

3. Nesil Biyoyakıt Teknolojisi Alglerin bir Dizel Motorunda Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması

Erdal ÇILGIN¹

ÖZET: Artan yakıt fiyatları ve emisyonların azaltılma zorunluluğu gibi nedenlerden dolayı biyodizel son zamanlarda büyük ilgi görmüştür. Biyodizelin geniş kaynakları arasında mikroalgler yüksek biyo kütle lipit üretimi ve çevre dostu olmaları dolayısı ile umut vadeden alternatif kaynaklardır. Mikro algler yenilebilir kaynaklar arasında olmadığından insan gıdasının tedarikini zorlaştırmazlar. Bu çalışmada mikroalglerde transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretilmiş ve dizel yakıtı ile çeşitli oranlarda karıştırılarak tek silindirli motorda test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, dizel motorlar, mikroalgler

3rd Generation Algae Biofuels Technology Investigation of the Effect of a Diesel Engine Performance and Exhaust Emissions

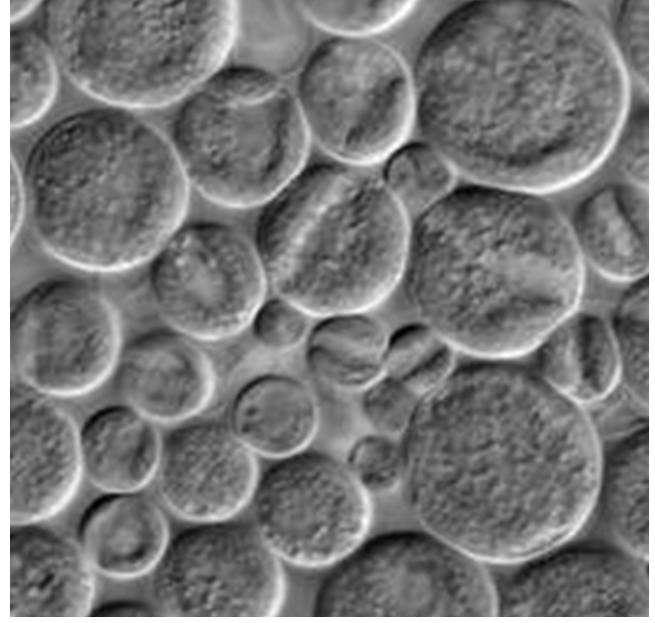
ABSTRACT: Biodiesel has attracted a great deal attention recently as an alternative fuel due to increasing fuel prices and the imperative to reduce emissions. Among a wide range of biodiesel resources, microalgae are a promising alternative fuel source because of the high biomass, lipid productivity and environmentally friendliness. Microalgae is also a non-edible food, therefore, there will be no impact on the human food supply chain. In this study, biodiesel was produced from microalgae by using the transesterification method, and the obtained microalgae biodiesel was mixed with diesel fuel at various ratios and tested in a single-cylinder diesel engine.

Keywords: Biodiesel, diesel engine, microalgae

¹ Fırat üniversitesi, Makine, Otomotiv, Diyarbakır, Türkiye
Sorumlu yazar/Corresponding Author: Erdal ÇILGIN, cilgin_erdal@hotmail.com

