

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/375279521>

Biyodizele Dimetil Karbonat ve Dibütil Maleat Katkısının Motor Performansı ve Emisyonlar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Conference Paper · September 2023

CITATIONS

0

READS

80

9 authors, including:



Ahmet Uyumaz

Burdur Mehmet Akif Ersoy University

60 PUBLICATIONS 1,740 CITATIONS

SEE PROFILE



Fatih Aksoy

University of Kyrenia

62 PUBLICATIONS 760 CITATIONS

SEE PROFILE



Lacine Aksoy

Afyon Kocatepe University

43 PUBLICATIONS 712 CITATIONS

SEE PROFILE



Hamit Solmaz

Gazi University

155 PUBLICATIONS 3,266 CITATIONS

SEE PROFILE

Biyodizele Dimetil Karbonat ve Dibütül Maleat Katkısının Motor Performansı ve Emisyonlar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi

Ahmet Uyumaz^{1*}, Fatih Aksoy², Laçine Aksoy³, Hamit Solmaz⁴, Emre Yılmaz⁵, Tolga Kocakulak⁶, Mustafa Babagiray^{7,10}, Muhammed Arslan⁸, Seyyed Mohammad Safieddin Ardebili⁹

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Burdur Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

⁴Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

⁵Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Arifiye Meslek Yüksek Okulu, Sakarya, Türkiye

⁶Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Burdur, Türkiye

⁷Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

⁸Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çay Meslek Yüksek Okulu, Afyonkarahisar, Türkiye

⁹Department of Biosystems Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

¹⁰Mechanical Engineering Department, Hamburg University of Technology, Hamburg, Germany

Özet

Bu çalışmada, biyodizel üretimi için kanola yağı kullanılmıştır. Kanola yağından transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretiminde alkali katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) tercih edilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda metanol kullanılmıştır. Biyodizel- dizel karışımları içerisine dimetil karbonat (DMC) ve dibütül maleat (DBM) belirli oranlarda ilave edilmiştir. Bu karışımların motor performans ve emisyonlarına etkisi bir dizel motorunda incelenmiştir. NO_x emisyonunun 20.6 Nm motor yükünde dizele göre, D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla %57.48 ve %97.62 arttığı görülmüştür. İS emisyonları 20.6 Nm motor yükünde dizele göre, D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla %38.96 ve %48.05 oranında azaldığı belirlenmiştir. 20.6 Nm motor yükünde D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla dizele göre CO emisyonları %74.23 ve %84.27 arttığı elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel; Kanola; Dimetil karbonat; Dibütül maleat

Investigation of the Influences of Dimethyl Carbonate and Dibutyl Maleate Additives to Biodiesel on Engine Performance and Emissions

Abstract

In this work, canola oil was used for biodiesel production. Sodium hydroxide (NaOH) was preferred as an alkaline catalyst in the production of biodiesel from canola oil by the transesterification method. Methanol was utilized in the transesterification reaction. Dimethyl carbonate (DMC) and dibutyl maleate (DBM) were added to the biodiesel-diesel mixtures in certain proportions. The influences of these mixtures on engine performance and emissions were investigated in a diesel engine. NO_x emission increased by 57.48% and 97.62% with D70TKB20DMC10 and D70TKB20DBM10 fuels, respectively, at 20.6 Nm according to diesel. It was determined that soot emissions decreased by 38.96% and 48.05% with D70TKB20DMC10 and D70TKB20DBM10 fuels, respectively, at 20.6 Nm engine load according to diesel. At 20.6 Nm, CO emissions increased by 74.23% and 84.27%, respectively, with D70TKB20DMC10 and D70TKB20DBM10 fuels compared to diesel.

Keywords: Biodiesel; Canola; Dimethyl carbonate; Dibutyl maleate

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesinden dolayı enerji talepleri artmış ve bu durum doğal enerji kaynaklarının azalmasına sebep olmuştur. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji tüketimleri 2000 yılı ile 2016 yılları arasında yaklaşık olarak %28 oranında artış göstermiştir [1]. İçten yanmalı motorlar yakıtı yakma şekline göre sıkıştırma ile ateşlemeli dizel (CI) ve buji

ile ateşlemeli benzin (SI) motorlar olmak üzere iki gruba ve ayrılır. CI motorlar SI motorlara göre daha ağır ve maliyetli olmasına rağmen motor yapısı basit ve dayanıklıdır. Termik verimlerinin yüksek olmasından ötürü CI motorlar ulaşım, enerji üretimi ve tarımda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [2-6].

Dizel yakıtının sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yakılması sonucunda partikül madde (PM), azotoksitler (NO_x), hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksit (CO) emisyonları açığa çıkmaktadır. partikül madde (PM) ve Azot oksit (NO_x) emisyonları insan sağlığı ve çevre için oldukça tehlikelidir [7]. Azot oksitler (NO_x) NO , NO_2 , N_2O_2 ve benzeri bileşiklerden oluşmaktadır [8]. Azot oksitler (NO_x) atmosferde nitrik asit oluşumuna ve dolayısı ile asit yağmurlarına sebep olmaktadır [7]. Karbon, karbon-hidrojen bağları ve sülfürük asit gibi bileşenleri içeren partikül maddeler dizel motorlarda yanma olayına iştirak etmeden egzozdan dışarıya atılan emisyonudur [8]. Küresel ısınmanın etkilerini azaltmak için yapılan egzoz emisyonları ile ilgili düzenlemeler, NO_x ve PM emisyonlarını azaltmayı ve çok düşük seviyelere düşürmeyi hedeflemektedir [7]. Fosil kökenli olmayan enerji kaynaklarının bilim insanları tarafından araştırılması; artan nüfus ve gelişen toplumlardan dolayı azalan petrol ürünlerinin kullanımındaki talep artışı, petrol fiyatlarının yükselmesi, iklim değişiklikleri ve canlı yaşamını tehdit eder seviyelere ulaşan çevre kirliliğinden ötürü sürekli genişlemektedir [8-10].

Biyodizel, CI motorlar için en yaygın olarak kullanılan ve üzerine sürekli araştırmalar yapılan en iyi alternatif yakıtlardan birisidir. Kimyasal yapısı gereği kolay parçalanabilir olması, daha az toksik madde içeren yapısı, daha iyi emisyon değerlerine sahip olması ve en önemli özelliği sayılabilecek kendiliğinden yağlayıcılık özelliği nedeniyle araştırmacılar tarafından avantajlı olduğu düşünülmektedir [11-14]. Bununla birlikte, biyodizelin üretim maliyetleri son dönemde çok yükselmiştir [13]. Ayrıca, biyodizel üretimi için kullanılan yemeklik olmayan yağların üretimi için ülkelerin gıda ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılan tarım arazilerinden yararlanıldığından dolayı bu üretim miktarları sınırlı tutulmak da buda maliyetleri arttırmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı biyodizel üretimini atık yağlardan gerçekleştirmektedir. Bu noktada atık kızartma yağının yeniden kullanılması biyodizelin üretim maliyetini önemli oranda düşürmektedir. Bununla birlikte atıkların kanalizasyon veya atık arıtma tesislerine gitmesinin önüne geçildiğinden sebep olduğu kanalizasyon bakımı ve yağlı atık su arıtımı giderlerini düşürerek kamu kuruluşlarına da yardımcı olmaktadır [15]. Bununla birlikte kanola gibi yağlı bitkiler her iklim koşulu ve arazi şartlarında kolaylıkla ve yüksek verimle yetiştirilebildiği için bazı dezavantajlara sahip olmasına rağmen tercih edilmektedir [16].

