

## Mikroalg metil esterinin bir dizel motorunda, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması

Erdal ÇILGIN<sup>1</sup>, Cumali İLKILIÇ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Elazığ/Türkiye

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Elazığ/Türkiye

### ÖZET

Geleneksel yakıtların kullanımından kaynaklanan hava kirliliği ve sera gazı etkisinin çoğalması gibi nedenlerin yanında petrol fiyatlarının yükselmesi, enerji maliyetlerinde önemli ölçüde artmasına neden olmaktadır. Bu ve benzeri sebeplerden kaynaklı olarak yakıt alternatifleri üzerindeki çalışmalar yeni ve yenilenebilir yakıt olarak biyodizel üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak Biyodizel, hammaddesinin Tarım arazilerinde gıda üretimi için ayrılan arazilerin bir kısmının daha çok kar elde edileceği düşünülerek yağ bitkisi tarımına ayrılması ile az gelişmiş ülkelerde gıda fiyatlarında artış ve gıda temininde zorluk yaşanmasına sebep olmuştur. Bundan kaynaklı olarak tarımsal amaçlı kullanılmayan alanlarda rahatlıkla yetişebilen üstelik hektar başına verimi diğer biyodizel kaynaklarına kıyasla çok yüksek olan mikroalgler yeni biyodizel kaynağı olarak görülmeye başlamıştır. Bu çalışmada mikroalglerden transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiş elde edilen mikroalg biyodizeli, dizel yakıtıyla belirli oranlarda karıştırılarak tek silindirli bir dizel test motorunda denenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:**  
Mikroalgler, Biyodizel, Hava kirliliği

## Evaluation of the effect of microalgae methyl ester in on engine performance and exhaust emission of a diesel engine

### ABSTRACT

Air pollution caused by the use of conventional fuels, increasing effect of greenhouse gases, as well as the increase in oil prices result in significant boost in energy costs. As a result, studies on alternative fuels have concentrated on biodiesel as a new and renewable fuel. However, as the raw material of biodiesel is allocated to the cultivation of oil crop plants, considering that some of the lands assigned for food production would make more profit, it has caused an increase in food prices and troubles in food supply in less developed countries. Microalgae, which easily grow on fields that are not used for agricultural purposes and for which yield per hectare is very high compared to other biodiesel sources, are considered to be a new biodiesel source today. In the current study, microalgae biodiesel derived from microalgae through the transesterification method was mixed with diesel fuel in certain amounts % and tested in a single-cylinder diesel test engine.

**Key Words:**  
Microalgae, Biodiesel, Air pollution

## 1. Giriş

Petrolde elde edilen yakıtların tüketiminden kaynaklanan hava kirliliği, sera gazı etkisi ve bunun yanı sıra teminindeki güçlükler alternatif yakıt arayışlarını önemli ölçüde arttırmıştır. Bu alternatif yakıtlardan biride üretimi, özellikle 2000'li yıllardan sonra dünyada ve ülkemizde hız kazanan biyodizeldir.

Özelliklerinin dizel yakıtlara yakın olması sıvı olmaları, mevcut yakıtlar ile karışım halinde kullanılabilir olmaları büyük üstünlükler sağlamıştır. Ancak biyodizel, hammaddesinin yaygın olarak tarımsal ürünlerden seçilmiş olması zaman içinde, aşırı miktarlarda tarımsal alanın kullanılması sonucu küresel gıda kaynaklarını etkileyerek, kıtlığa, gıda ürünlerinde fiyat artışına, erozyona, biyolojik çeşitlilik kaybına ve aşırı gübre ve ilaç kullanımından dolayı yer üstü ve yer altı sularının kirlenmesine neden olacağı tahmin edilmektedir [1,2,3]. Bu tahminler doğrultusunda araştırmacılar tarım alanları ve su kaynakları üzerinde daha az baskı yaratan, daha verimli ve daha gelişime açık bir hammadde olan mikroalgler üzerine yoğunlaşmaya başlamıştır [4].