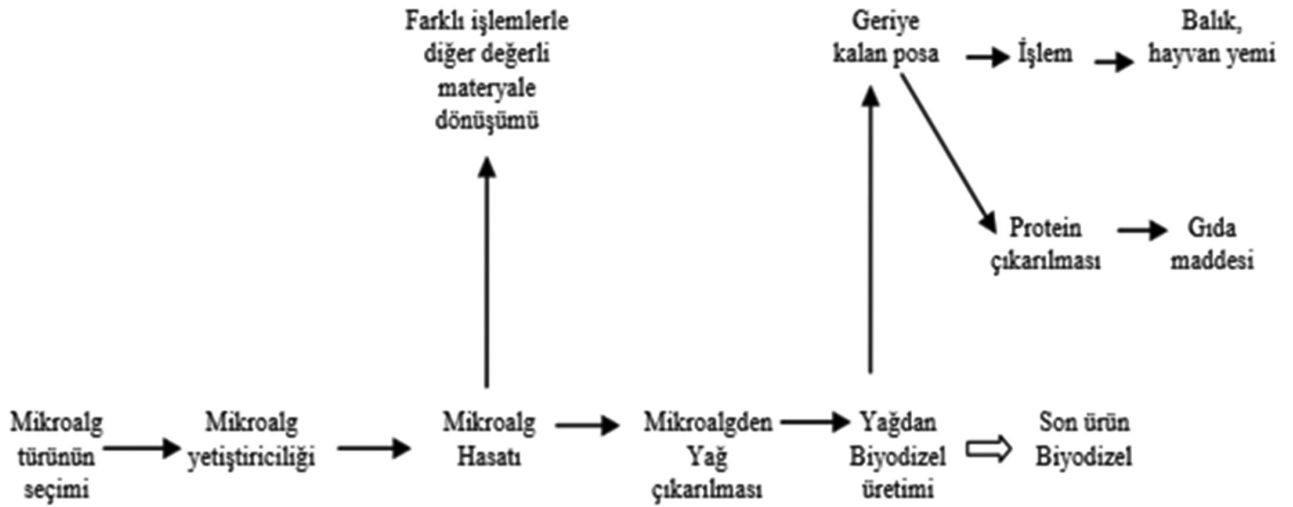
GİRİŞ

Konvansiyonel enerji rezervlerinin gittikçe tükenmeye başladığı günümüzde enerji, en pahalı üretim girdilerinden biri olması ile birlikte çevreyi kirletici özelliğiyle de her geçen gün ağırlığını hissettirmektedir (UluKardeşler ve Ulusoy, 2012). Bu ve benzeri olumsuz etkilerinden dolayı alternatif enerji kaynakları gündeme gelmiştir. Bu alternatif enerji kaynaklarından biri de içten yanmalı motorlarda dizel yakıtına alternatif olarak kullanılan alabilen biyodizeldir. Son zamanlarda farklı tür yağlar (bitkisel, hayvansal ve atık yağlar) ve yöntemler kullanılıp biyodizel üretilerek dizel motorlarda saf halde ve standart dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılmak suretiyle yakıt olarak kullanılmaktadır. Biyodizeli motorlarda yakıt olarak kullanmayı cazip hale getiren birçok sebep olmakla birlikte en önemli sebepler; düşük maliyet, düşük egzoz emisyonları ve hammaddenin temin edilebilme kolaylığıdır (Say ve ark., 2012). Ancak Mısır, sorgum, kanola, soya ve ayçiçeği gibi enerji bitkilerinden biyogaz, biyodizel ve etanol üreterek geleneksel fosil yakıtlara alternatif bir yakıt oluşturacağı düşünülen biyokütle enerji kaynaklarının yakın geçmişte gıda piyasaları ve içme suyu kaynakları üzerinde bazı yan etkileri görülmeye başlanmış ve daha çevreci biokütle kaynakları üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır (Behçet ve Aydın, 2012). Bu çalışmalardan biride üçüncü nesil yakıt olarak nitelendirilen mikro alglerdir.



Şekil 1. Mikroalg (*Chlorella protothecoides*)

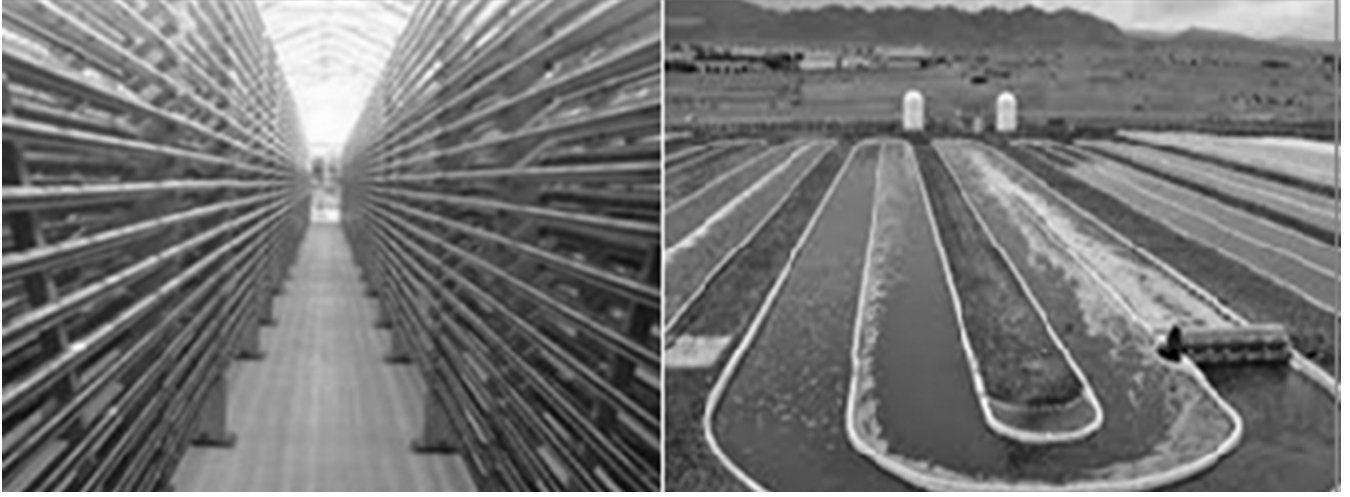
Mikroalgler yapılarındaki yağı üretirken, yağ bitkilerine göre, güneş ışığını ve CO₂'yi daha etkili kullanan organizmalar olup, bölünme potansiyelleri ve büyüme hızları da oldukça yüksektir. Hızlı büyüme sırasında mikroalgin biyokütleyi ikiye katlama süresi 3.5 saattir. Bu nedenlerle, mikroalgler, geniş tarımı yapılan yağ bitkilerine oranla, küçük alanlarda, daha büyük miktarlarda ve daha düşük maliyetlerle üretilme olanağı vardır. Alglerden yararlanma döngüsü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Mikroalg döngüsü (UluKardeşler ve Ulusoy, 2012).