Bitkisel yağlardan biyodizel üretimi ve motor performans testleri ile ilgili literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Yücesu vd. (2001), bir dizel motorunda 6 farklı bitkisel yağ ve bunların üçünden üretilen metil esterlerin motor performans ve emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Bitkisel yağ kullanımı ile dizel yakıtına göre motor performansında bir miktar düşüş belirlenirken, bitkisel yağ metil esterlerinin performans değerleri dizel yakıtına yakın tespit edilmiştir. Duman koyuluğu değerleri dizel yakıtı göre hem bitkisel yağlar hem de metil esterleri için daha yüksek tespit edilmiştir. NO_x emisyonlarının bitkisel yağ kullanımı ile azaldığı, yağ metil esteri kullanımı ile ise bitkisel yağlara oranla bir miktar artış gözlemlendiği belirlenmiştir [17]. Altuntaş (2006), hardal yağından biyodizel üretimi gerçekleştirmiş, dizel yakıtı, B2, B20 ve B100 yakıtlarının üç ay saklanması sırasında yakıt özelliklerinde oluşabilecek değişiklikleri gözlemlemişlerdir. Depolama sonunda yakıt özelliklerinde belirgin bir değişiklik görülmemiştir [18]. Fedai (2006), sıcaklık, reaksiyon süresi, katalizör oranı ve alkol oranı gibi parametrelerin kanola yağından biyodizel üretimine etkilerini 16 farklı deney numunesi hazırlayarak incelemiştir. Elde edilen ürünlerin özelliklerini incelemiş ve en uygun reaksiyon koşullarını 55°C sıcaklık, %25 metanol/yağ oranı, %1,05 NaOH/yağ oranı ve 1 saat reaksiyon süresi olarak belirlemiştir [19]. Wang vd. (2022), dizel yakıtı içerisine oksijen içeren n-oktanol, metilal (ME) ve dimetil karbonat (DMC) ilave etmiştir. NO_{45} , ME13, and DMC8 yakıtlarını 0,4 - 1,2 MPa arasındaki yüklerde dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Yanma performansı incelendiğinde n-oktanolün kullanımı ile ısı yayılım oranında iyileşme, ME13, and DMC8 kullanımı ile azalma elde etmişlerdir. NO_{45} yakıtı ile en düşük CO emisyonunu elde etmişlerdir. NO_{45} , ME13 ve DMC8 gibi oksijenli yakıtların kullanımı ile is emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında artış elde edilmiştir [20]. Fan vd. (2022), dizel yakıtı içerisine dimetil karbonatı (DMC) (%8,3, %15 ve %25 oranlarında ilave ederek iki farklı devir ve iki farklı devirde is emisyonlarının kimyasal özellikleri FT-IR ve XPS teknolojileri kullanılarak karakterize edilmiştir. DMC ilavesinin, yüzey oksijen içeriği, oksijenli gruplar ve bunların çeşitli DMC içeriği ile bağlanma durumları üzerinde farklı etkiler uyguladığını belirtmişlerdir [21]. Razzap vd (2021) %10 dimetil karbonat ve %30 palmye biyodizeli içerisine 40, 80 ve 120 ppm konsantrasyonunda grafen oksit nano tanecik ilavesinin motor performansı ve emisyon etkilerini dört zamanlı sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda araştırmışlardır. Ayrıca bu karışımların tribolojik özelliklerini incelemiştir. Özgül yakıt tüketimi ve fren termal veriminde diğer yakıtlara göre B30GNP40DMC10 için maksimum azalma sırasıyla %5,05 ve %22,80 olarak elde edilmiştir. B30DMC10 için HC ve CO sırası ile %25 ve %4,41 oranında azalmıştır. B30GNP40DMC10 için NO_x 'te %3,65'lik bir azalma gözlenmiştir [22]. Qian vd (2020) tarafından yapılan çalışmada, dizel, DMC20 ve DMC20 ye üç farklı oranda (%0,5, %1 ve %2) setan geliştirici 2-etil nitrat ilavesinden oluşan beş farklı yakıtı, farklı son püskürtme oranlarında (%0, %5, %10, %15 ve %20) turboşarjlı ve dört silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. DMC20 yakıtı kullanımıyla is emisyonları yaklaşık olarak %70 azalmıştır. Ancak DMC20'ye 2-etil nitrat ilavesi ile is emisyonlarında DMC20 ye oranla artışlar gözlenmiştir. Son püskürtme oranlarının artması ile NO_x ve CO emisyonları azalırken, HC emisyonu artış elde edilmiştir [23]. Pan vd. (2019) dizel yakıtına %10 ve %20 oranlarında dimetil karbonat ilavesinin farklı EGR oranlarında motor performans ve emisyonlarına etkisini incelemiştir. DMC20 yakıtı kullanımı ile tutuşma gecikmesi süresinin arttığını belirlemiştir. DMC kullanımı ile fren özgül yakıt tüketiminin arttığını gözlemlemiştir. DMC20 yakıtı %20-30'luk EGR oranlarıyla birlikte kullanıldığında en iyi yanma performansını göstermiştir. %40 EGR oranında, DMC20'nin NO_x emisyonu %64,9 oranında ve kurum emisyonu %80 oranında azalma gözlenmiştir [24].

Bu çalışmada, biyodizel üretimi için kanola yağı kullanılmıştır. Kanola yağından transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretiminde alkali katalizör olarak düşük maliyetli, %97'den fazla saflık değerine sahip sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır ve molekül ağırlığı 39,997 g/mol'dür. Transesterifikasyon reaksiyonunda moleküler ağırlığı 32,04 g/mol ve 20°C 'de yoğunluğu 0,791-0,793 kg/l olan metanol kullanılmıştır. Metanolün maliyeti düşük ve reaktivitesi yüksektir. Biyodizel- dizel karışımları içerisine dimetil

karbonat (DMC) ve dibütül maleat (DBM) belirli oranlarda ilave edilmiştir. Elde edilen karışımların motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri bir dizel motorunda incelenmiştir.

2. Materyal ve Metod (Material and Method)

Bu çalışmada biyodizel üretimi, karışım yakıtların hazırlanması, deneylerin gerçekleştirilmesi ve deneyler ile elde edilen ham verilerin analizi gerçekleştirilerek sonuçlar yorumlanmıştır.

2.1. Biyodizel üretimi ve yakıtların özellikleri (Biodiesel production and fuel properties)

Kanola yağından biyodizel üretimi için transesterifikasyon yöntemi uygulanmıştır. Alkol olarak %99 saflıkla metil alkol ve katalizör olarak NaOH tercih edilmiştir. Transesterifikasyon işlemi %20 alkol/yağ oranı, 90 dakika reaksiyon süresi, %0,5 katalizör/yağ oranı, 600 rpm dönüş hızı ve 60 °C reaksiyon sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

Kanola biyodizeli %20 oranında dizele eklenmiştir. Test yakıtının oksijen içeriğinin artırılması amacı ile dimetil karbonat (DMC) ve dibütül maleat (DBM) elde edilen karışım yakıt içerisine %10 oranlarında ilave edilmiştir. D100 (%100 dizel yakıtı), D70TKB20DMC10 (%70dizel yakıtı+%20 biyodizel+%10 dimetil karbonat) ve D70TKB20DBM10 (%70dizel yakıtı+%20 biyodizel+%10 dimetil maleat) yakıtlarının özellikleri Tablo 1’de görülmektedir.