Mikro-algler tek hücreli organizmalardır. Karbondioksiti karbonhidratlara dönüştürür ve atmosferin temel oksijen kaynağını oluştururlar[5]. Bazı türlerin yılda hektar başına 18.700-46.750 litre arasında yağ ürettiği tahmin edilmektedir. Oysa soya fasulyesi ekildiğinde hektar başına yılda 468 litre yağ elde edilebilir ve bu değer mikro-alglerin ürettiği yağ miktarının yüzde birine tekabül eder. Ayrıca Tarımla rekabet etmeden biyoyakıt üretmenin yolu olarak görülmektedirler. Bazı tatlı su algleri atık sularda, deniz algleri ise deniz suyu ve atık sudan oluşan bir karışımda üretilebilir. Böylelikle atık sular da artırılmış olur. Bu durumda tatlı su ve gübre ihtiyacı ortadan kalkmaktadır.

Dünyada yılda 1.500 kilometreküp atık su oluştuğu tahmin edilmekte ve bunun da yüzde sekseninin artırılmadığı düşünüldüğünde algler için bol miktarda besleyici suyun bulunduğu görülebilir[6]. Bu çalışmada, Mikroalg yağından transesterifikasyon reaksiyonu kullanılarak elde edilen biyodizel yakıt %5 oranında dizel yakıtı ile karışımı oluşturularak tek silindirli direkt püskürtmeli ve hava ile soğutmalı bir dizel motorda yakıt olarak kullanılmıştır. Üretilen karışımın motorun tam gaz ve değişik devir sayılarında (0-3000 rpm) motor performansı ve egzoz emisyon değerleri alınmıştır. Tablo 1'de biyodizel ve dizel yakıtın yakıt özellikleri gösterilmiştir.

**Tablo 1 Biyodizel ve dizel yakıtın yakıt özellikleri**

Parameters	ASTM test no	Biyodizel	Dizel fuel
Vizkozite (mm <sup>2</sup> /s)	D445	4,7	3,66
Isıl deger (J/kg)	D2015	41000	43350
Yoğunluk(15 C) (g/ml)	D1298	0,88	0,83
Parlama noktası(°C)	D93	80	60
Setan sayısı	D613	52	57

## 2. Meteryal metod

Deneyle, Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylede, maksimum gücü 13 HP, silindir hacmi 640 cc, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı Antor marka bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneyle motoruna ait teknik özellikler Tablo 2'de görülmektedir

**Tablo 2 Deneyle Motoruna ait Teknik Özellikler**

Type	Antor
Model	Diesel 4LD640
Cylinder number	1
Stroke volume	638cc
Compression ratio	17/1
Maximum power	13 HP (at 3000 rpm)
Maximum engine speed	3000 rpm ±20
Cooling system	Air cooling
Maximum tork	3.5kgm @ 1800 rpm

Motor deneylelerinde motora bağlı olarak çalışan bir dinamometre kullanılmıştır. İzleme cihazının üzerinde motor devrini rpm (d/dak.) cinsinden, motor gücünü beygir gücü (HP) ve motor momentini kgm olarak gösteren ekranlar mevcuttur. Ayrıca motora uygulanan yük kademeli olarak %10'ar dilimlerde değiştirilebilmektedir. Deneylede 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 Tablo 3'te görülmektedir.

**Tablo 3. Gaz analiz cihazın teknik özellikleri**

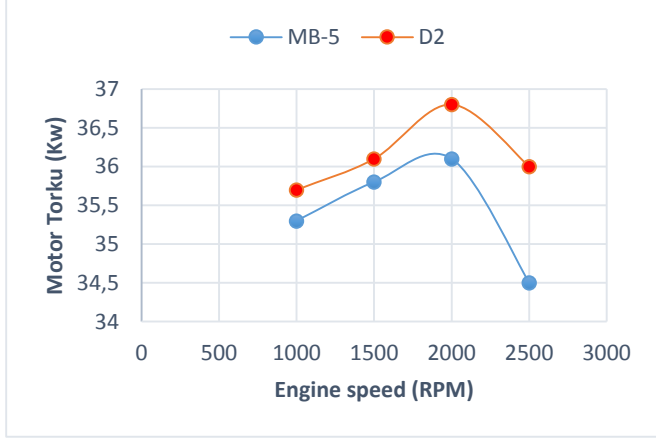
Parametre	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO <sub>2</sub>	%0-50 %0-%50	%±0.3
CO	0-10000 ppm	%±5 ppm
O <sub>2</sub>	%0.....+25	%±0.8
SO <sub>2</sub>	0...+5000 ppm	%±5 ppm
NO	0 .. +4000 ppm	%±5

