

## Mikroalg yağından elde edilen biyodizel ve etanol karışımının bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması

Gönenç Duran<sup>1+</sup> and Cumali İlkılıç<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Automotive Engineering, Bursa Uludag University, Bursa, Turkey

<sup>2</sup>Automotive Engineering, Fırat University, Elazığ, Turkey

\*Corresponding author: [cilkilic@firat.edu.tr](mailto:cilkilic@firat.edu.tr)

<sup>+</sup>Speaker: [gonencduran@uludag.edu.tr](mailto:gonencduran@uludag.edu.tr)

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

**Özet** – Bu çalışmada ülkemizin petrol ihtiyacını azaltmak, yerli üretimi geliştirmek ve ülkemiz ekonomisini daha da artırmak için yapılan pek çok çalışmalara ek katkı sağlanması amaçlanmıştır. Mikroalglerin yüksek verimlilikte biyodizel sunması ve çevreye duyarlı oluşu tetikleyici unsur olmuştur. Bu çalışmada transesterifikasyon yöntemi ile mikroalg yağından metil ester elde edilmiştir. İyileştirici deney çalışmaları yapıp, yüksek verimli biyodizel üretimi için analizler yapılmıştır. Hammadde olarak mikroalg yağı, katalizör olarak sodyum metilat ve metanol kullanılarak transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. En düşük %99.8 saflıkta etanol %10 oranında biyodizel (mikroalg metil ester) ile harmanlanmıştır. Biyodizel-etanol karışımı analiz edilmiş olup, mikroalg metil esterinin yakıt özellikleri TS EN 14214 biyodizel standartlarına uygun olarak test edilmiştir. Biyodizel ve biyodizel etanol karışımının egzoz emisyonlarına ve dizel motor performansına etkileri araştırılıp, dizel yakıtı ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Biyodizel-etanol yakıt karışımının kullanımı ile genel olarak tork ve motor gücü değerlerinde bir artış, mikroalg biyodizeli ve yakıt karışımının kullanımı ile de egzoz emisyon değerleri iyileştirilmiştir. Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## Investigation of the availability of biodiesel and biodiesel-ethanol blends from microalgae oil in a diesel engine

**Abstract** – It is aimed to provide additional contribution to our country's petroleum needs, to improve domestic production and to increase the economy of our country. The microalgae's ability to present biodiesel at high efficiency and to be environmentally sensitive is a trigger for this study. In this study, methyl ester was produced from microalgae oil. In the Production processing, transesterification method was used by the author. The studies were carried out and analyzed for optimal high yield biodiesel production. Biodiesel production was carried out by transesterification reaction was performed by using microalgae oil as feedstock, sodium methilate as the catalyst and methanol. Ethanol with purity min. 99.8% was blended with biodiesel (microalgae methyl ester) with the volumetric ratio of 10%. Fuel properties of microalgae methyl ester was tested in TS EN 14214 biodiesel standards and biodiesel-ethanol blends were analysed. Investigated of effects of biodiesel and biodiesel-ethanol blends on exhaust emissions and diesel engine performance and they were compared with diesel fuel. Generally biodiesel-ethanol blended fuels caused a increase in engine power and torque values, the emission values of the engine using microalgae biodiesel and blended fuels were improved. This study was supported by TUBİTAK.

**Keywords** – Biodiesel, Diesel Engine, Microalgae Oil

### I. GİRİŞ

Günümüz otomobil satış rakamları incelendiğinde elektrikli ve hibrit araçların üretim bandında yaygınlaşacağı zamana kadar alternatif yakıtların, ülkemizde verimli bir şekilde üretilip kullanılabilirliğinin artırılması önemli bir fayda sağlamaktadır. Biyoyakıt kullanımı ve biyodizel oranının artırılması, petrol tüketimini azaltıcı ve de çevre kirletici emisyonlarını düşürücü etkisiyle geçiş süreci planlamasında

büyük önem arz etmektedir. Termik verimi artırıcı biyoyakıt üretimi ve tam uygun motor tipleri gelişime açıktır. Biyoyakıt kullanımı günümüz ve yakın gelecekte uygun bir avantaj sağlamaktadır. Biyoyakıt üretimi ve motor uyarılma parametreleri üzerine literatürde pek çok çalışmalar yapılmaktadır [1]-[3].