Tablo 1. Yakıt Özellikleri

Yakıt Özellikleri	Dizel	D70TKB20DMC10	D70TKB20DBM10
Kükürt [ppm]	2,9	3,9	4,2
Kinematik Viskozite [mm ² /s,@40°C]	2,94	3,204	3,28
Parlama Noktası [°C]	73	84	52
Su [ppm]	17,56	94,66	115,41
Yoğunluk [kg/m ³ ,@15°C]	829	860	844

2.2. Yanma Analizi (Combustion Analysis)

Özgül yakıt tüketimi (ÖYT) Eşitlik 1 ile hesaplanmıştır [25,26]. ÖYT’nin birimi kg/kWh olup, eşitlikte bulunan \dot{m}_y birim zamanda motorun harcadığı yakıt miktarını ve P_e ise efektif gücü ifade etmektedir.

$$\text{ÖYT} = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \quad (1)$$

Isıl verim Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır. Eşitlikte bulunan \dot{m} bir çevrimde silindire sürülen yakıt miktarını (kg/çevrim), Q_{LHV} ise yakıtın alt ısıl değerlerini (kJ/kg) ifade etmektedir [26].

$$\eta_T = \frac{W_{net}}{\dot{m} \cdot Q_{LHV}} \quad (2)$$

Dijital sinyallere çevrilen basınç verileri ile ısı dağılımı elde edilmek istendiğinde gürültü görülmektedir. Bu gürültünün önlenmesi veriler filtrelenmiştir. Motorun gerçek çevriminde bir kurs boyunca piston üzerine uygulanan basınca indike ortalama efektif basınç adı verilir ve Eşitlik 3 ile hesaplanabilir [26,27].

$$\text{IMEP} = \frac{W_{net}}{V_{kurs}} \quad (3)$$

Net iş krank açısına bağlı olarak Eşitlik 4 ile hesaplanmaktadır.

$$W_{net} = \int P dV \quad (4)$$

Isı dağılımı için termodinamiğin birinci kanununa dayalı tek bölgeli yanma modeli uygulanmıştır. Açık sistemler için yanma odasında termodinamiğin birinci kanunu esas alınarak ısı dağılımı Eşitlik 5 ile hesaplanabilmektedir.

$$\frac{dQ_{gr}}{d\theta} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{heat}}{d\theta} \quad (5)$$

Yanma odası duvarlarına gerçekleşen ısı transferi Eşitlik 6 ile belirlenebilmektedir [25-27]. Isı transfer oranının birimi W/°KA’dır.

$$\frac{dQ_{heat}}{d\theta} = A_2 h_c (T_g - T_w) \quad (6)$$

Vuruntu yoğunluğu Eşitlik 7 ile hesaplanabilmektedir. $\left(\frac{dP}{dt}\right)_{max}$, P_{max} , T_{max} , ve γ sırası ile maksimum basınç artış oranını, maksimum basıncı, maksimum sıcaklığı ve politropik indeksi göstermektedir [28-30].

$$RI = \frac{1}{2\gamma} \frac{\left(\beta \left(\frac{dP}{dt}\right)_{max}\right)^2}{P_{max}} \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_{max}} \quad (7)$$

Krank açısına bağlı yanmanın başlangıcını ve bitişini belirlemek suretiyle yanma boyunca ısı dağılımı değerlerinin integrali alındığında toplam ısı dağılımı belirlenebilmektedir. Bu işlem Eşitlik 8'de bulunmaktadır [25-27].

$$\int_{t_{bas}}^{t_{son}} \frac{dQ_{gr}}{d\theta} d\theta = m_f Q_{LHV} \eta_{yanma} \quad (8)$$

Yanma verimi denklemini ise Eşitlik 9'da bulunmaktadır.

$$\eta_{yanma} = \frac{\int_{t_{bas}}^{t_{son}} \frac{dQ_{gr}}{d\theta} d\theta}{m_f Q_{LHV}} \quad (9)$$

Dizel motorlarda yanma analizi yapılırken incelenen bir diğer parametre tutuşma gecikmesi süresidir. Püskürtmenin başladığı andan ilk alev çekirdeğinin elde edilmesine kadar geçen süre olarak tanımlanır. Yanmanın diğer safhalarda gelişimini direkt etkilemektedir. Tutuşma gecikmesi süresi arttıkça yanma sürecinde yanmayı bekleyen yakıt miktarı artmaktadır. Sıcaklığın ve basıncın artmasıyla birlikte tüm karışım bir anda yanmaya iştirak etmektedir. Bu durumda basınç artış oranı ve vuruntu eğilimi artmaktadır. Bunun yanında elde edilen ısı dağılımı değerleri ardışık toplandığında kümülatif ısı dağılımı elde edilmektedir. 0 ile 1 arasında kümülatif ısı dağılımı normalize edildiğinde yanma aşamaları belirlenebilmektedir. Karışımın yüzde cinsinden ne kadarının yanmasını tamamladığı elde edilebilmektedir. Aynı zamanda yanma başlangıcı ve yanmanın bitişi de tespit edilebilmektedir [25-27].

2.3. Motor test ekipmanları (Engine test equipment)

Deneyler Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü Motor-Test Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Tablo 2'de teknik özellikleri belirtilmiş tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, su soğutmalı Antor AD510 BS dizel motoru kullanılmıştır. Deney motoru KEMSAN DC dinamometresine bağlanarak frenleme işlemi yapılmıştır. Egzoz emisyonlarının ölçümü için Tablo 3'de teknik özellikleri görülmekte olan Bosch BEA 350 egzoz gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Basınç ölçümleri için AVL basınç sensörü ve Kistler şarj amplifikatörü kullanılmıştır.

Tablo 2. Deney motoru teknik özellikleri

Motor	Antor AD510 BS
Silindir sayısı	1
Kurs x Çap	90 x 85 mm
Toplam silindir hacmi	510 cm ³
Sıkıştırma oranı	17,5:1
Motor Gücü	12 BG
Maksimum Tork	32,1 Nm / 1800 rpm

Tablo 3. Egzoz gaz analizörü teknik özellikleri

	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (% vol.)	0-10	0,001
CO ₂ (% vol.)	0-18	0,01
HC (ppm)	0-9999	1
O ₂ (% vol.)	0-22	0,01
Lambda	0,5-9,999	0,001
NO (ppm)	0-5000	1