Deneyleler iki dizel yakıt için gerçekleştirilmiştir. Birinci yakıt dizel yakıt (D2) olup ikinci yakıt ise %5 D2 ile karıştırılmış Mikroalg biyodizel (MB-5) dir. Her iki yakıtın devir sayısına göre motor performansına etkisi aşağıdaki bölümlerde ayrı ayrı incelenmiştir.

### 2.1.Motor momenti

Motor devir sayısı ile motor momenti arasındaki ilişki Şekil 1'de görülmektedir. Motorun düşük devirlerinde tüm yakıtlarda motor momenti düşük olup devir sayısının artmasıyla bütün yakıtlarda motor momentinde 2000 dev/dk ya kadar artış gözlenmiştir. Bu devirden sonra bütün yakıtlarda motor momenti düşmeye başlamıştır. Bu düşüşün sebebinin ise hacimsel verimin yüksek devirlerde düşüşü ayrıca mekanik kayıpların artması şeklinde düşünülmüştür. D2 yakıtı moment değeri Mikroalg biyodizel (MB-5) yakıt karışımından bütün devirlerde yüksek çıkmıştır. Elde edilen tork değerleri Rinaldini ve ark [7] yaptıkları çalışmada elde ettikleri sonuçlarla benzeştiği görülmüştür.

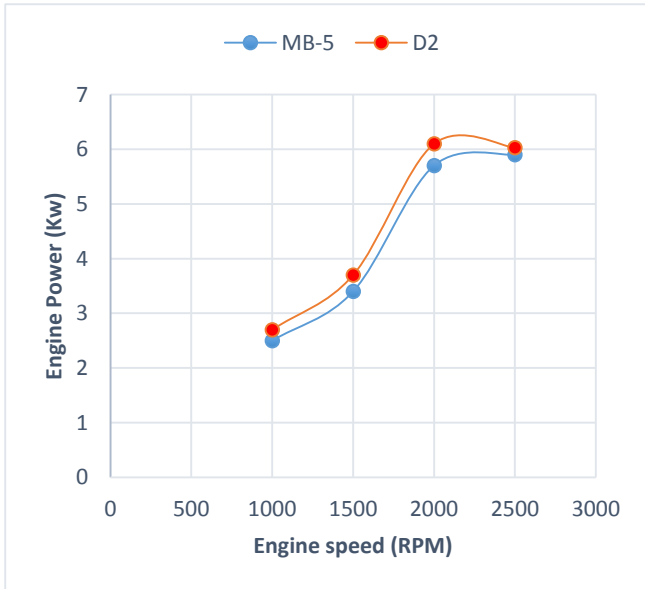
D2 yakıt moment değerlerinin yüksek çıkmasının nedeni ise yanma mekanizmasını doğrudan etkileyen yakıtın ısı değeri, viskozitesi, setan sayısı ve yoğunluğu gibi parametrelerinin D2 yakıtına sağladığı avantajlar olduğu düşünülmüştür



Şekil 1.: D2 ile MB-5 yakıtlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı motor momenti değişimi