Biyodizel, bitkisel yağların veya hayvansal iç yağların hammadde olarak kullanılmasıyla alkol ve katalizör ile reaksiyon sonucunda elde edilen yakıt türüdür. Endüstriyel ve evsel atık yağların geri dönüşümünden de elde edilebilmektedir. Bir dizel motorunda önemli bir değişikliğe gidilmeden belirli oranlarda biyodizel-dizel yakıt karışımları ve direkt biyodizel yakıtı kullanılabilir [4].

Ulaştırma endüstrisinde kullanılan etil alkol (etanol), bitkisel ürünlerden üretilen ve kimyasal formülü  $C_2H_5OH$  olan bir alkol türüdür. Etanolün motorlu araçlarda yakıt olarak kullanılması için sudan uzaklaştırılmalı ve en az %99.5 saflıkta kullanılması gerekmektedir [5], [6].

Mikroalgler, pek çok gelişmiş bitki türlerinden farklı olarak doğal koşullarında karada ve suda yaşayan, fotosentez yapan basit canlı olup çok çeşitli türleri bulunmaktadır. Mikroalglerin cazip olan özelliği ise sentez sonucu oluşan ürünleri, büyük ölçekte yağ olarak depo etmektedir. Uygun özelliğe sahip alglerden elde edilen yağ ile dizel motorlarda çevreye duyarlı ve organik nitelik taşıyan biyoyakıt olarak kullanılabilir [7]. Biyokütlesinin toplam kuru ağırlığından %80 ve daha üstü yağ elde edilebilen mikroalglerin üretiminde küçük ölçekli arazi alanına ihtiyaç duyması biyodizel eldesi için önemli bir etkidir [8]. Uygun yetiştirme parametrelerinde üretilen mikroalglerden yüksek verimli yağ elde edilmesi ve yağ elde edilebilen pek çok bitkilerden daha fazla biyodizel üretme potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda mikroalglerden biyodizel üretimi ile yenilenebilir enerji kullanımı artmakta olup, klorofil taşıyan mikroalglerin fotosentez aracılığıyla  $CO_2$ 'yi verimli kullanarak küresel ısınmayı engellemede yardımcı olmaktadır [9], [10].

Bu çalışmada, ülkemizin petrol ihtiyacını azaltıp çevre dostu yerli üretimi canlandırmak ve ülkemiz ekonomisini daha da artırmak için yapılan pek çok çalışmalara ek katkı sağlanması hedeflenmiştir. Bu çalışmanın amacı mevcut dizel motorlarında önemli bir değişikliğe gidilmeden mikroalglerden elde edilen yağın yakıt olarak kullanılabilmesi için üretilen biyodizelin TS EN 14214 standardına uygunluğunun test edilip, %10 oranlarında etanol ile karıştırılan biyodizelin analiz edilmesi ve bir dizel motorda yakıt olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır.

## II. METERYAL VE METOT

Mikroalg yağının yakıt olarak kullanılabilmesi için transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel elde edilmiştir. Bu çalışmanın ilk aşama deneyleri sonucunda elde edilen biyodizellerin ester sayısı ve diğer özellikleri incelenmiştir. Deneyler sonunda motor testlerinde kullanılacak ester sayısı yüksek olan asıl biyodizel üretilmiş ve tek silindri bir dizel motorda testleri yapılmıştır.

### 2.1. Biyodizel Üretimi İçin Öncelikli Deneyler

Biyodizel üretim çalışmaları iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerin ilk aşamasında yüksek oranda ester içeriği elde etmek için belirli oranlarda, farklı katalizörler kullanılarak biyodizel numuneleri üretilmiştir. Mikroalg yağından üretilen biyodizel numuneleri hazırlandıktan sonra metil ester içeriği tayini yapılmıştır.

Şekil 1'de deneyler numunesinin reaksiyon düzeneği gösterilmiştir. Çeşitli oranlarda katalizörler ve numuneler denererek ilk aşama sonunda ester içeriği yüksek çıkan katalizör ve biyodizel numunesi seçilmiştir.