Alglerden biyodizel üretimi en yüksek verimi ve enerjiyi sağlamaktadır. Endüstriyel ölçekte yüksek verim sağlamak için mikroalg üretimi ılıman iklime sahip bölgelere kurulan açık

havuzlarda yada seraların içine yerleştirilen havuz veya fotobiyoreaktörlerle yapılabilmektedir (Borowitzka, 1995; Chisti, 2007). Alg üretim alanları Şekil 3'te verilmiştir



Şekil 3. Fotobiyoreaktörlerde ve açık havuzlarda Alg Üretimi

Mikroalgler karasal bitkilere oranla çok hızlı büyürler. Genellikle ortalama 24 saatte bir sayılarını ikiye katlarlar. Mikroalglerdeki yağ miktarı genellikle %20-50 arasında değişirken bazılarında bu oran %80 e kadar çıkabilir (Say ve ark., 2010).

Karasal ürünler dönemsel olarak büyürler ve sahip oldukları yağ miktarı kuru ağırlıklarının yaklaşık %5 i kadardır (Harun, 2011). Aşağıdaki listelerde mikroalglerdeki yağ oranları ve karasal ürünlerle karşılaştırılması yer almaktadır

Çizelge 1. Çeşitli bitkisel yağların verimi (Borowitzka, 1995)

Ürün	Hektar başına litre yağ
Mısır	172
Kanola	1 190
Palmiye	5 950
Aspir	779
Soya	446
Ayçiçeği	952
Mikroalg (%70 yağ içerikli)	136 900
Mikroalg (%30 yağ içerikli)	58 700

Çizelge 2. Yüksek lipit içeren mikroalg türleri (Wu et al., 1993; Sheehan et al., 1998; Rodolfi et al., 2009)

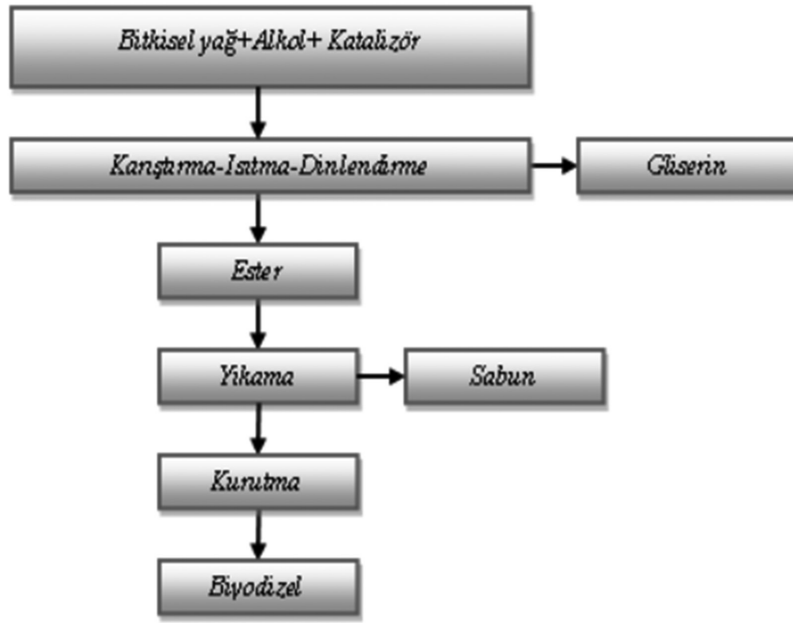
Alg	Lipit içeriği (%)
Chlorella protothecoides	60-75
Botryococcus braunii	25-75
Dunaliella tertiolecta	36-42
Monallanthus salina	22-25
Phaeodactylum tricornutum	20-35
Tetraselmis sueica	12-32
Isochrysis sp.	7-33

Bu çalışmada, mikroalg yağından transesterifikasyon yöntemi kullanılarak elde edilen biyodizel yakıtı hacimsel olarak %60 ve %80 oranlarında dizel yakıtı ile karışım oluşturularak tek silindirli direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı bir dizel motorda kullanılmıştır.