## 2.2.Efektif motor Gücü

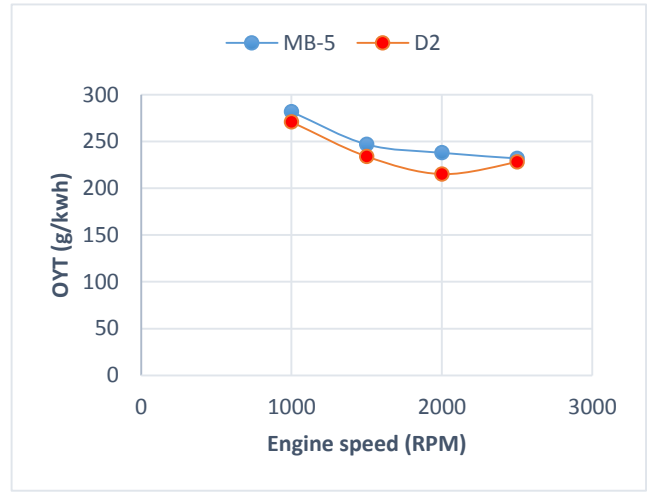
Şekil 2'de D2 yakıtı ile mikroalg biyodizel (MB-5) karışımlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı efektif güç değişimi görülmektedir. Şekil.2 incelendiğinde D2 yakıtının mikroalg karışım yakıtından daha yüksek efektif güç değeri ürettiği görülmektedir. Motordan elde edilen efektif güç değerleri devir sayısının artışı ile beraber artış göstermiştir. Motorun devir sayısının artışı ile beraber efektif gücün artmasının sebebi; birim zamanda meydana gelen çevrim sayısının artmasıdır. Yakıtlar için maksimum değerler 2500 dev/dk da D2 yakıtı için 6.03 kW ve MB-5 yakıtı için ise 5,9 kW olarak ölçülmüştür.



Şekil 2.: D2 ile MB-5 yakıtlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı efektif güç değişimi

## 2.3. Özgül yakıt tüketimi (ÖYT)

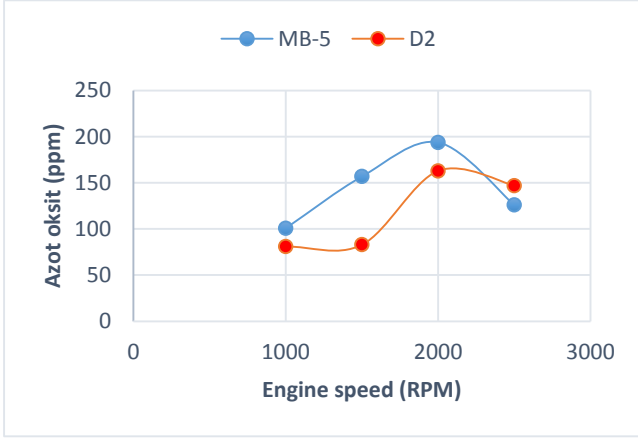
Şekil 3'te D2 yakıtı ile MB-5 yakıtının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı özgül yakıt tüketimi değişimi görülmektedir. Motor tam gaz altında çalışırken minimum özgül yakıt tüketimi bütün yakıtlar için yüksek devirlerde tespit edilmiştir. ÖYT tüm devirlerde mikroalg biyodizeli karışım yakıtındaki tüketim değerleri, dizel yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Neel ve ark [8] yaptıkları çalışmada mikroalg kullanımının özgül yakıt tüketimini arttırdığını bildirmişlerdir. Özgül yakıt tüketiminin artış nedeninin biyodizel karışımli yakıtların ısı değerlerinin dizel yakıtından düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu açıdan baktığımızda biyodizel karışımli yakıtların ısı değerleri düşük olduğundan birim güç başına tüketilen yakıt miktarı daha fazladır.



Şekil 3: D2 ile MB-5 yakıtlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı özgül yakıt tüketimi değişimi