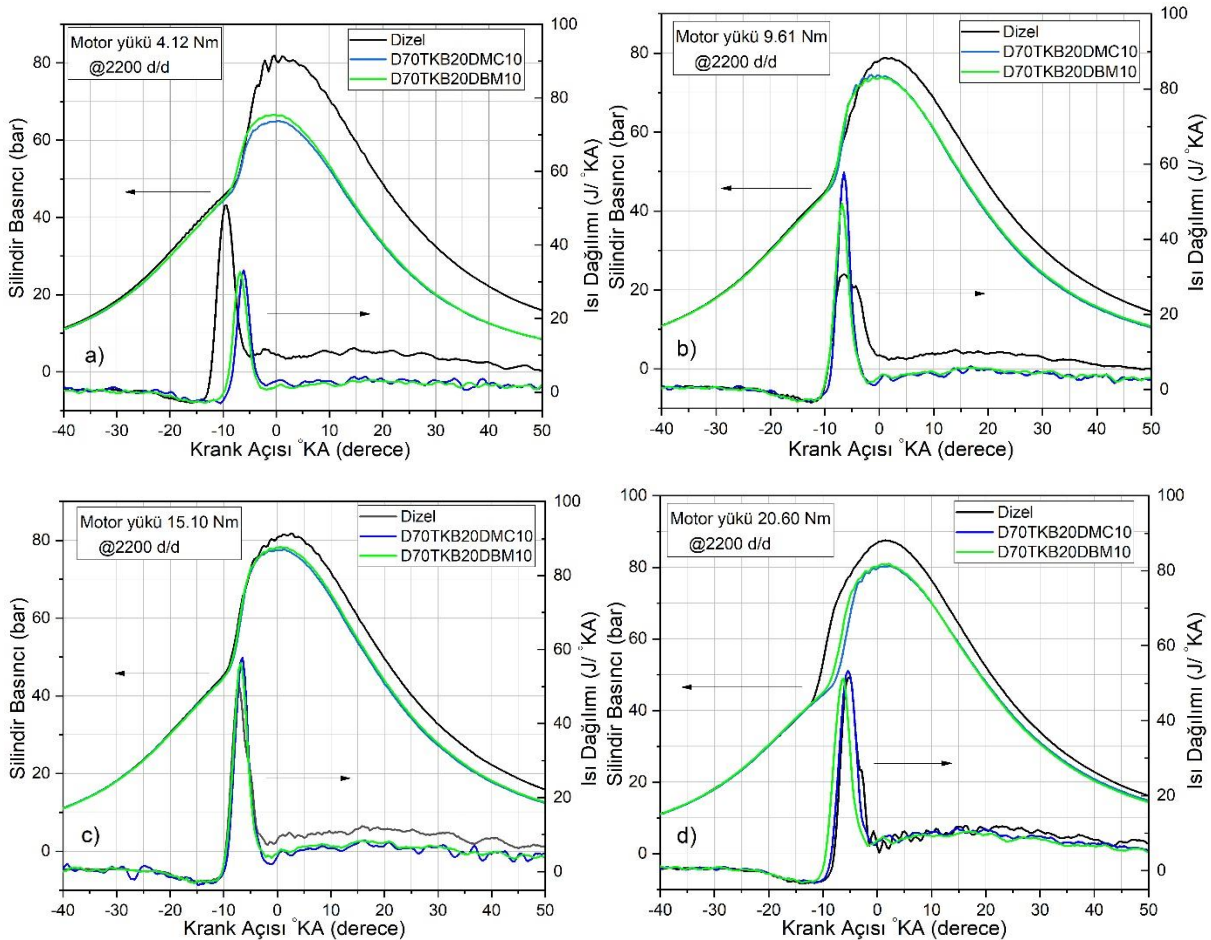
3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Oksijen içeren yakıtlar özellikle tam yanmanın sağlanması ve yanma fazı açısından oldukça önemlidir. Özellikle dizel motorlarda ortaya çıkan is arızalı yakıt enjeksiyon sistemi elemanları, zengin karışım bölgeleri ve yakıt içerisindeki sülfür nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte dizel motorlarda zıt NO_x -is değişimi önemli bir handikaptır. Bu noktada dizel motorlardan kaynaklanan emisyonların azaltılmasında büyük potansiyele sahip oksijen esaslı yakıtlar oksijen içeriği ile yanma reaksiyonlarını iyileştirmekte, emisyonların azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Dimetil karbonat yüksek oksijen içeriği, biyolojik olarak parçalanabilen ve dizel ile iyi bir şekilde karışabilen bir biyoyakıttır [31-36]. Bu noktada oksijen esaslı dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının etkilerini iki ana noktada ifade etmek mümkündür. Bunlardan biri yüksek buharlaşma ısısına bağlı olarak soğutma etkisidir. Diğer oksijen içeriği dizel yakıtına göre fazla olduğundan yanma sürecini iyileştirmesidir [37]. Yapılan çalışmada dört farklı test yakıtı kullanılmıştır. Kullanılan test yakıtlarının içerikleri Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Deneyleerde kullanılan test yakıtları ve içeriği

Test Yakıtı	İçeriği
Dizel	%100 Dizel
D70TKB20DMC10	%70 Dizel+%20 Kanola Biyodizeli+%10 Dimetil Karbonat
D70TKB20DBM10	%70 Dizel+%20 Kanola Biyodizeli+%10 Dibütil Maleat

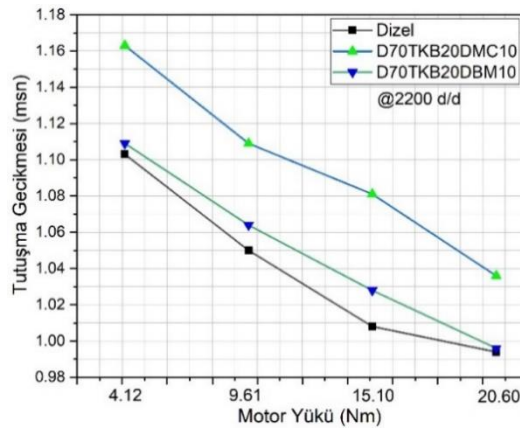
Şekil 1'de test yakıtlarının verdiği silindir basıncı ve ısı dağılım eğrileri görülmektedir. Maksimum silindir basıncının dizel yakıtı ile elde edildiğini ifade etmek mümkündür. Motor yükü arttıkça özellikle karışım yakıtlar için silindir basıncının arttığı görülmektedir. Silindire sürülen karışım miktarı arttıkça elde edilen basınç artmaktadır. Dimetil karbonat setan sayısı dizel yakıtından düşük olduğu için yanma fazının rötara alındığı ifade edilebilir. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının oksijen içeriği yüksek olmasına rağmen kalorifik enerjileri düşük olduğundan elde edilen ısı dağılımı azalmaktadır. Ancak yüksek motor yüklerinde (15.10 ve 20.6 Nm) silindir içi gaz sıcaklığının artışına bağlı olarak oksijen içeriği yüksek yakıtların verdiği ısı dağılımları dizel yakıtına yaklaşmıştır. Tüm motor yükleri için dizel yakıtı ile maksimum silindir basıncı elde edilmiştir.



Şekil 1. Silindir basıncı ve ısı dağılımı değişimleri

Karışım miktarının arttığı yüksek yüklerde biyodizel, dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının silindir basıncı ve ısı dağılımı üzerinde birleşik etkileri görülmektedir. Atomizasyon karakteristikleri biyodizelin yüksek viskozite ve yoğunluk değerlerinden ötürü kötüleşmektedir. Ancak dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının düşük viskozite ve yüksek oksijen içeriği oksidasyon reaksiyonlarını iyileştirmektedir. Yüksek oksijen içeriği ile hızlı yanma oranı sağlanabilmektedir. Aynı zamanda dimetil karbonat ilavesi ile püskürtme esnasında daha küçük yakıt parçacıkları elde edilerek daha uniform ve homojen bir karışımın elde edilmesi sağlanabilmektedir. Sonuçta hava/yakıt karışımı daha iyi gerçekleştirerek kimyasal yanma reaksiyonları iyileştirilmektedir.