Üretilen karışımlarla motorun tam gaz ve değişik devir sayılarında motor performansı ve egzoz emisyon değerleri alınmıştır.

METERYAL ve YÖNTEM

Deneysel sürecin ilk basamağı olan mikroalg metil esterinin üretilmesi Diyarbakır Tarımsal Araştırmalar Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Metil ester üretimi sırasında ısıtıcı manyetik karıştırıcı, 2 000 ml'lik balon joje, 0.01°C hassasiyetinde termometre kullanılmıştır. Mikroalg yağı metil esteri elde edilmesinde kullanılan süreç Şekil 1' de görülmektedir.



Şekil 4. Metil ester üretiminin akış diyagramı

Esterleştirme sürecinde katalizör olarak potasyum hidroksit ve alkol olarak %99.5 saflıkta metil alkol kullanılmıştır. Metil alkol içerisinde katalizör çözündürülüp, 50°C' ye ısıtılmış bitkisel yağ üzerine ilave edilmiştir. Bu karışım yaklaşık bir saat süre ile sabit 60°C'de 600 d d⁻¹ da karıştırılmıştır. Daha sonra

ayırma hunisine alınarak gliserinin alt kısma çökmesi beklenmiştir. Gliserin ve metil ester ayrıştırıldıktan sonra metil ester yaklaşık 8 saat saf su ile yıkanmıştır. Daha sonra metil ester içerisindeki su ve alkol ısıtılarak buharlaştırılmıştır. Üretilen mikroalg yağı metil esterinin fiziksel özellikleri Çizelge 3' te görülmektedir.

Çizelge 3. Mikroalg metil ester ve dizel yakıtlarının özellikleri

Parametreler	ASTM test no	B100	Dizel yakıtı
Viskozite (mm ² /sn)	D445	4.7	3.66
Isıl Değer (kJ/kg)	D2015	41 000	43 350
Yoğunluk (g/cm ³)	D1298	0.888	0.883
Parlama Noktası (0C)	D93	80	60
Setan Sayısı	D613	52	49

Motor performans ve emisyon deneyleri maksimum gücü 13 HP, silindir hacmi 640 cc, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı Antor marka bir dizel motoru kullanılmıştır. Deney motoruna ait teknik özellikler Çizelge 4’te görülmektedir.

Çizelge 4. Deney Motoruna ait Teknik Özellikler

Markası	Antor
Model	Diesel 4LD640
Silindir sayısı	1
Strok hacmi	638cc
Sıkıştırma oranı	17/1
Maksimum güç	13 HP (3 000 rpm)
Maksimum motor hızı	3 000 rpm \pm 20
Soğutma sistemi	Hava soğutmalı
Maksimum tork	3.5kg.m@1800rpm

Motor deneylerinde motora bağlı olarak çalışan bir dinamometre kullanılmıştır. İzleme cihazının üzerinde motor devrini rpm (d dak⁻¹) cinsinden, motor gücünü beygir gücü (HP) ve motor momentini kg m olarak gösteren ekranlar mevcuttur.

Ayrıca motora uygulanan yük kademeli olarak %10’ar dilimler halinde değiştirilebilmektedir. Deneylerde egzoz gazlarının ölçümü için TESTO 350 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır.

Ölçüm cihazın probu egzoz borusuna yerleştirilerek motor çalışma sıcaklığına geldikten sonra, cihazın okuduğu değerler yine cihaz üzerinde bulunan bir yazıcı ile çıktı şeklinde alınabilmektedir.

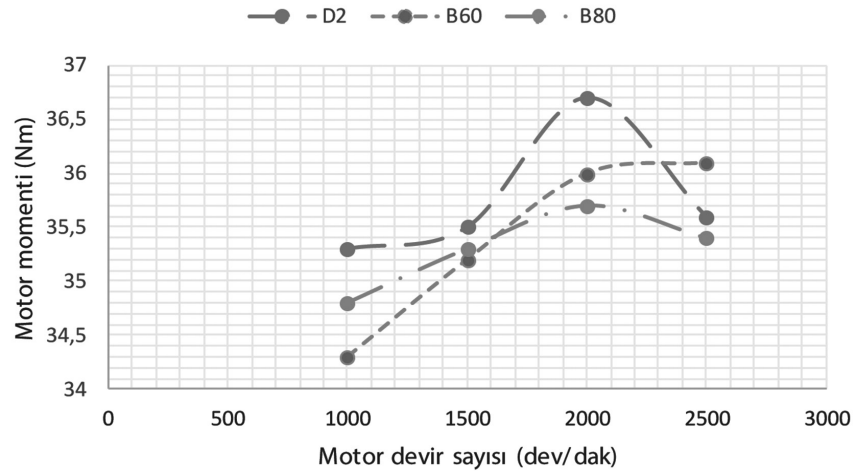
Gaz analiz cihazının teknik özellikleri Çizelge 5’te görülmektedir.

