunduran ve sülfür içermeyen yenilenebilir bir alternatif dizel motor yakıtıdır. Biyodizelin dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilmesi için dizel yakıtına yakın değerlere sahip bir yakıtı dönüştürülmesi gerekmektedir. Bitkisel yağların yüksek viskozite ve yoğunluk, düşük setan sayısı ve ısıl değer özellikleri nedeniyle saf veya karışım halinde kullanımı akış problemi, kötü atomizasyon, enjektör tıkanması, piston segman sıkışması, yağlama yağının kalınlaşması, eksik yanma ve performans kaybına neden olduğundan bu problemleri gidermek için ön ısıtma, başka yakıtlar ile karıştırma ve çözme, ısıl parçalanma ve esterleştirme gibi teknikler

uygulanmaktadır (6-17). Dönüştürülme işleminde en yaygın kullanılan yöntem transesterifikasyon reaksiyonudur. Dönüştürülecek yağın özellikleri (yoğunluk, viskozite, serbest yağ asitleri ve su miktarı vs.), kullanılan alkol ve katalizörün yapısı ve miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve süresi esterleştirme reaksiyonunu dolayısıyla elde edilecek biyodizelin özelliklerini etkileyen parametrelerdir. Reaksiyonda alkol olarak metanol, etanol ve butanol kullanılabilirken daha kolay reaksiyona girmesi ve ucuz olması sebebiyle metanol tercih edilmektedir. Reaksiyonu hızlandırmak için baz (NaOH ve KOH), asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve HCl) veya enzim katalizör kullanılabilir. Kütleli olarak kullanılacak katalizör miktarının daha az ve oda sıcaklığının yeterli olması ve reaksiyonu daha hızlı gerçekleştirdikleri için baz katalizörler tercih edilmektedir. Üretilen biyodizelin setan sayısı, yoğunluğu ve viskozitesi, bulutlanma noktası ve ısıl değeri motor performansını ve egzoz emisyonlarını etkileyen özellikleridir (13,15,18). Tablo 1’de biyodizel için ASTM (USA) ve EN 14214 (AB) standartları (19,20) ve Tablo 2’de soya yağı metil esterinin özellikleri verilmiştir. Biyodizel ile dizel yakıtı egzoz emisyonları açısından karşılaştırıldığında kütleli olarak %10-12 daha fazla oksijen içerdiğinden tam yanma etkisiyle CO, partikül madde ve yanmamış HC emisyonları daha düşüktür (1,11,17,21,22). Biyodizel yenilenebilir bir yakıt olduğundan yanma sonu ürünlerindeki

Tablo 1. Biyodizel yakıtı için ASTM ve EN standartları (2,12,17,18,27)

Özellik	Limit		Metot	
	ASTM D6751	EN 14214	ASTM	EN 14214
Alevlenme noktası (°C)	≥130,0	≥120	D93	EN ISO3679
Kinematik viskozite (mm <sup>2</sup> /s, 40°C)	1,9-6,0	3,5-5,0	D445	D445
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> , 15°C)	-	860-900	D4052	EN ISO 3675
Setan sayısı	47	51	D613	EN ISO 5165
Su (mg/kg)	≤500	≤500	D2709	ISO 12937
Sülfür (%kütleli)	≤0,05	≤10 mg/kg	D5453	D5453
Sülfat külü (%kütleli)	0,020	0,02	D874	D874
Bakır çubuk korozyonu (3h 50°C)	≤No.3	No.1	D130	D130
Karbon çökeltisi,%100 numune (%kütleli)	0,050	0,30	D4530	EN ISO 10370
Asit miktarı (mg KOH/g)	0,80	0,50	D664	EN 14104
İyot değeri (g iyot/100g)	-	≤120	-	EN14111
Serbest gliserin (%kütleli)	≤0,02	≤0,02	D6584	EN 14105
Toplam gliserin (%kütleli)	≤0,24	≤0,25	D6584	EN 14105
Fosfor içeriği (%kütleli)	0,001	10,0	D4951	EN 14107
Damıtma sıcaklığı (°C)	≤360	-	D1160	-