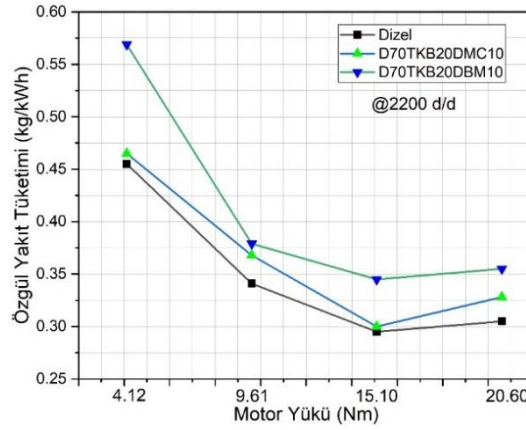
Tutuşma gecikmesi yanmanın diğer safhalarında meydana gelen kimyasal reaksiyonları etkilemektedir. Tutuşma gecikmesi süresi boyunca püskürtülen yakıt silindirde birikmekte, sıkıştırma strokunun sonuna doğru tüm karışım yanmaya iştirak etmek istemektedir. Bu nedenle yanma analizinde incelenmesi gereken önemli bir parametredir. Tutuşma gecikmesi süresi setan sayısından direkt etkilenmektedir. Dizel motorlarda yanma ön karışım yanması ve difüzyon yanma şeklinde gerçekleşmektedir. Tutuşma gecikmesi safhası bu noktada ön karışım ve difüzyon yanma safhalarının gelişimini etkilemektedir. Şekil 2’de test yakıtlarının farklı motor yüklerinde belirlenen tutuşma gecikmesi süreleri verilmektedir. Motor yükünün artması ile tüm yakıtlar için tutuşma gecikmesi süreleri kısalmaktadır. Silindire gönderilen fazla karışım ile yanma boyunca silindir içi basıncı ve sıcaklığı artmaktadır. Yakıt moleküllerinin fiziksel parçalanması, buharlaşması ve ilk alev çekirdeğinin oluşumu enerjisi yüksek bir yanma odasında daha kolay gerçekleşebilmektedir. Böylece tutuşma gecikmesi kısalmaktadır. Aynı zamanda Şekil 2’de görüldüğü gibi karışım yakıtlar ile tutuşma gecikmesi süresi artmaktadır. Biyodizelin viskozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek olmasından dolayı püskürtme esnasında yakıt moleküllerinin fazla boyutundan dolayı buharlaşması ve tutuşmaya başlaması gecikmektedir. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının ilavesi ile aynı etki görülmektedir. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının düşük setan sayılarından ötürü tutuşma gecikmesi uzamaktadır. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtları düşük setan sayısına bağlı ön karışım yanma safhasının uzamasına neden olmaktadır. Ön karışım yanma safhasından sonra oksijeni içeriği yüksek yakıtların difüzyon yanma aşamasını kısalttığını ifade etmek mümkündür.



Şekil 2. Test yakıtlarının tutuşma gecikmesi süresi üzerindeki etkileri

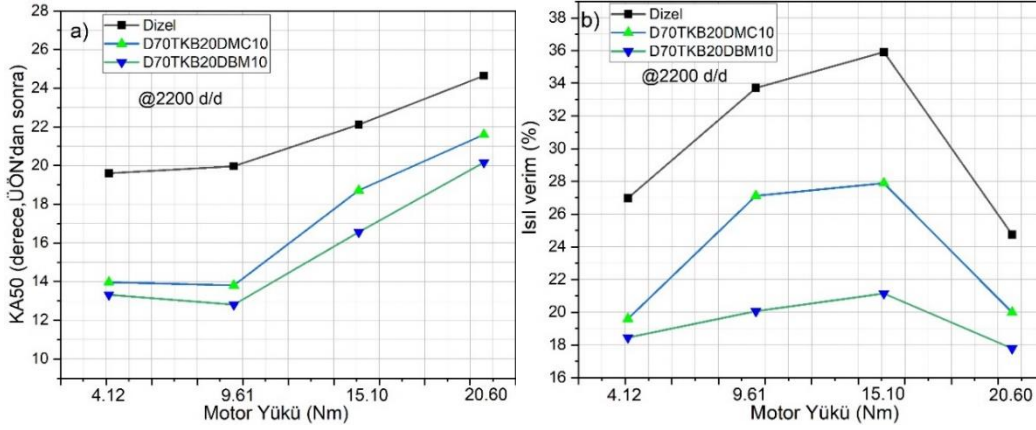
2200 d/d’da farklı motor yüklerinde yapılan deneylerde özgül yakıt tüketimi değişimleri Şekil 3’de görülmektedir. En düşük ÖYT 15.10 Nm yükte dizel yakıtı ile 0.295 kg/kWh olarak hesaplanmıştır. Karışım yakıtların yoğunluk ve viskozite

değerlerinin yüksek olmasından dolayı kütlece püskürtülen yakıt miktarı artmaktadır. Aynı motor gücünü elde edebilmek için dizele göre daha fazla yakıt tüketilmektedir. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının viskozite değerleri dizelden düşük olmasına rağmen alt ısıl değerleri düşüktür. Dizel/biyodizel yakıt karışımına dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıt ilavesi ile özgül yakıt tüketimi dizele göre artmıştır. Ayrıca dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtları yüksek oksijen içeriğinden dolayı yanma reaksiyonlarını iyileştirmektedir. Özgül yakıt tüketimi dizele göre 15.10 Nm yükte D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla % 1.69 ve %16.94 artmıştır.



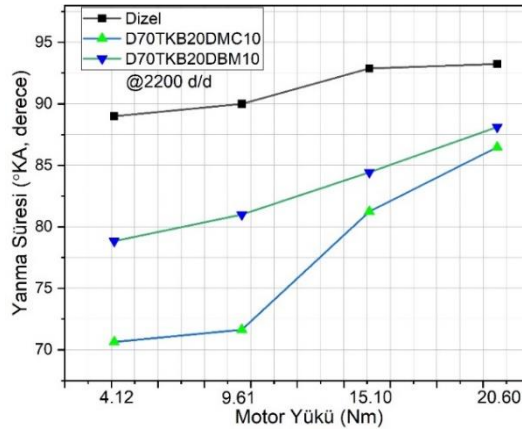
Şekil 3. Motor yüküne bağlı özgül yakıt tüketimi değişimleri