Çizelge 5. Gaz analiz cihazının teknik özellikleri

Parametre	Ölçme aralığı	Hassasiyet
CO ₂	%...+50	% \pm 0.3
CO	0.....+10 000ppm	% \pm 5 ppm
O ₂	%0.....+25	% \pm 0.8
SO ₂	0.....+5 000ppm	% \pm 5 ppm
NO	0 ... +4 000 ppm	% \pm 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

Motor Momenti



Şekil 5. Dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının devir sayılarına göre Moment değişimi

Şekil 5’de dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı motor momenti değişimi görülmektedir.

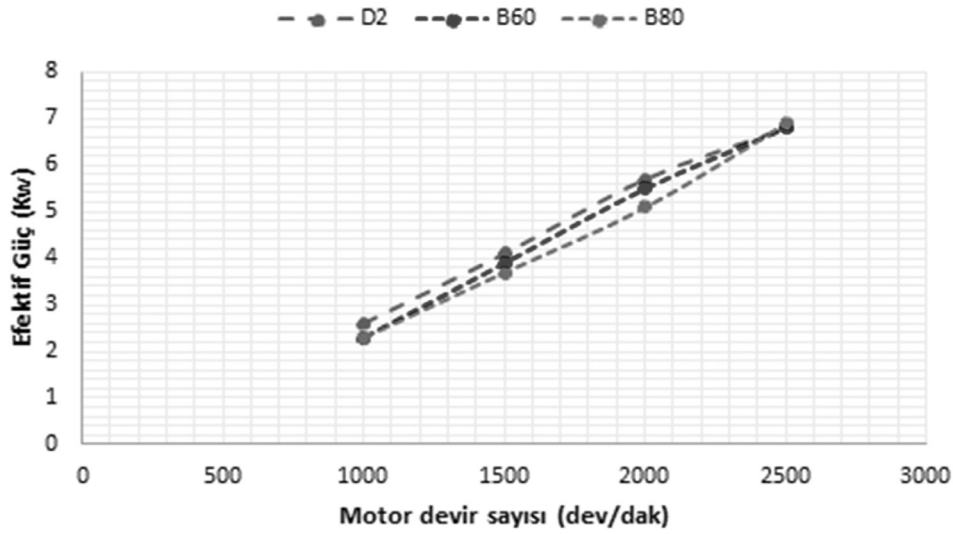
Motorun düşük devirlerinden başlayarak 2 000 dev dak⁻¹ ya kadar bütün yakıtlarda yükselme gözlenmiştir. 2 000 dev dak⁻¹ dan sonra ise bütün deney yakıtları için motor moment değerleri düşmüştür.

Bu düşüşün muhtemel sebebi yüksek motor hızlarında hacimsel verimin azalması ve mekanik kayıpların artması şeklinde yorumlanmıştır.

Ayrıca grafiğin geneli gözönünde bulundurulduğunda D2 yakıtı diğer mikroalg biyodizel karışımlarından daha yüksek motor moment değerler ürettiği gözlenmiştir.

Efektif Güç

Effektif güç, silindirler içinde elde edilen iç güçten, motorun çalışması için harcanan gücün çıkarılmasından sonra, motorun volanından ölçülen güçtür. Motorun devir sayısı ile motor efektif gücünün değişimi değerleri grafik haline getirilerek değerlendirilmiştir. Şekil 6’da dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı olarak motorun efektif güç değişimi görülmektedir. Şekil 6 incelendiğinde bütün yakıtlar için motor gücü düşük devirlerde düşük, yüksek devirlerde yüksek çıkmıştır. Yakıtlar kendi aralarında değerlendirildiğinde D2 yakıtı ile elde edilen güç değerleri mikroalg biyodi (B60.B80) yakıtlarla elde edilen güç değerlerinden daha yüksek değerler üretmiştir.