Tablo 2. Soya yağı metil esteri ve 2 numaralı dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Dizel no.2	Soya yağı metil esteri
Alevlenme noktası (°C)	73 <sup>(37)</sup>	167 <sup>(32)</sup>
Kinematik viskozite (mm <sup>2</sup> /s, 40°C)	2,6 <sup>(37)</sup>	4,2691 <sup>(17)</sup>
Bulutlanma noktası (°C)	-6 <sup>(37)</sup>	3 <sup>(32)</sup>
Setan sayısı	47 <sup>(37)</sup>	51,5 <sup>(32)</sup>
Sülfür (%kütleli)	0,041 <sup>(17)</sup>	<0,005 <sup>(17)</sup>
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> , 15°C)	0,835 <sup>(37)</sup>	0,889 <sup>(38)</sup>
Karbon (%kütleli)	86,70 <sup>(17)</sup>	77,10 <sup>(17)</sup>
Hidrojen (%kütleli)	12,71 <sup>(17)</sup>	11,81 <sup>(17)</sup>
Oksijen (%kütleli)	-	10,97 <sup>(17)</sup>
Alt ısıl değer (kJ/kg)	42640 <sup>(17)</sup>	37388 <sup>(17)</sup>

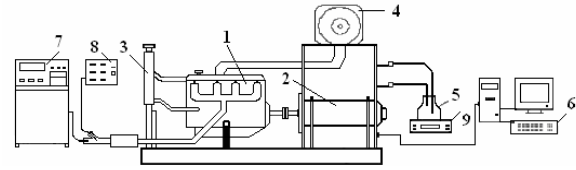
CO<sub>2</sub>'nin tekrar fotosentez çevrime katılmasıyla sera gazları etkisi en aza indirilmektedir (19,23). Bitkisel yağlar çok az sülfür içerdiğinden dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında yakıttaki biyodizel oranına bağlı olarak asit yağmurlarına neden olan SO<sub>2</sub> emisyonlarında önemli miktarda azalma elde edilmektedir (1,24). Biyodizel dizel yakıtı ile homojen olarak karışabilmekte ve kararlı halde kalabilmektedir. NO<sub>x</sub> oluşumu ile ilgili olarak iki farklı görüş vardır. Kimi araştırmacılar (5,10,11,17,25,26,27) biyodizelin dizel yakıtına göre daha fazla miktarda NO<sub>x</sub> emisyonuna neden olduğunu açıklarken; başka araştırmacılar (21,24,28-32) düşük miktarda NO<sub>x</sub> emisyonu oluştuğunu bildirmektedirler.

Literatür araştırmasından, biyodizel veya dizel yakıtı ile karışımları dizel motorlarda herhangi bir değişikliğe ihtiyaç duyulmaksızın alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Biyodizel, dizel yakıtına göre setan sayısı yüksek, kütlelesel olarak %10-12 fazla oksijen içeren, sülfür içermeyen, toksik olmayan ve yenilenebilir bir yakıttır. Ayrıca, alevlenme noktası daha yüksek ve yağlama özelliği daha iyidir (33-36). Bu çalışmada, yakıt olarak soya yağı metil esteri kullanılmasının tam yükte farklı motor hızları için motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri direkt yanma odalı bir dizel motorda araştırılmıştır.

## 2. DENEY DÜZENİĞİ ve YÖNTEMİ

Deney düzeneği Go-Power hidrolik tip dinamometre, dizel motor, egzoz gaz analizörü ve duman ölçerden oluşmaktadır. Deney sisteminin şematik görünüşü Şekil 1'de görülmektedir. Deneylerde 4 silindirli, dört zamanlı dizel motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 3'te verilmiştir. Yakıt tüketimi, motorun 60s'de tükettiği yakıt belirlenerek ölçülmüştür. Hava tüketimi değişken orifis plakalı hava tankı ve eğik manometre aracılığıyla ölçülmüştür. Emisyon ölçümleri için Tablo 4'te ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri verilen MRU egzoz gaz analizörü ve duman koyuluğunun belirlenmesinde VLT 2600 S duman ölçer kullanılmıştır. Egzoz sıcaklığının ölçülmesinde K tipi termocift kullanılmıştır. Yakıt olarak dizel yakıt no.2 ve soya yağı metil esteri kullanılmıştır. Motor biyodizel ile çalıştırılmadan önce yakıt filtreleri değiştirilmiş ve bir süre yakıt geri dönüşü başka bir depoya alınmıştır. Deneyler motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra tam yükte yapılmıştır. Motor hızı 1200-2400 d/dak aralığında 200 d/dak aralıklarla değiştirilmiştir. Her bir