Yanma analizinde 0 ile 1 arasında kümülatif ısı dağılımı normalize edildiğinde yanmasını tamamlayan kütle miktarı belirlenebilmektedir. Bu noktada yanma başlangıcı (KA10), KA50 ve yanma süresi hesaplanabilmektedir. Termik verim ile KA50 yakından ilişkilidir [25-27, 36-43]. Yüksek termik verim için KA50 üst ölü noktadan hemen sonra elde edilmelidir. Şekil 4-a incelendiğinde motor yükü arttıkça KA50 artmaktadır. Dizel yakıt ile elde edilen KA50 değerlerinin tüm yüklerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Karışım yakıtların oksijen içeriklerinin yüksek olması, biyodizelin kötü bir özelliği olan yüksek yoğunluğun dimetil karbonat ve dibütil maleat katkıları ile iyileştirilmesini sağlamakta, KA50'nin azalmasına neden olmaktadır. Yanma odasında yeterli oksijeni bularak oksidasyon reaksiyonlarına katılan yakıt moleküllerinin miktarı artmaktadır. Bu noktada dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtları ile dizele göre yanma fazının avansa alındığı görülmektedir. Termik verim yakıtın sahip olduğu enerji ile açığa çıkan ısının ne ölçüde faydalı işe dönüştüğünü göstermektedir [25-27,34-39]. Şekil 4 incelendiğinde KA50 ile termik verim arasında bir uyumun olduğu görülmektedir. En yüksek termik verim 9.61 Nm motor yükünde dizel ile %35.90 hesaplanmıştır. Biyodizel, dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının düşük kalorifik enerjileri nedeniyle termik verimlerin azaldığı görülmektedir. Termik verim 9.61 Nm motor yükünde D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 ile sırasıyla %27.89 ve %21.14 hesaplanmıştır. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıt katkılarının oksijen içeriği fazla olmasına rağmen düşük alt ısıl değerden ötürü elde edilen termik verim değerlerinin azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda özgül yakıt tüketimi ile termik verim arasında uyum olduğu görülmektedir. Biyodizel yakıt karışımına dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıt katkıları ile termik verimin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. Motor yüküne bağlı KA50 ve ısı verim değişimleri

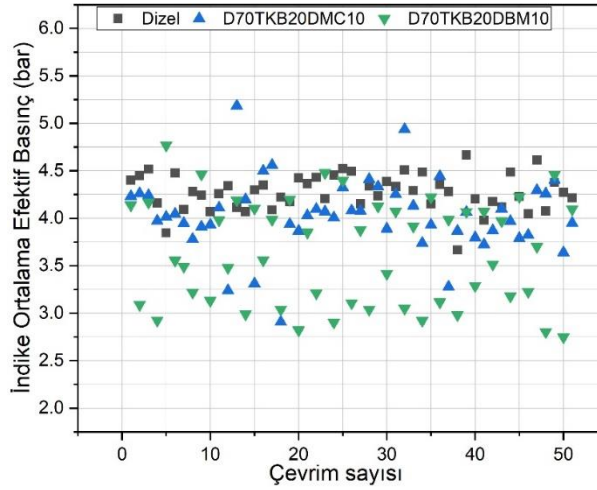
Şekil 5 elde edilen yanma sürelerini göstermektedir. Motor yükünün artışı ile yanma odasında yanmayı bekleyen karışım miktarı artmaktadır. Bununla birlikte yanma daha fazla zaman almaktadır. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının ilavesi ile difüzyon yanma safhasında yüksek oksijen içeriği yanmanın hızlanmasına neden olmaktadır. Ön karışım yanma safhası düşük setan sayısına bağlı olarak uzamasına rağmen toplam yanma süresi karışım yakıtlarda kısalmaktadır. Yüksek oksijen içeriği, yakıt ile oksijen moleküllerinin daha kolay buluşmasına ve reaksiyona girmesine neden olmakta, yanma oranını arttırmaktadır. Biyodizelin yüksek viskozite ve yoğunluk değerleri atomizasyon karakteristiklerini kötüleştirmekte, yakıt küçük parçacıklara ayrılamamaktadır. Bu durumda oksijen molekülleri ile homojen bir karışım oluşumu güçleşmektedir.



Şekil 5. Yanma süresi

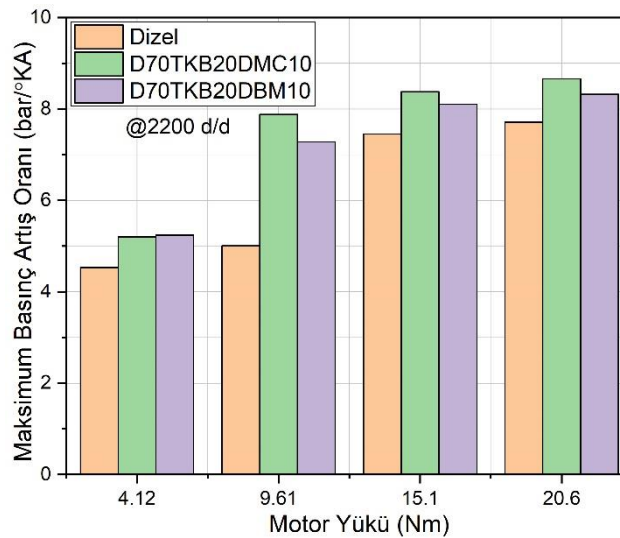
Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtları düşük viskozite değerleri ile karışım yakıtın fiziksel özelliklerini iyileştirmektedir. Aynı zamanda oksijen içeriğinin yüksek olmasına bağlı olarak oksidasyon oranını arttırmakta, hızlı bir yanma meydana gelmektedir.

Şekil 6 çevrim sayısına bağlı test yakıtları ile belirlenen indike ortalama efektif basınç değerlerini göstermektedir. Yanma esnasında elde edilen ve pistonu uygulanan basınç yakıtın kimyasal özelliklerinden ve oksidasyon reaksiyonlarından etkilenmektedir. Ardışık 50 çevrim incelendiğinde dizel yakıtı ile imep değerlerinin arttığı görülmektedir. Biyodizel yakıt karışımı ile kütlece silindire sürülen yakıt miktarı biyodizelin yoğunluğundan dolayı artmaktadır. Ancak dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıt katkılarının düşük alt ısı değerleri elde edilen enerjinin ve imep değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.