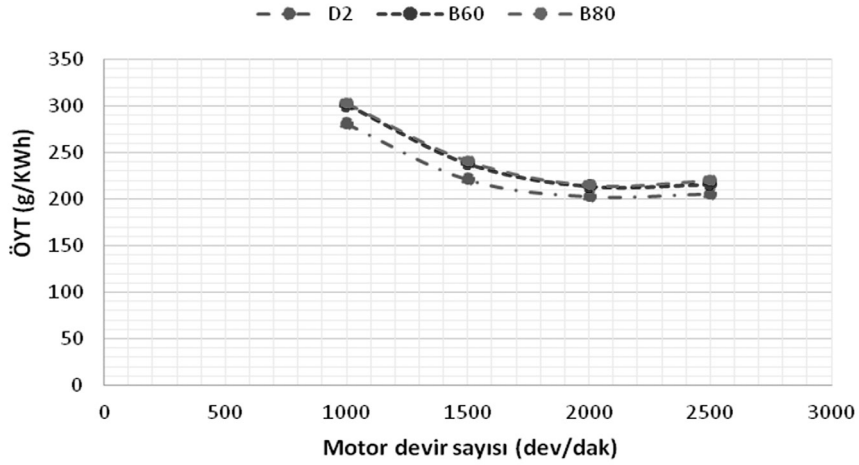


Şekil 6. Dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının devir sayılarına göre Efektif Güç değişimi

Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

Şekil 7’te dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı motorun özgül yakıt tüketimi değişimi görülmektedir. Motor tam gaz altında çalışırken minimum özgül yakıt tüketimi bütün yakıtlar için 2 000 devirde tespit edilmiştir. Bu devirde D2 yakıtında 203 g KWh⁻¹, B60 yakıtında 214 g KWh⁻¹,

B80 yakıtında 215 g KWh⁻¹ ölçülmüştür. ÖYT tüm devirlerde biyodizel karışımı yakıtlarda, dizel yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Bu durum, biyodizel karışumlu yakıtların ısıl değerleri dizel yakıtından düşük olmasından kaynaklanıyor olabilir. Bu açıdan baktığımızdan biyodizel karışımı yakıtların ısıl değerleri düşük olduğundan birim güç başına tüketilen yakıt miktarı daha fazladır.

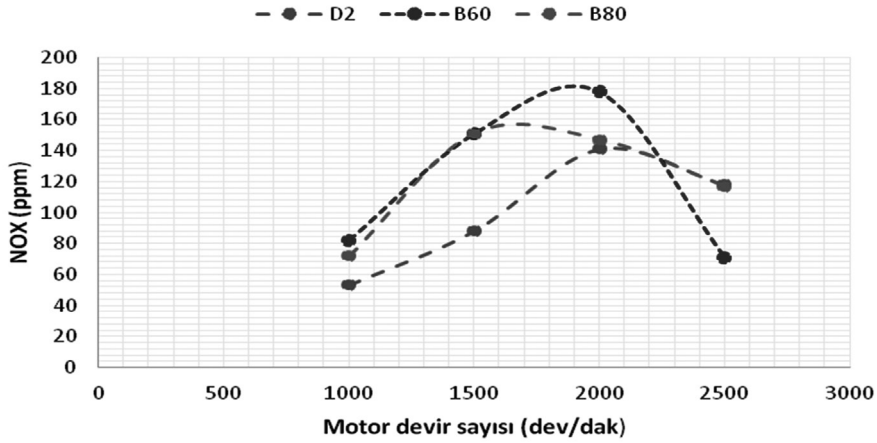


Şekil 7. Dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının devir sayılarına göre ÖYT değişimi

Azot oksit (Nox) Emisyonu

Şekil 8'te Dizel yakıtı ile biyodizel karışımlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına göre NOx emisyonunun değişimi görülmektedir. 2 500 dev dak¹'da ki değer durumları hariç tüm biyodizel karışımları dizel yakıtından daha fazla azot oksit emisyonu

üretmişlerdir. Biyodizel içerisindeki oksijen miktarının fazla olmasından dolayı yanma iyileşmekte ve bunun sonucu olarak da egzozdan atılan NOx miktarı artmıştır. B60 yakıtı için yanmanın tam yanmaya daha yakın olması ve dolayısıyla yanma sonu sıcaklıkların yüksek olması bu yakıt için NOx emisyonunun yüksek çıkmasını sağlamıştır.