nokta için motor kararlı duruma ulaştıktan sonra ölçümler kaydedilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü (1- Motor, 2- Dinamometre, 3- Motor soğutma ünitesi, 4- Hava tankı, 5- Yakıt tankı, 6- Kontrol ünitesi ve Bilgisayar, 7- Egzoz gaz analizörü, 8- Duman ölçer, 9- Dijital terazi).

Tablo 3. Deney motorunun teknik özellikleri

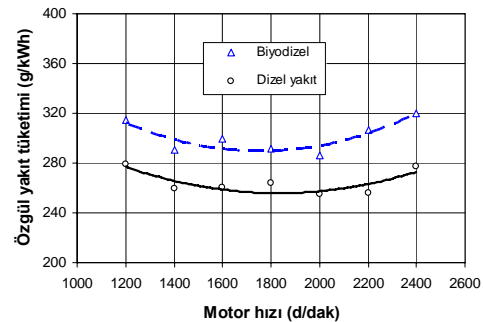
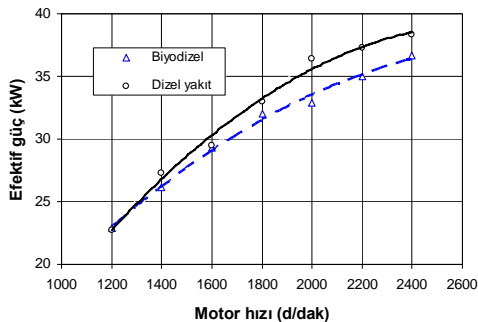
Motor tipi	Dört zamanlı, direkt püskürtmeli, dizel motor
Silindir sayısı	4
Silindir çapı	100 mm
Strok	100 mm
Maksimum motor	46 kW (2400 d/dak)
Maksimum motor	216 Nm (1400 d/dak)
Sıkıştırma oranı	16,1:1
Püskürtme sıralaması	1-3-4-2

Tablo 4. MRU DELTA 1600-L egzoz gaz analizörü ve VLT 2600S duman ölçerinin özellikleri

Ölçüm	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (%vol)	0-15,00	±%0,06
CO <sub>2</sub> (%vol)	0-20,00	±%0,5
NO <sub>x</sub> (ppm)	0-2000	±5
HC (ppm)	0-20000 n-hexan	±12
O <sub>2</sub> (%vol)	0-25	±%0,1
Sıcaklık (°C)	-40 ...+650	±1
Duman koyuluğu (%)	0-99	±%2

## 3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

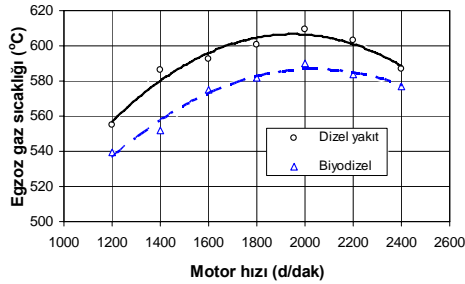
Bu deneysel çalışmada, soya yağı metil esterinin alternatif yakıt olarak kullanıldığı bir dizel motorda efektif güç, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı, CO, HC, NO<sub>x</sub> ve duman koyuluğu motor hızına göre belirlenerek dizel yakıt no.2 ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Şekil 2'de yakıt olarak biyodizel ve dizel yakıt no. 2 kullanılan bir motorda efektif güç ve özgül yakıt tüketiminin motor hızı ile değişimi görülmektedir. Biyodizel ile çalışmada, biyodizelin ısı değerinin dizel yakıttan düşük olması nedeniyle efektif güç daha düşük ve özgül yakıt tüketiminin daha yüksek olduğu hesaplanmıştır (8,10,24,39-42). Biyodizelin ısı