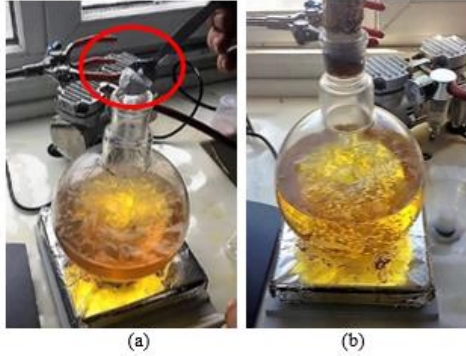
Şekil 1. Optimizasyon deneyleri numunesinin reaksiyon düzeneği

Mikroalg yağının %20 oranında %99.9 metanol ile NaOH, KOH ve %30 seyreltilmiş sodyum metilat ( $NaOCH_3$ ) ayrı ayrı katılarak çeşitli oranlarda çözeltiler hazırlanmıştır. Katalizör olarak NaOH ve KOH kullanılarak yapılan transesterifikasyon sonrasında ortalama 8-9 saat sonunda faz ayrımı tamamlanırken, sodyum metilat kullanımında ise bu süre 1,5-2 saate indirilerek çok daha verimli biyodizel elde edilmiştir. GC (gaz kromatografisi) cihazından tayini yapılan ester sayısının yüksek çıkması, susuz üretimi, faz ayrılma süresinin kısılması ve yağdan elde edilen biyodizel miktarının fazla olmasından dolayı katalizör olarak sodyum metilat seçilmiştir. Sodyum metilat katalizörü kullanımında daha fazla verim elde edilene kadar deneyler yapılmıştır. Bu numunelerin ester sayılarının karşılaştırmaları yapılarak en uygun proseste (yakıt kalitesi yüksek, çevreye duyarlı, maliyeti düşük, zaman tasarruf sağlayan ve üretimi kolay) deneyde kullanılacak biyodizel üretimine geçilmiştir.

### 2.2. Biyodizel Üretimi

Yapılan deneyler sonunda uygun sıcaklık, sodyum metilat - metanol karışım miktarı ve reaksiyon süresi belirlendikten sonra 2. aşama olan biyodizel üretimine geçilmiştir.

Bir balon jöjeye mikroalg yağı aktarılmıştır. Manyetik karıştırıcı 600 d/dk'ya ayarlanarak sıcaklığının  $55^{\circ}C$  oluncaya kadar ısıtılmış ve karıştırılmıştır.  $40^{\circ}C$ 'deki su banyosu içerisinde ısıtıcı üzerine tekrar konularak sıcaklığın  $50^{\circ}C$  sabit olduğunda deney düzeneği tamamlanarak yavaşça sodyum metilat - metanol karışımının eklenerek reaksiyon başlamıştır. 600 d/dk'da bir saat süre boyunca karıştırılmış ve bu sürenin sonunda reaksiyon sonlandırılmıştır. Daha sonra faz ayrıştırma yapıp ester yıkama işlemi yapılmış olup ardından distilasyon işlemi yapılmıştır. Distilasyon işleminden sonra karıştırılmaya devam eden biyodizele, Şekil 2'de gösterilen biyodizelin bazı safsızlıklarını absorbe edebilecek mikroalg biyodizele belli bir oranda sentetik toprak katılmıştır. Sentetik toprak bazı bileşikleri ve safsızlıkları gözeneklerine çektiğinden dolayı bu yardımcı işlem yapılmıştır [11].



Şekil 2. (a) Sentetik toprak katılması, (b) Toprağın ester ile aktifleşmesi

Bu işlem sonunda atık toprağın alınması için nem kapmamış, kuru bir filtre kağıdı kullanılarak biyodizel iki kere süzdürülmüştür.

### 2.3. Mikroalg Biyodizel Yakıtının Analizi

Mikroalg biyodizelinin TS EN 14214 standardına göre uygunluğunu belirlemek için akredite olan akaryakıt ve petrol analiz laboratuvarında standartta gerekli olan yakıt analizleri yapılmıştır.