Şekil 8. Dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının devir sayılarına göre NOx emisyonu değişimi

Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

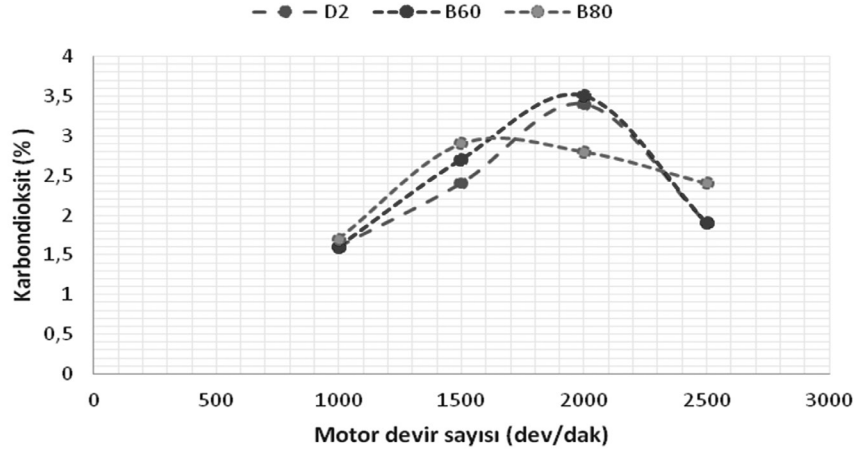
Yanma olayında yakıtların tam yanmamasından oluşan kirleticilerden karbonmonoksit (CO) emisyonları içten yanmalı motorlarda birçok parametreye bağlı olarak değişmekle beraber yanma odasına alınan karışımın yanma kalitesini gösteren bir egzoz emisyonu ürünüdür. Gaz sıcaklığının düşük

olması, yanma için yeterli oksijenin bulunmaması ve CO₂'ye dönüşüm süresinin kısa olmasından dolayı yanmanın tamamlanmamış olması CO miktarını artırmaktadır.

Zengin karışımlarda, yani yakıt hava karışımı içinde gerekenden daha az hava var ise yanma yetersiz oksijen ortamı içinde meydana geldiğinde

yakıtın içeriğindeki karbonunun tamamı CO_2 'ye dönüşmeden CO şeklinde kalarak dışarı atılmaktadır. Şekil 9'de dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının motorun tam gaz ve

değişik devir sayılarına göre CO emisyonu değişimi görülmektedir. Dizel yakıtı bütün devirlerde mikroalg biyodizel karışım yakıtlarından daha fazla CO emisyon değerleri üretmişlerdir

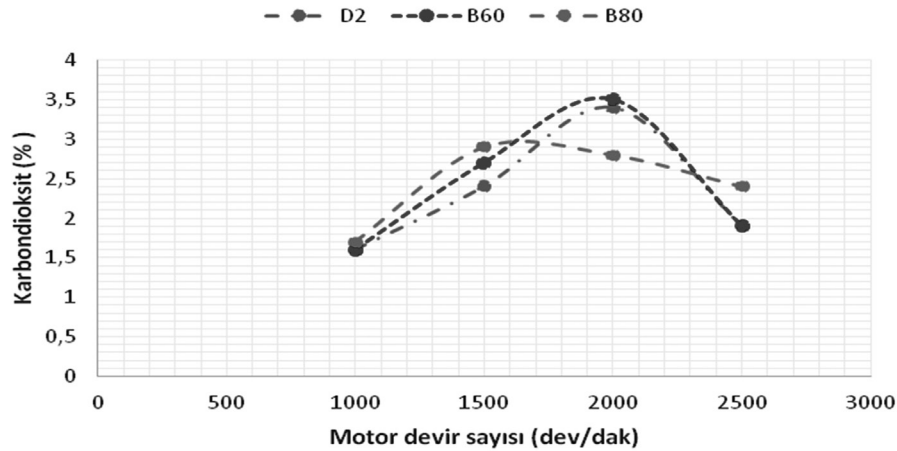


Şekil 9. Dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının devir sayılarına göre CO_2 emisyonu değişimi

Karbondioksit (CO_2)

Şekil 10'da dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının, motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına göre CO_2 emisyonu değişimi görülmektedir.

Düşük devirlerde CO_2 tüm deney yakıtları için düşük iken bütün yakıtlar için maksimum CO_2 değerleri 2000 dev/dak'ta D2 için: 3.4(%) B60 için: 3.5(%) B80 için ise: 2.8 (%) şeklinde ölçülmüştür.