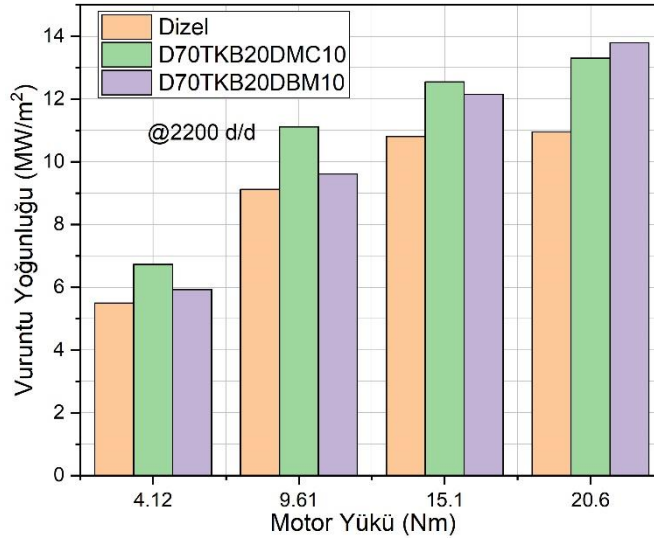


Şekil 6. Çevrim sayısına bağlı indike ortalama efektif basınç değerleri

Şekil 7’de motor yüküne bağlı maksimum basınç artış oranları görülmektedir. Motor yükünün artışı ile silindirdeki karışım miktarı artmakta ve elde edilen maksimum basınç tüm test yakıtları için artmaktadır. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının düşük setan sayılarından ötürü tutuşma gecikmesi süresi ve ön karışım yanma safhası uzamaktadır. Bu süreçte yanma odasında biriken yakıt molekülleri sıkıştırma strokunun sonuna doğru aniden yanmak istemektedir. Sonuçta krank açısına başına pistonu uygulanan basınç artmaktadır. Şekil 7’de görüldüğü gibi karışım yakıtları ile elde edilen maksimum basınç artış oranları dizele göre artmaktadır. Bununla birlikte dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıt katkılarının yüksek oksijen içeriği yanma reaksiyonlarını hızlandırmakta, yanma sürecinde basıncın ani yükselmesine neden olmaktadır. Basınç artış oranının fazla artması motorun vuruntulu çalışma temayülünü arttırmaktadır. Bu durumda motor parçalarına anlık olarak gelen yükler artmakta, motor parçalarının ömrü kısalmaktadır. Benzer şekilde Şekil 8 test yakıtları ile belirlenen vuruntu yoğunluğu değerlerini göstermektedir. Motor yükü arttıkça vuruntu yoğunluğu artmaktadır. Vuruntu yoğunluğu maksimum silindir basıncı, sıcaklığı ve motor devrinden etkilenmektedir [25-27, 34-39,44-46].



Şekil 7. Maksimum basınç artış oranı

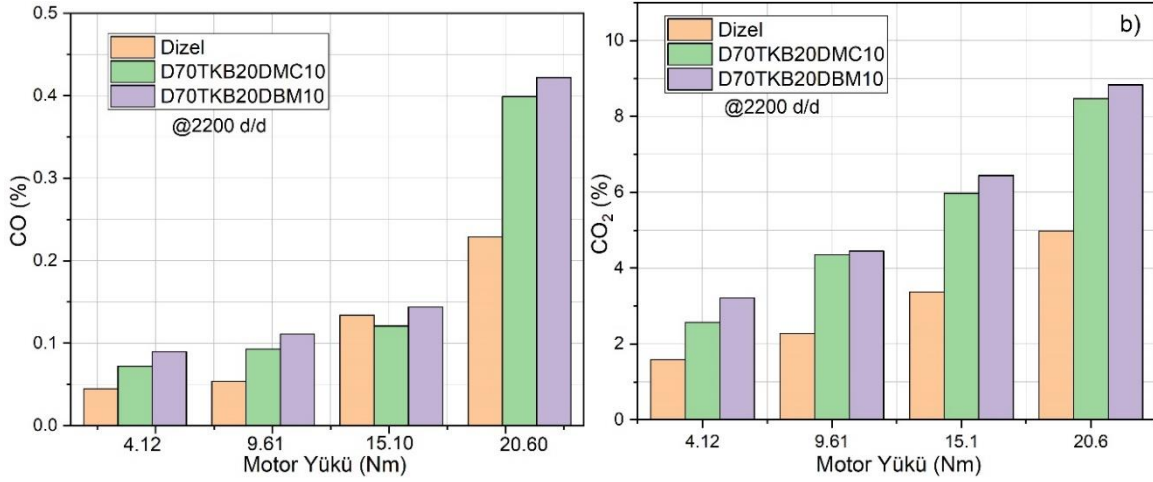


Şekil 8. Vuruntu yoğunluğu

Minimum vuruntu yoğunluğu dizel ile elde edilmiştir. Motor yükü arttıkça silindire alınan karışım miktarı artmakta maksimum silindir basıncı yükselmektedir. Düşük setan sayısına sahip dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının ilavesi ile elde edilen silindir basıncının ve vuruntu yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Oksijen içeriği yoğun katkılar ile yanma süreci boyunca yanma odasında mikro patlama aktiviteleri gerçekleşmekte ve silindir basıncı artmaktadır. Dimetil karbonat, oksijen ile yakıt moleküllerinin birleşmesine yardımcı olmakta, yanma reaksiyonları iyileştirilmektedir [33,47].

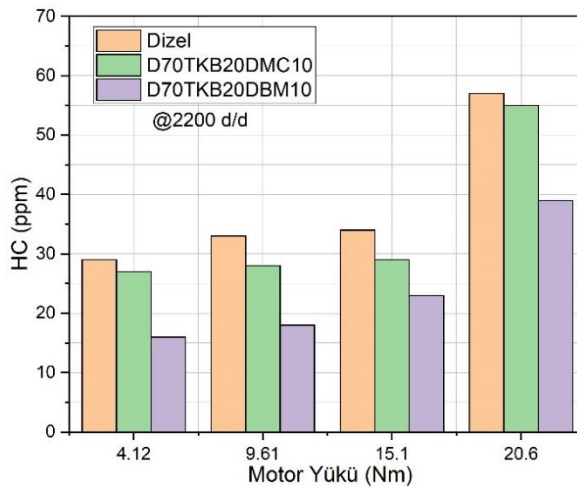
CO yanma safhasında yanma odasında yetersiz silindir içi sıcaklık ve oksijene bağlı olarak ortaya çıkan eksik yanma ürünüdür. Hava/yakıt oranı ve karışım kompozisyonu CO oluşumunu etkilemektedir. Yanma odasında zengin karışım bölgelerinde yetersiz silindir sıcaklığı oksidasyon reaksiyonlarının tamamlanmasını engellemektedir. Sonuçta CO oluşumu meydana gelerek CO₂ oluşumu azalmaktadır. Yanmanın tamamlanabilmesi için yeterli sıcaklık ve basınç şartlarında yanma oranı artarak CO₂ açığa çıkmaktadır. Şekil 9-a ve Şekil 9-b'de test yakıtları ile elde edilen CO ve CO₂ emisyonları görülmektedir. Motor yükünün artışı ile CO ve CO₂ oluşumu artmaktadır. Motor yükünün artması ile yakıt konsantrasyonu artmakta, oksijen ve yakıt molekülleri arasındaki kimyasal oksidasyon reaksiyonları kötüleşmektedir. Yakıt moleküllerinin tamamı yetersiz oksijen konsantrasyonundan dolayı okside olamamaktadır. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtları ilave edildiğinde CO emisyonlarının arttığı görülmüştür. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının oksijen içeriği fazla olmasına rağmen kalorifik enerjileri düşüktür. Bu özellik yanma sonu açığa çıkan ısının azalmasına neden olabilmekte, oksijen ve yakıt molekülleri arasındaki oksidasyon reaksiyonlarını yavaşlatabilmektedir. Aynı zamanda dimetil karbonat biyoyakıtının yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle silindir içi gaz sıcaklığını azaltmaktadır [25-27, 33,37-39, 48-50]. Bu noktada silindirde soğutma etkisi görülmekte CO emisyonlarının CO₂'ye dönüşümü azalmaktadır. Yanma safhasında daha fazla ısı absorbe edilerek eksik yanma kayıpları artabilmektedir. 20.6 Nm motor yükünde D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla dizele göre CO emisyonları %74.23 ve %84.27 arttığı görülmektedir. Biyodizelin viskozite ve yoğunluğunun yüksek olması kütlece silindire sevk edilen yakıt miktarının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca oksijen içeriği dizelden yüksek olduğu için oksidasyon oranı artmakta, silindir içi gaz

sıcaklığı yükselmektedir. Sonuçta CO oluşumunun aksine CO₂ oluşumu artmaktadır. 20.6 Nm motor yükünde D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla %8.47 ve % 8.83 CO₂ ölçüldüğü görülmektedir.