### 2.4. Motor Testleri

Motor testlerinde Tablo 1’de gösterilen Lombardini marka 4 LD 640 model dizel motoru ile bilgisayar kontrollü elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Deney motoru testlere hazır hale geldiğinde deney yakıtlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemek için motor maksimum devirde tam yükte çalıştırılıp deneylere başlatılmıştır. Her bir deney 3 kere tekrarlanmış olup deneyler tam yükte; 1000, 1400, 1800, 2200, 2600 ve 3000 d/dk motor hızı aralığında ve motor test standardında gerçekleştirilmiştir. Tekrarlı deneylerden elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınmıştır.

Table 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Marka Model	Antor Lombardini	4 LD 640
Soğutma Sistemi	-	Hava Soğutmalı
Püskürtme Sistemi	-	Direkt
Silindir Sayısı	-	1
Silindir Hacmi	cm <sup>3</sup>	638
Çap x Strok	mm	95 x 90
Sıkıştırma Oranı	-	17:1
Maksimum Tork (1800 d/dk)	Kg.m	3.5
Maksimum Güç	Bg	13
Maksimum Motor Devri	d/dk	3000

Bu çalışmada mikroalg yağından üretilen saf biyodizel (M100) ve bu biyodizele hacimsel olarak % 10 oranında %99.8 saflıkta etanol ilave edilerek ME10 (%90 biyodizel + % 10 etil alkol) deney yakıtı hazırlanmıştır. Bu yakıtların motor performansı ve egzoz gazı emisyonlarının incelenmesi için deneyler yapılmıştır. Deney yakıtları bir akaryakıt istasyonundan temin edilen dizel yakıtı ile kıyaslanmıştır.

Motor performans ve egzoz emisyon testleri tamamlandığında motorun torku, gücü, ve egzoz gazı sıcaklığı (EGS) hesaplamalarla kontrol edilip ölçümler alınmıştır. Egzoz emisyonları testlerinde ise hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO) ve is yoğunluğu ölçülmüştür.

Egzoz gazları emisyon değerlerinin ölçülmesi için TS ISO 3930 standardında Mobydic marka 5000 model egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri Tablo 2’de belirtilmiştir. Deney motorunun egzoz çıkışı ile egzoz tahliye bağlantı arasında egzoz gazı sıcaklığının ölçülebilmesi için ısılıçift bağlanmıştır. Egzoz gazlarının açık alanda tahliye olabilmesi için egzoz gazı tahliye hattı kurulmuştur.

Table 2. Egzoz gazı emisyon cihazının teknik özellikleri

Emisyonlar	Birim	Ölçüm Değerleri
HC	ppm	0 - 20000
CO	% Vol	0 - 10
Partikül	mg/m <sup>3</sup>	0 - 1000

## III. BULGULAR

### 3.1. Motor Testinde Kullanılan Yakıtların Özellikleri

Mikroalg yağından %99 oranında biyodizel eldesi üretilmiştir. Bu biyodizelin yakıt kalitesinin ölçümünde kullanılan gaz kromatografisi cihazından tayini yapılan ester sayısı ise %98.9 olarak ölçülmüştür. Testlerde kullanılan yakıt hammaddelerin özellikleri ise Tablo 3’de gösterilmiştir.

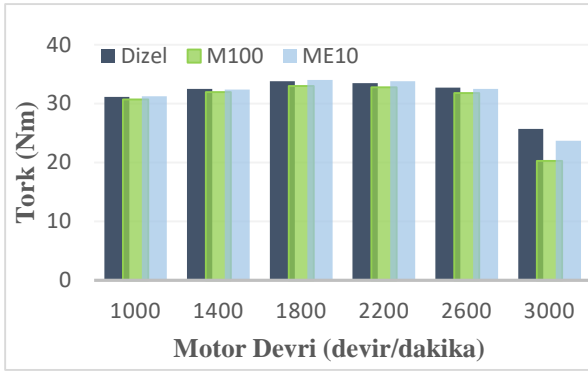
Table 3. Dizel, etanol ve mikroalg biyodizeli yakıtının özellikleri

Özellikler	Dizel	Etanol	M100
Saflık (% v/v)	-	>99.8	98.9
Setan Sayısı	Min 51	11	57.3
Isıl Değer (Mj/kg)	42.7	29.7	40.9
Yoğunluk 15 °C’de (kg/m <sup>3</sup> )	820-845	789	880
Viskozite 40°C’de (mm <sup>2</sup> /s)	2-4.5 mm <sup>2</sup> /s	1.13 mm <sup>2</sup> /s	4.35 mm <sup>2</sup> /s
Parlama Noktası (°C)	Min 55	14	182