## 2.4.Azot Oksit Emisyonu(NOx)

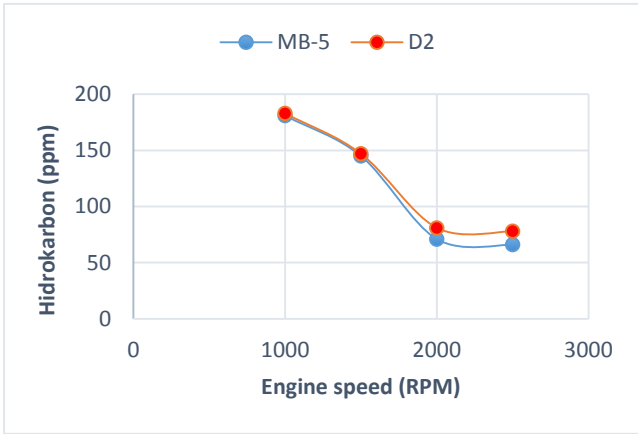
Şekil 4'te Dizel yakıtı ile mikroalg biyodizeli karışımlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına göre NOx emisyon değişimi görülmektedir. 2000 dev/dk ya kadar MB-5 yakıtı dizel yakıtından daha fazla azot oksit emisyonu üretmiştir. Benzer çalışmalarda Bradley ve ark [9] NOx emisyonunun mikroalg kullanımıyla arttığını bildirirken Saddam ve ark [10] ise NOx emisyon değerlerinin mikroalg kullanımıyla düştüğünü bildirmişlerdir. MB25 içerisindeki oksijen miktarının fazla olmasından dolayı yanma iyileşmekte ve bunun sonucu olarak da egzozdan atılan NOx miktarı artmaktadır. 2000 devirden sonra emme zamanının kısalması ile içeri alınan oksijen miktarı azalır ve havanın içerisindeki oksijen ile azotun birlikte bulunma süreleri azaldığından silindir içerisindeki NOx miktarı düşer. Bunun sonucu olarak tüm yakıtlarda 2000 devirden sonra azot oksit miktarında düşüş olmuştur.



Şekil 4: D2 ile MB-5 yakıtlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı Azot oksit değişimi

## 2.5. Yanmamış hidrokarbon(HC)

Şekil 5'de D2 yakıtı ile MB-5 yakıtının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına göre HC emisyon değişimi görülmektedir. Motorun düşük devirlerinde HC emisyonu tüm yakıtlarda yüksek çıkmıştır. Bu durumun muhtemel sebebi düşük devirlerde silindir içi sıcaklığın düşük değerlerde seyretmesi ile açıklanabilir. Motor devri arttıkça MB-5 ve D2 yakıtı için HC emisyonunda önemli bir azalma görülmektedir. Biyodizel içerisindeki oksijen fazlalığı nedeni ile HC' emisyon değerlerinin D2 yakıtına kıyasla MB-5 yakıtında daha az olduğu görülmüştür. Benzer çalışmayı yapan Bradley ve ark [9] da Mikroalg kullanımında HC emisyonunun düştüğünü belirtmişlerdir.

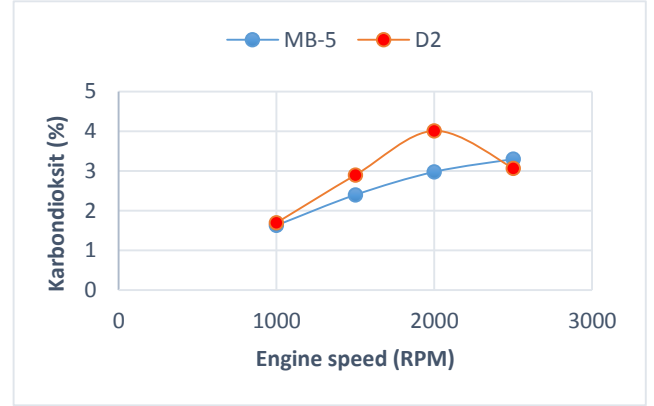


Şekil 5: D2 ile MB-5 yakıtlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı HC değişimi

## 2.6. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)

Şekil 6'de dizel yakıtı ile mikroalg biyodizeli karışım yakıtının, motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına göre CO<sub>2</sub> emisyonu değişimi görülmektedir. Düşük devirlerde CO<sub>2</sub> tüm yakıtlarda düşük çıkmıştır. 2500 dev/dk ya kadar MB-5 yakıtının dizel yakıtına kıyasla daha az CO<sub>2</sub> emisyonu ürettiği görülmüştür. Niraj ve ark [11]. yaptıkları çalışmada mikroalg kullanımında CO<sub>2</sub> emisyonunun belirgin olarak düştüğünü ifade etmişlerdir.