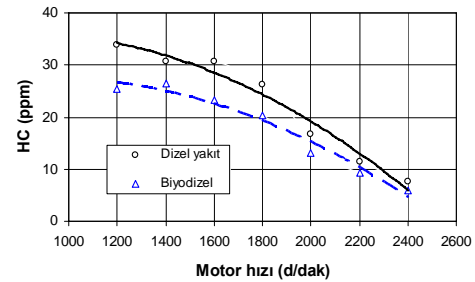
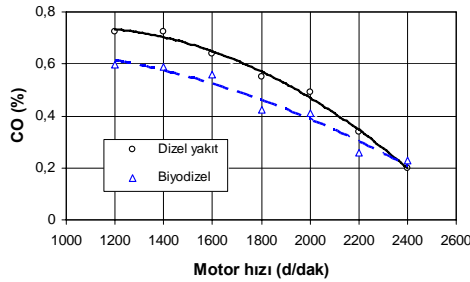
Şekil 2. Biyodizelin efektif güç ve özgül yakıt tüketimine etkisi

değerinin dizel yakıtından düşük olması nedeniyle aynı miktarda enerji elde etmek için daha fazla yakıt kullanmak gerekmektedir. Bu durum özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtına göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Biyodizel ile çalışmada, efektif güç ortalama %3,9 daha düşük, özgül yakıt tüketimi %14 daha yüksektir. Püskürtülen yakıtın yoğunluğu, viskozitesi ve ısıl değeri özgül yakıt tüketimini etkilemektedir.

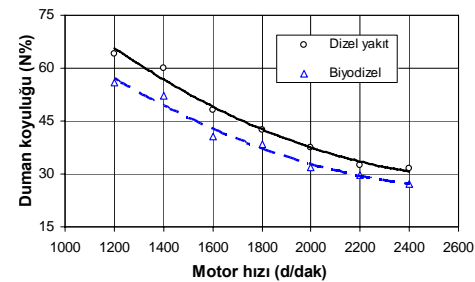
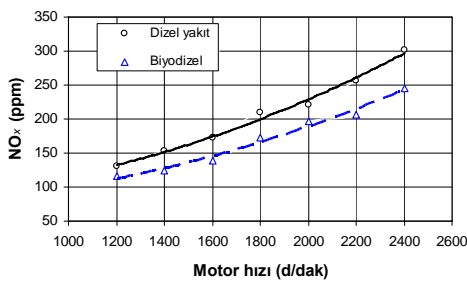
Dizel motorlarda, tutuşma gecikmesi süresi egzoz gaz sıcaklıklarını etkilemektedir. Setan sayının yüksek olması tutuşma gecikmesi süresini kısaltırken yanma hızını da artırmaktadır. Bu yüzden, yanmanın genişleme periyoduna kaymadan tamamlanması egzoz gaz sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır. Şekil 3'te dizel ve biyodizel yakıtları için egzoz gaz sıcaklıklarına etkisi motor hızına bağlı olarak görülmektedir. Biyodizel ile çalışmada egzoz gaz sıcaklığı ortalama %3,2 daha düşük belirlenmiştir. En düşük egzoz gaz sıcaklığı 1200 d/dak için 539°C, en yüksek sıcaklık 2000 d/dak'da 589°C olarak ölçülmüştür.