Şekil 10. Dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının devir sayılarına göre CO_2 emisyonu değişimi

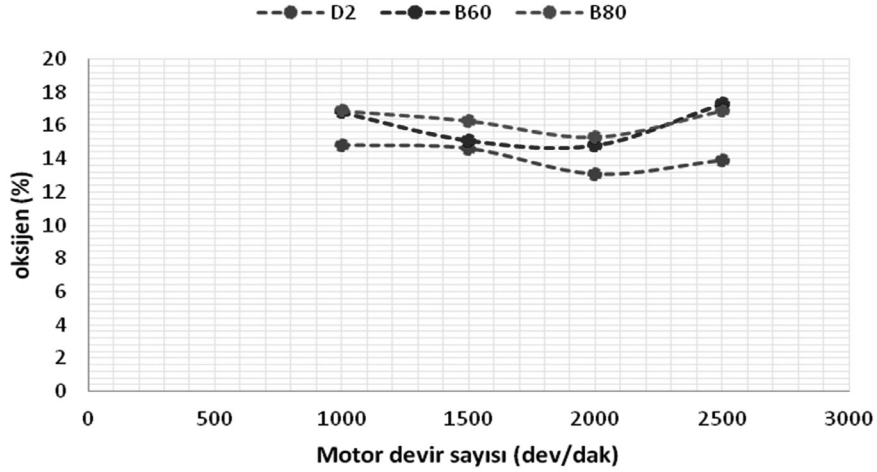
Oksijen: (O_2)

Yapılan deneylerde oksijen emisyonları değerlerinin motor devir sayısına göre değişimi Şekil 11 de grafik halinde getirilmiştir. Şekil 11

incelendiğinde, oksijen miktarının önce düştüğü ve sonra tekrar yükseldiği görülmektedir. Her iki yakıtta ait olan eğrilerin bir minimumdan geçmesi genellikle motor momentinin maksimum olduğu

enjeksiyon basıncına denk gelmektedir. Biyodizel karışımlarında metil ester oranı arttıkça O₂ miktarında artışlar meydana gelmiştir. Biyodizelin

içerisinde oksijen mevcut olduğundan bütün devirlerde normal dizel yakıtından daha fazla oksijen salınımı gerçekleşmiştir



Şekil 11. Dizel yakıtı ile mikroalg biyodizel karışımlarının devir sayılarına göre O₂ emisyonu değişimi

SONUÇLAR

Mikroalg yağdan transesterifikasyon metodu kullanılarak elde edilen mikroalg biyodizelinin dizel yakıtıyla olan B60 ve B80 karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyon değerleri dizel yakıtına benzerlik göstermiştir. Elde edilen motor performans verileri D2 yakıtından daha düşük değerler üretmiştir. Motor emisyonlarında ise mikroalg biyodizel karışımlarının çevre açısından daha az zararlı olduğu belirlenmiştir. Alternatif enerji kaynaklarının hammadde sağlayıcısı olarak görülen alglerin yetiştirilmesi için gerekli olan klima şartları ve besin kaynağı olarak kullanılan başta CO₂ olmak üzere besin elemanlarının ülkemizde bol miktarda mevcut bulunduğu düşünülürken mikroalglerin ülkemiz için umut vaat eden bir biyodizel kaynağı olduğu kanısına varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Behçet R, Aydın S, 2012. Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağlardan Üretilen Biyodizellerin Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der. / Iğdır Univ. J. Inst. Sci.& Tech. 2(4): 55-62
- Borowitzka AM, 1995. Microalgae as source of pharmaceuticals and biologically active compounds, Journal of Applied Physiology 7; 3-15

- Chisti Y, 2007. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances 25; 294-306
- Harun R, Davidson M, Doyle M, Gopiraj R, Danquah M G, 2011. Forde Technoeconomic analysis of an integrated microalgae photobioreactor, biodiesel and biogas production facility, Biomass and Bioenergy 35; 741-747
- Rodolfi L, Chini Zittelli G, Bassi N, Padovani G, Biondi N, Bonini G, Tredici MR, 2009. Microalgae for oil: Strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. Biotechnology and Bioengineering 102: 100 - 112
- Say AN, Keriş ÜD, Şen Ü, Mirat D, 2010. VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'10 1-5 Aralık 2010, Bursa
- Say AN, Keriş ÜD, Şen M, Gürol D, 2012. Mikroalglerden Biyokütle Enerjisi Üretimi ve Türkiye, 8. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri Kitabı, 263-271.
- Sheehan J, Dunahay T, Benemann J and Roessler P, 1998. A look back at the US Department of Energy's Aquatic Species Program - Biodiesel from Algae. National Renewable Energy Laboratory.
- Ulukardeşler AH, Ulusoy Y, 2012. 3. Nesil Biyoyakıt Teknolojisi olan Alglerin Türkiye'de Üretilebilirlik Potansiyeli, Onuncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul
- Wu QY, Sheng GY and Fu JM, 1993. Comparative study on liposoluble compounds in autotrophic and heterotrophic Chlorella protothecoides. Acta Botanica Sinica 35: 849 - 858.