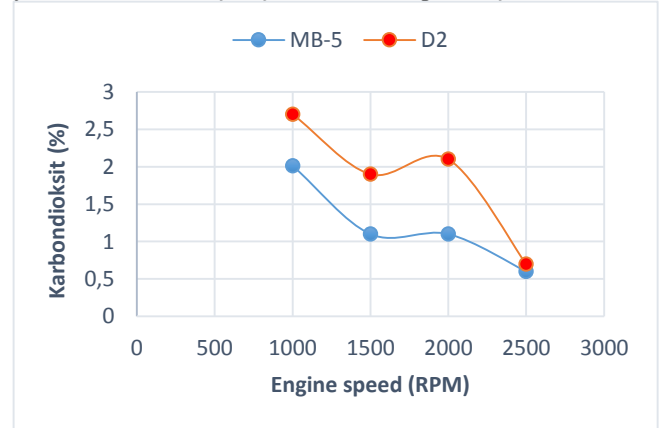
Motor 2000 devirde çalışırken, her iki yakıt içinde CO<sub>2</sub> miktarı en yüksek seviyede olmaktadır. Muhtemelen motor devri arttıkça hacimsel verimin azalması ve tam yanma için gereken sürenin kılınmasından dolayı CO'lar CO<sub>2</sub>'ye dönüşemediğinden bu devirde artışlar olmuştur. 2500 devirde ise mikroalg biyodizeli karışımları için CO<sub>2</sub> emisyonu dizel yakıtından daha yüksek çıkmıştır



Şekil 6: D2 ile MB-5 yakıtlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı CO<sub>2</sub> değişimi

## 2.7. Karbonmonoksir (CO)

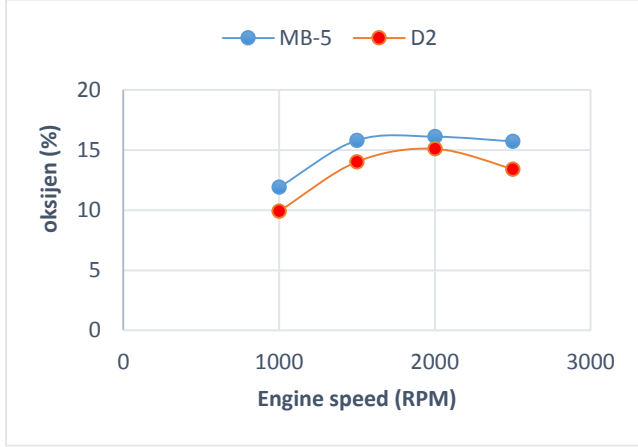
Şekil 7'de dizel yakıtı ile mikroalg biyodizeli karışımlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına göre CO emisyonu değişimi görülmektedir. MB-5 yakıtı bütün devirlerde dizel yakıtından düşük CO emisyonu oluşturmuştur. Saddam ve ark [10] yaptıkları benzer çalışmada mikroalg biyodizel yakıtının CO emisyonunu düşürdüğünü bildirmişlerdir. Düşük devirlerde bütün yakıtlarda yüksek iken, motor devri arttığında yakıtların tümü için, CO emisyonunda düşüş olmuştur. CO oluşumunun temeli yanmanın eksik olmasıdır. Dizel motorları çalışma sistemlerinden ötürü fazla hava ile çalıştığından, CO emisyonu tüm test yakıtlarında genel itibari ile düşük çıkmıştır. MB-5 yakıtı içerisindeki oksijenden dolayı yanma iyileştiğinden dizel yakıtına oranla daha düşük çıkmıştır. Setan sayısı da biyodizel karışımlarında yüksek olduğundan, tutuşma gecikmesini kısaltarak yakıtta zengin bölgelerini önlemesi MB-5 yakıtında CO emisyonlarının dizel yakıtından daha düşük çıkmasına sebep olmuştur.