### 3.2. Motor Performans ve Egzoz Emisyon Değerleri

#### 3.2.1. Motor Torku

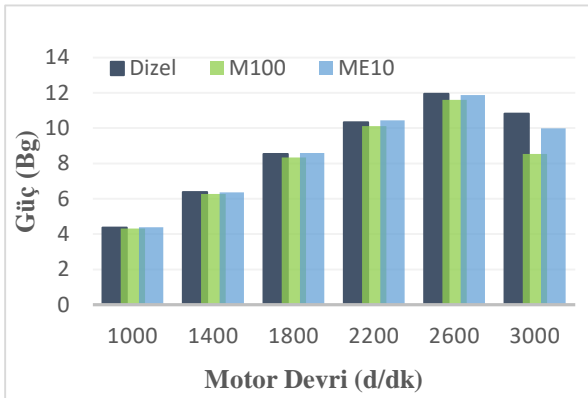
Her motor devirinde ortalama olarak tork değerleri dizel yakıtı kıyasla M100 ve ME10 yakıtlarında sırasıyla %4.6 ve %0.8 oranlarında azalma, ME10 yakıtı M100 yakıtına kıyasla %3.9 oranında artmıştır. Motor devrine bağlı olarak elde edilen motor torku artış ve azalışları Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Deney yakıtlarının motor momentine etkisi

### 3.2.2. Motor Gücü

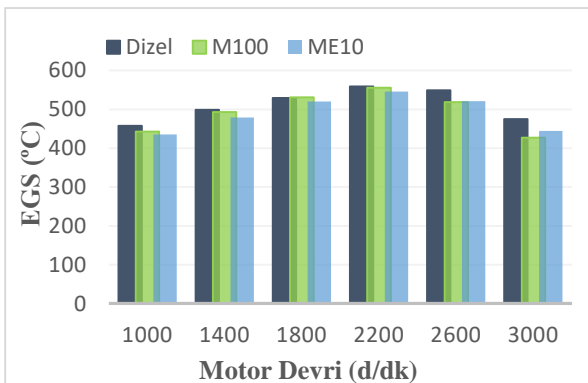
Ortalama olarak motor gücü, M100 ve ME10 yakıtlarında azalmıştır. M100 yakıtına kıyasla ME5 yakıtı ile ortalama motor gücü değerlerinde artış meydana gelmiştir. Ortalaması alınan her bir motor deney devirlerindeki güç değerleri dizel yakıtına kıyasla M100 ve ME10 yakıtlarında sırasıyla %6.1 ve %1.4 oranlarında azalma meydana gelmiştir. ME10 yakıt karışımında ise M100 yakıtına kıyasla %4.9 oranında motor gücünde artış meydana gelmiştir. Motor gücündeki değişimler Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Deney yakıtlarının motor gücü değişimleri

### 3.2.3. Egzoz Gazı Sıcaklığı

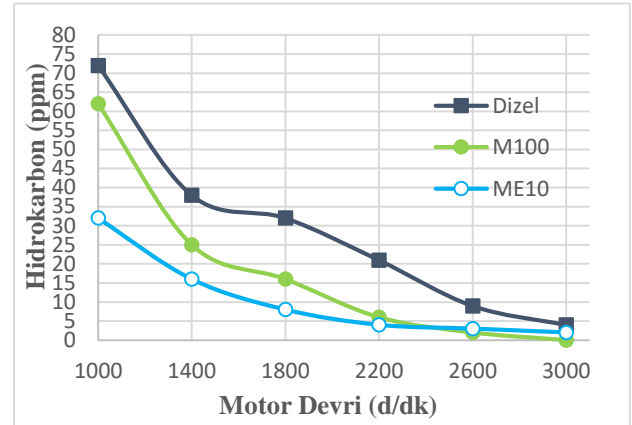
Ortalaması alınan her bir motor deney devirlerindeki egzoz gazı sıcaklıkları dizel yakıtında 511°C, M100 ve ME10 yakıtlarında ise sıcaklıklar sırasıyla 494°C ve 491°C ölçülmüştür. Şekil 5'de her bir deney motor devirlerinde dizel, Dizel, M100 ve ME10 deney yakıtlarının kullanımı ile birlikte egzoz gazı sıcaklığında meydana gelen değişimler gösterilmiştir.