Şekil 3. Biyodizelin egzoz gaz sıcaklığına etkisi



Şekil 4. Biyodizelin CO ve HC emisyonlarına etkisi



Şekil 5. Biyodizelin NO<sub>x</sub> emisyonları ve duman koyuluğuna etkisi

CO ve HC emisyonlarının değişimi motor hızına göre Şekil 4'te verilmiştir. Biyodizel ile çalışmada CO emisyonları dizel yakıtına göre daha düşük olarak ölçülmüştür. Biyodizel yakıtının oksijen içeriği, düşük hidrojen/karbon oranı ve yüksek setan sayısı bu azalmanın temel sebepleridir. Dizel motorlar genellikle fakir karışımla çalıştığından CO emisyonları düşüktür. Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da açıklanmıştır (37,39,41,43). Dizel motorlarda, yakıt jeti etrafında tutuşması zor oldukça fakir karışımlar, enjektör iğnesi etrafında ve püskürtme deliklerinde kalan yakıt (genişleme periyodu esnasında silindire girerek eksik oksijen sebebiyle yanamazlar) yanmamış HC emisyonlarının temel kaynaklarıdır (44). Biyodizel ile çalışmada HC emisyonları tüm motor hızlarında daha düşük olarak belirlenmiştir. Motor hızındaki artış ile her iki yakıt içinde HC emisyonları azalmıştır.

Şekil 5'te NO<sub>x</sub> emisyonları ve duman yoğunluğunun değişimi motor hızına bağlı olarak biyodizel ve dizel yakıtı için görülmektedir. Biyodizel ile çalışmada, NO<sub>x</sub> emisyonlarında yaklaşık %10-19 ve duman koyuluğunda %8-13,9 arasında azalma belirlenmiştir. Yakıt-hava oranı, oksijen miktarı, yanma sıcaklığı ve zamanı yakıt sistemi, motor tipi ve yükü NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşumunu etkilemektedir (2,5,45). NO<sub>x</sub> emisyonlarının oluşması silindir içi sıcaklık ve tutuşma gecikmesi süresine bağlıdır. Biyodizel ile çalışmada NO<sub>x</sub> emisyonları azalmaktadır. Bu azalma yanma sıcaklığındaki düşme ile açıklanabilir. Yanmanın ön karışım fazında daha düşük ısı açığa çıktığından maksimum yanma sıcaklığı düşük olmakta ve NO<sub>x</sub> emisyonları azalmaktadır (21).

Genellikle alternatif yakıtlar oksijen içerikleri nedeniyle  $\text{NO}_x$  emisyonlarını artırmaktadır.  $\text{NO}_x$  oluşumu ise büyük oranda silindir içi sıcaklıklara bağlı olarak oluşmaktadır (ısıl veya termal  $\text{NO}_x$ ). Bu sıcaklığı azaltma yöntemlerinden birisi, su enjeksiyonu veya biyodizel su emülsiyonu kullanmaktır. İkinci bir yöntem ise püskürtme zamanlamasının geciktirilmesidir. Püskürtme zamanlamasının rötara alınması, yakıtın kalma zamanı ve yanma odasında oluşan maksimum sıcaklığı azaltmaktadır (31). Biyodizel ile, düşük silindir sıcaklıklarının ve  $\text{NO}_x$  emisyonlarının bir sebebi de biyodizel içerisinde normalden fazla miktarda su kalmış olabileceğidir. Birçok özellikleriyle standartları (ASTM D6751 veya EN 14214) karşılamayan oldukça fazla sayıda biyodizel üretimi yapılmaktadır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, soya yağı metil esterinin direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda performans ve egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Biyodizel dizel motorlarda herhangi bir ayar ve değişiklik yapılmadan saf veya dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilir. Biyodizel kullanımı petrolde dışa bağımlılığın azaltılmasına yardımcı olmakta, tarımı desteklemekte ve yerli ürünler için pazar imkanları oluşturmaktadır.
- Deneyler sırasında ve sonrasında motor parçalarında belirgin herhangi bir problem gözlenmemiştir.
- Biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıtı göre daha düşük olmasından dolayı efektif güçte azalma, özgül yakıt tüketiminde artış belirlenmiştir.
- Biyodizel ile çalışmada egzoz gaz sıcaklıkları dizel yakıtı göre daha düşük olarak ölçülmüştür. Biyodizelin setan sayısının yüksek olması yanmanın genişleme periyoduna kaymadan tamamlanmasını sağlamaktadır.
- Biyodizel kullanımı ile  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  ve  $\text{NO}_x$  emisyonları ile duman yoğunluğunda azalma belirlenmiştir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Aziz AA., Said MF., Awang MA., Performance of palm oil-based biodiesel fuels in a single cylinder direct injection engine, *Malaysian Palm Oil Development*, 42, 15-27, 2005.
2. Usta N., Can Ö., Öztürk E., An experimental study on performance and exhaust of a diesel engine fuelled with diesel fuel no. 2/waste sunflower oil methyl ester blends, 9<sup>th</sup> International Combustion Symposium, Kırıkkale, Turkey, 89-103, 16-17 Kasım 2006.
3. Demirbaş A., Biodiesel production via non-catalytic SCF method and biodiesel fuel characteristics, *Energy Conversion and Management*, 47(15-16), 2271-2282, 2006.