Şekil 7: D2 ile MB-5 yakıtlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı CO değişimi

## 2.8.Oksijen(O<sub>2</sub>)

Egzoz emisyon ürünlerinden olan O<sub>2</sub>, havanın ve yakıtın içinde bulunan oksijenden ibarettir. Dizel yakıtı ile mikroalg biyodizeli karışımlarının kullanılması ile yapılan deneylerde oksijen emisyonları değerlerinin motor devir sayısına göre değişimi grafik halinde verilmiştir.Şekil 8 incelendiğinde MB-5 biyodizeli içeriğindeki oksijenin fazla oluşu bütün devirlerde normal dizel yakıtından daha fazla oksijen salınımı gerçekleşmesini sağlamıştır.



Şekil 8: D2 ile MB-5 yakıtlarının motorun tam gaz ve değişik devir sayılarına bağlı O<sub>2</sub> değişimi

## 3. Sonuçlar

Mikroalg yağından elde edilen biyodizelin dizel yakıtıyla olan MB-5 karışımından elde edilen motor performansı ve egzoz emisyon değerleri diğer biyodizel çalışmaları ile benzerlikler göstermektedir. Elde edilen motor momenti ve efektif motor gücü dizel yakıtından düşük, yakıt tüketimi ise fazla çıkmıştır. Emisyon deneylerinde ise, NO<sub>x</sub> ve O<sub>2</sub> mikroalg biyodizeli karışımlarında dizel yakıtından daha yüksek çıkmıştır. HC, CO<sub>2</sub> ve CO emisyonları mikroalg biyodizeli karışımlarında daha düşük seviyelerinde kalmıştır. Motor emisyonlarında mikroalg metil ester karışımları genel itibari ile çevre açısından daha az zararlı olduğu belirlenmiştir. Bu yakıtların mikroalglerden üretilmesi, artan küresel enerji ihtiyacına cevap verilebilme ve kısmen de olsa atmosferdeki gereğinden fazla karbondioksiti fotosentez yoluyla verimli ürüne dönüştürerek, küresel ısınmanın önlenmesine katkıda bulunma potansiyeline sahip olabilme gibi avantajlarında düşünüldüğünde mikroalg yağlardan elde edilen biyodizelin fosil yakıtlara alternatif yakıt olabileceği kanısına varılmıştır.

## Kaynaklar

1. Knothe G, Dunn RO, Bagby MO (1997) Biodiesel: the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels. In: Fuels and Chemicals from Biomass, 1st edn. American Chemical Society, New York

2. Fukuda H, Kondo A, Noda H (2001) Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *J Biosci Bioeng* 92(5):405–416
3. USA Department of Energy (2004) Biodiesel: handling and uses guidelines. *Energy Efficiency and Renewable Energy*
4. Romano SD, González Suárez E, Laborde MA (2006) Biodiesel. In: *Combustibles Alternativos*, 2nd edn. Ediciones Cooperativas, Buenos Aires
5. Freedman B, Pryde EH, Mounts TL (1984) Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. *J Am Oil Chem Soc* 61(19):1638–1643
6. Ladanai, S. and Vinterback, J. (2009). "Global Potential of Sustainable Biomass for Energy". Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. p32. doi:10.3390/en6020766
7. Rinaldini, C., Mattarelli, E., Magri, M., and Beraldi, M., "Experimental Investigation on Biodiesel from Microalgae as Fuel for Diesel Engines," SAE Technical Paper 2014-01-1386, 2014, doi:10.4271/2014-01-1386
8. Neel, C.; Johnson, D.; Wardlow, G. Performance, efficiency, and NOX emissions of a compact diesel tractor fueled with D2, B20, and B100 under steady-state loads. *Appl. Eng. Agric.* **2008**, 24,717–721.
9. Bradley D. Wahlen, Michael R. Morgan, Alex T. McCurdy, Robert M. Willis, Michael D. Morgan, Daniel J. Dye, Bruce Bugbee, Byard D. Wood and Lance C. Seefeldt, Biodiesel from Microalgae, Yeast, and Bacteria: Engine Performance and Exhaust Emissions *Energy Fuels*, **2013**, 27 (1), pp 220–228