Şekil 5. Deney yakıtlarının EGS değişimleri

### 3.2.4. Hidrokarbon Emisyon Değerleri

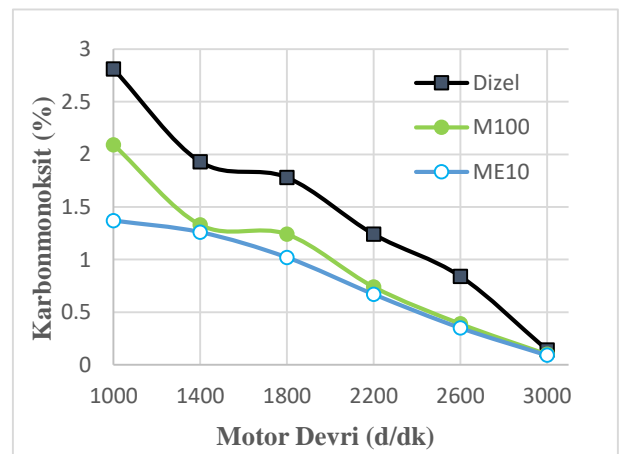
Motorun her deney devirlerindeki HC gazı emisyon değerlerinin ortalaması alındığında dizel yakıtına kıyasla mikroalg biyodizeli kullanılmasıyla %36.9 oranında HC emisyonlarının azalmıştır. M100 yakıtına göre ME10 yakıtı kıyaslandığında %41.4 oranında HC emisyonları azalmıştır. Şekil 6'da motor test devirlerindeki HC emisyon değişimleri verilmiştir.



Şekil 6. Deney yakıtlarının HC gazı emisyonuna etkisi

### 3.2.5. Karbonmonoksit Emisyon Değerleri (CO)

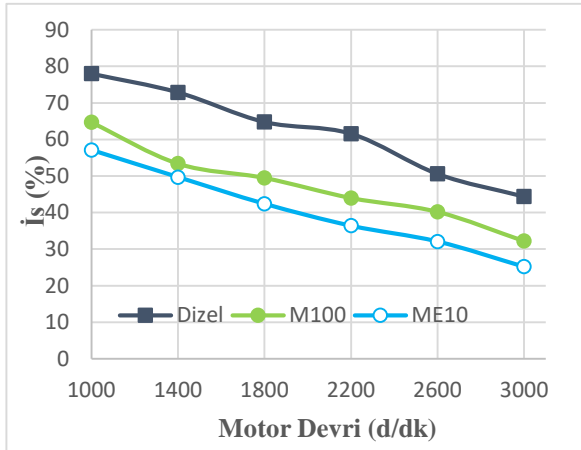
Bütün motor deney devirlerinde ortalama alınarak CO emisyon değerleri dizel yakıtına kıyasla M100 ve ME10 yakıtlarında sırasıyla %32.6 ve %45.5 oranlarında azalmıştır. Şekil 7'de deney motorunda kullanılan dizel yakıtı, M100 ve ME10 deney yakıtların belirli motor devirlerinde ve tam gaz koşullarında karbonmonoksit egzoz gazının emisyon değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 7. Deney yakıtlarının CO gazı emisyonuna etkisi

### 3.2.6. İS Değerleri

Her bir motor deney devirlerinde ortalama alınarak is emisyon değerleri dizel yakıtına kıyasla M100 ve ME10 yakıtlarında sırasıyla %23.7 ve %34.7 oranlarında azalma olmuştur. ME10 deney yakıtı M100 yakıtı ile kıyaslandığında sırasıyla %14.4 oranında is emisyonları azalmıştır. Deney yakıtları kullanımı sonucunda oluşan is emisyonları değişimleri Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Deney yakıtlarının is emisyonuna etkisi

#### IV. TARTIŞMA

Mikroalgelerin yüksek oranlı yağ içeriğine sahip oluşu ve üretilen biyodizelin insanların gıda olarak kullanmadıkları yağdan elde edilmesi önemli bir tetikleyici unsurdur. Verimi yüksek olan mikroalg biyoyakıtının üretimi, kullanımı ve çevre ile daha uyumlu bir alternatif yakıt olarak kullanılabilirliği bakımından önemli bir enerji kaynağıdır.