4. Ulusoy Y., Tekin Y., Cetinkaya M., Karaosmanoglu F., The engine tests of biodiesel from used frying oil, *Energy Sources*, 26(10), 927-932, 2004.
5. Gomez MEG., Howard-Hildige R., Leahy JJ., O'Reilly T., Supple B., Malone M., Emission and performance characteristics of a 2 liter Toyota Diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral Diesel fuel, *Environmental Monitoring and Assessment*, 65, 13-20, 2000.
6. Karaosmanoglu F., Tuter M., Gollu E., Yanmaz S., Altintig E., Fuel properties of cottonseed oil, *Energy Sources*, 21(9), 821-828, 1999.
7. Karaosmanoglu F., Kurt G., Özaktaş T., Long term CI engine test of sunflower oil, *Renewable Energy*, 19, 219-221, 2000.
8. Altin R, Cetinkaya S, Yucsu HS., The potential of using vegetable oil fuels as fuel for Diesel engines, *Energy Conversion and Management*, 42(5), 529-38, 2001.
9. Canakci M., and Van Gerpen JH., Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids, *Trans. ASAE* 44(6), 1429-1436, 2001.
10. Monyem A., Van Gerpen JH., The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions, *Biomass and Bioenergy*, 20, 317-325, 2001.
11. Usta N., Can Ö., Öztürk E., Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 325-334, 2005.
12. Önsezen AN., Çanakçı M., Türkcan A., Sayın C., Atık kızartma yağı kökenli biyodizelin ön yanma odalı bir dizel motorda yanma karakteristiklerinin incelenmesi, 9. Uluslararası yanma sempozyumu, Kırıkkale, Turkey, 89-103, 16-17 Kasım 2006.
13. Demirbas A., Biodiesel from vegetable oils via transesterifications in supercritical methanol, *Energy Conversion and Management*, 43, 2349-2356, 2002.
14. Demirbas A., Biodiesel from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey, *Energy Conversion and Management*, 44, 2093-2109, 2003.
15. Demirbas A., Biodiesel from sunflower oil in supercritical methanol with calcium oxide, *Energy Conversion and Management*, 48, 937-941, 2007.
16. Van Gerpen JH, Peterson CL., Goering CE., Biodiesel: An Alternative Fuel for Compression Ignition Engines, *Agricultural Equipment Technology Conference*, Louisville, Kentucky, USA, 1-22, 11-14 February 2007.
17. Canakci M., Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fuelled with petroleum diesel fuels and biodiesel, *Bioresource Technology*, 98, 1167-1175, 2007.
18. Çıldır O., Canakci M., Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi, *GÜ Müh. Mım. Fak. Dergisi*, 21(2), 367-372, 2006.
19. Demirbas A., Fuel properties and calculation of higher heating values of vegetable oils, *Fuel*, 77, 1117-1120, 1998.