Biyodizel üretiminde katalizör olarak kullanılan sodyum metilatın susuz üretimi, çevreye duyarlı oluşu ve atık oluşumunu azaltması gibi faydaları sayesinde biyodizel üretimi için tercih edilmiştir. Sodyum metilat kullanımı ile deneyler sonunda faz ayrılma süresini yaklaşık olarak %80 oranında azalmıştır. Düşük işletme maliyetleri gibi pek çok yönden yararlı hale gelmiştir.

Elde edilen biyodizelle sentetik toprak ilavesi ile yakıtın berraklığı sağlanmıştır. Bazı yağ asitleri ile birlikte yabancı ve aromatik bileşikler absorbe edilip toprağa geçerek gözeneklerde tutulmuştur. Bu işlem yakıt kalitesinin artırmada tercih edilebilir hale gelmiştir.

Yüksek yağ asidi metil esteri içeriğine sahip üretilen mikroalg biyodizelin etanol ile karıştırılması sonucu egzoz emisyonlarını düşürmüş ve motor performans karakteristikleri iyileştirilmiştir.

#### V. SONUÇLAR

Deney yakıtının TS EN 14214 standardında belirtilen deney metotlarına göre testleri yapılmış olup, ester sayısının yüksek oluşu ve diğer özelliklerinin uygunluğu, üretilen biyodizelin, dizel motorlarda kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Ayrıca saf biyodizel yakıtının etanol karışımı motor performansında dizel yakıtına benzer sonuçlar vermekle birlikte emisyon değerlerinde önemli derecede azalmasına neden olmuştur.

Ülkemizin petrol kullanım ihtiyacını ve zararlı emisyon gazlarını azaltmak için mikroalgelerin kolayca yetişebilecek ortamın oluşturulması, biyodizel üretim proseslerinin geliştirilmesi, atık yağlardan elde edilen yakıtlarla etkileşimi ve mikroalglerden elde edilen biyodizelin dizele yakıtına katkı maddesi olarak ya da belirli faaliyetlerde küçük tip motorlarda kullanılması önemli fayda sağlayabilmektedir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından 2211 Yurt İçi Lisansüstü Burs Programı kapsamında desteklenmiştir. Çalışmamda emeği geçen herkese ve TÜBİTAK'a çalışmamı verdiği bu önemli destekten dolayı çok teşekkür ederim.

#### KAYNAKLAR

- [1] Jacobs, T.J. and Assanis, D.N., *The attainment of premixed compression ignition low-temperature combustion in a compression ignition direct injection engine*, Proceedings of the Combustion Institute, 31, 2913-2920, 2007.
- [2] Alkidas, A.C., *Combustion advancements in gasoline engines*, Energy Conversion and Management, 48, 2751-2761, 2007.
- [3] Avcıoğlu, O.A., Türker, U., Atasoy, D.Z. ve Koçtürk, D., *Tarımsal Kökenli Yenilenebilir Enerjiler Biyoyakıtlar*, Nobel Yayın, Ankara, 2011.
- [4] <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx>, E.T. 1 Nisan 2017.
- [5] Cheremisinoff, N.P., *Gasohol for energy production*, 1st ed., Ann Arbor Science Publishers Inc., United States, 1979.
- [6] Alptekin, E., *Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve bir dizel motorda kullanımının incelenmesi*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013.
- [7] <http://www.elektrikport.com> E.T. 16 Haziran 2016.
- [8] Harun, R., Davidson, M., Doyle, M., Gopiraj, R., Danquah, M. and Forde, G., *Technoeconomic analysis of an integrated microalgae photobioreactor, biodiesel and biogas production facility*, Biomass and Bioenergy, 35, 741-747, 2011.
- [9] Ejder, S.B., 2007. *Etanol - dizel, biyodizel - dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [10] Chisti, Y., *Biodiesel from microalgae*, Biotechnology Advances, 25, 294-306, 2007.
- [11] Duran G., *Etanol katkılı mikroalg yağının bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2017.