20. Çanakçı M., Önzezen AN., Evaluating waste cooking oils as alternative diesel fuel, *GÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 18(1), 81-91, 2005.
21. Kalam MA., Maşjuki HH., Biodiesel from palm oil an analysis of its properties and potential, *Biomass and Bioenergy*, 23(6), 471-479, 2002.
22. Ozaktas, T., Compression ignition engine fuel properties of a used sunflower oil-diesel fuel blend, *Energy Source*, 22 (4), 377-382, 2000.
23. Demirbas MF. and Balat M., Recent advances on the production and utilization trends of bio-fuels: A global perspective, *Energy Conversion and Management*, 47(15-16), 2371-2381, 2006.
24. Dorado MP., Ballesteros E., Arnal JM., Gomez J., Lopez FJ., Exhaust emissions from a Diesel engine fuelled with transesterified waste olive oil, *Fuel*, 82(11), 1311-1315, 2003.
25. Graboski MS., McCormick RL., Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engine, *Progress in Energy and Combustion Science*, 24, 125-164, 1998.
26. Tat ME., Van Gerpen JH., Physical properties and composition detection of biodiesel-diesel fuel blends, ASAE Paper 026084, 1-11, ASAE Annual International Meeting, Chicago, USA, 2002.
27. Canakci M., Combustion characteristics of a diesel engine fuelled with biodiesel from soybean oil, 8<sup>th</sup> International Combustion Symposium, Ankara, Turkey, 364-376, September 8-9 2004.
28. Lin CY., Huang JC., An oxygenating additive for improving the performance and emission characteristics of marine Diesel engines, *Ocean Engineering*, 30(13), 1699-1715, 2003.
29. Boehman AL., Morris D., Szybist J., Esen E., The impact of the bulk modulus of diesel fuels on fuel injection timing, *Energy & Fuels*, 18, 1877-1882, 2004.
30. Kegl B., Experimental investigation of optimal timing of the diesel engine injection pump using biodiesel fuel, *Energy & Fuels*, 20(4), 1460-1470, 2006.
31. Fernando S., Hall C., Jha S., NO<sub>x</sub> reduction from biodiesel fuels, *Energy & Fuels*, 20, 376-382, 2006.
32. Tat ME., Investigation of oxides of nitrogen emissions from biodiesel-fueled engines, 1-5; 144-147; Ph.D. dissertation, Iowa State University, 151-154, 2003.
33. Van Gerpen JH., Soylu S., Tat ME., Evaluation of the lubricity of soybean oil-based additives in diesel fuel, ASAE Paper 996134, American Society of Agricultural Engineers (ASAE) Annual International Meeting, Toronto, Ontario, Canada, July 18-21, 1999.
34. Durak E. and Karaosmanoglu F., Using of cottonseed oil as an environmentally accepted lubricant additive, *Energy Sources*, 26(7), 611-625, 2004.
35. Yori JC., D'Ippolito SA., Pieck CL., and Vera CR., Deglycerolization of biodiesel streams by adsorption over silica beds, *Energy & Fuels*, 21, 347-353, 2007.
36. D'Ippolito SA., Yori JC., Iturria ME., Pieck CL., and Vera CR., Analysis of a two-step, noncatalytic, supercritical biodiesel, production process with heat recovery, *Energy & Fuels*, 21, 339-346, 2007.
37. Altıparmak D., Keskin A., Koca A., Guru M., Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester-diesel fuel blends, *Bioresource Technology*, 98(2), 241-246, 2007.
38. Scholl KW., Sorenson SC., Combustion of soybean oil methyl ester in a direct injection diesel engine, SAE paper no: 930934, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc., 1993.
39. Nwafor OMI., Emission characteristics of diesel engine operating on rapeseed methyl ester, *Renewable Energy*, 29(1), 119-129, 2004.
40. Rakopoulos CD., Antonopoulos KA., Rakopoulos DC., Hountalas DT., Giakoumis EG., Comparative performance and emissions study of a direct injection Diesel engine using blends of Diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins, *Energy Conversion and Management*, 47, 18-19, 3272-3287, 2006.
41. Usta N., An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester, *Energy Conversion and Management*, 46(15-16), 2373-2386, 2005.
42. Usta N., Öztürk E., Can Ö., Conkur ES., Nas S., Çon AH., Can AÇ., Topçu M., Combustion of biodiesel fuel produced from hazelnut soapstock/waste sunflower oil mixture in a Diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 46(5), 741-755, 2005.
43. Abdel-Rahman AA., On the emissions from internal-combustion engines: a review, *International Journal of Energy Research*, 22, 483-513, 1998.
44. Öz İH., Borat O., Sürmen A., İçten Yanmalı Motorlar, Birsen yayınevi, İstanbul, 2003.
45. Heywood JB., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Co., USA, 1998.