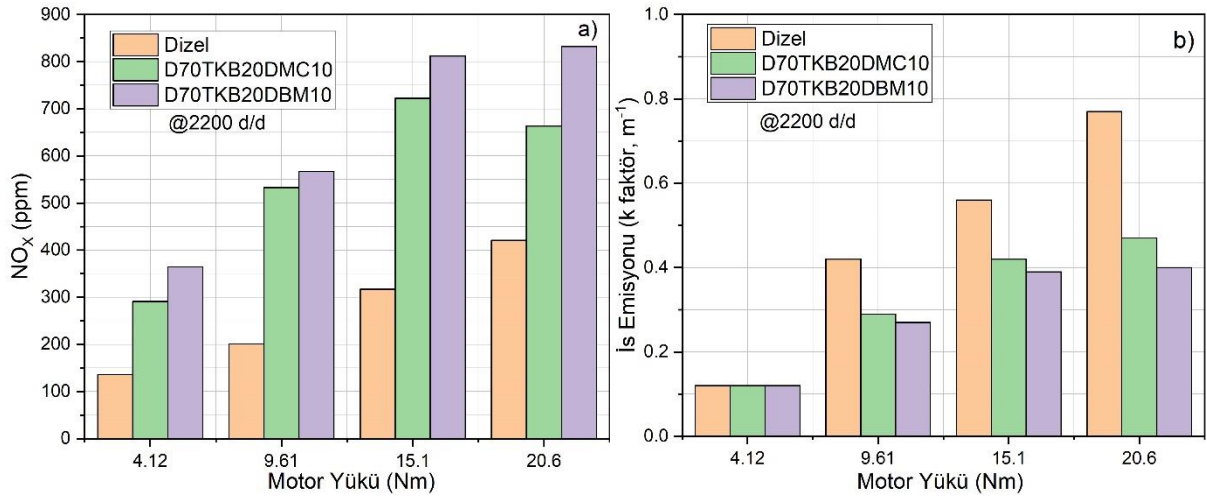
Şekil 9. CO ve CO₂ emisyonlarının değişimi

HC oluşumunun en önemli nedenlerinden biri yanma odasında alev cephesinin soğuk silindir cidarlarına ulaştığında sönmesidir. Yanma odasında lokal zengin karışım bölgeleri HC oluşumunu arttırmaktadır. Aynı zamanda silindir ve pistonun oyuk kısımlarındaki oksijenin verimli kullanılamamasına bağlı olarak oksidasyon reaksiyonları azalmakta, HC oluşumu görülmektedir. Şekil 10'da HC emisyonlarının değişimi görülmektedir. Motor yükünün artışı ile HC emisyonları tüm test yakıtları için artmaktadır. Karışım yakıtları ile dizel yakıtına göre HC emisyonlarının azaldığı görülmektedir. HC emisyonları 20.6 Nm motor yükünde dizel yakıtına göre D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla %3.50 ve %31.57 oranında azalmıştır. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının yüksek oksijen içeriği yanma oranını arttırmaktadır. Aynı zamanda dimetil karbonat yakıtının karbon-karbon bağından dolayı yakıt ile oksijenin birleşmesini iyileştirmektedir [33,47]. Sonuçta tam yanmaya bağlı olarak silindir içi basınç ve sıcaklık artmakta, yanmamış hidrokarbonlar okside olabilmektedirler.



Şekil 10. HC emisyonlarının değişimi

Dizel motorlarda yüksek yanma sonu basınç ve sıcaklığı ile oksijen ve azot molekülleri tepkimeye girmektedir. Bunun sonucunda NO_x oluşumu görülmektedir. Yakıt ve termal etkilere bağlı olarak meydana gelen NO_x emisyonları EGR, yakıt katkıları gibi uygulamalarla azaltılmaya çalışılmaktadır. Şekil 11-a'da NO_x emisyonlarının değişimi görülmektedir. Test yakıtları ile yük arttıkça NO_x emisyonları artmaktadır. Silindire gönderilen karışım miktarı arttıkça daha fazla ısı açığa çıkmakta, yanma sonu gaz sıcaklığı yükselmektedir. Sıcaklık artışı ile NO_x oluşumu artmaktadır. Biyodizel, dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıt katkıları ile NO_x emisyonlarının arttığı görülmüştür. Hem biyodizel hemde dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının yüksek oksijen içeriği yanma verimini arttırmakta, yanma sonu gaz sıcaklığını yükseltmektedir. Yanma sonu gaz sıcaklığı oksijen ve azot moleküllerinin reaksiyonuna izin vermekte, NO_x oluşumu artmaktadır. Bu noktada karışım yakıtları ile NO_x oluşumuna neden olan en önemli etkenlerden biri yüksek oksijen içeriğidir. Aynı zamanda dimetil karbonatın düşük setan sayısına bağlı olarak tutuşma gecikmesi süresi uzamaktadır. Tutuşma gecikmesi süresi arttıkça yakıt moleküllerinin yanma odasında bekleme safhası uzamakta, tüm karışım bir anda yanmaya iştirak etmektedir. Böylece yanma sonu silindir içi basınç ve sıcaklık ani olarak yükselmektedir. Sonuçta NO_x oluşumu artmaktadır. NO_x 20.6 Nm motor yükünde dizele göre D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla %57.48 ve %97.62 arttığı görülmüştür. Dizel motorlarda yakıt içerisindeki sülfür is emisyonlarına neden olabilmektedir. Aynı zamanda yanma odasında heterojen karışıma bağlı olarak meydana gelen lokal zengin karışım bölgeleri is emisyonlarının oluşumuna neden olmaktadır. Enjektörler ve yakıt enjeksiyon pompasında görülen arıza ve düzensizlikler yakıtın iyi atomize olmasını engellemektedir. Bu durumda yakıt molekülleri oksijen molekülleri ile homojen karışım oluşturamamaktadır [25-27, 34-39]. Şekil 11-b ise motor yüküne bağlı is emisyonlarını göstermektedir. Motor yükü arttıkça yanma odasında yakıt konsantrasyonu artmakta, zengin karışım bölgelerin oluşma olasılığı artmaktadır. Lokal zengin karışım bölgelerinde yakıt moleküllerinin oksidasyonu zayıflamakta, is oluşumu görülebilmektedir. Dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıtlarının is emisyonları üzerinde direkt etkisi olduğu görülmüştür. Şekil 11-b'de görüldüğü gibi karışım yakıtları ile is emisyonları azalmıştır. Biyodizele dimetil karbonat ve dibütil maleat yakıt ilaveleri ile karışım yakıtların oksijen içeriği artmıştır. Böylece oksidasyon reaksiyonları ve yanma oranı artmaktadır. Sonuçta is oluşumu azalmaktadır. Bu azalma yüksek oksijen içeriği ve biyodizelin biyoyakıtlara göre yüksek setan sayısına sahip olması şeklinde birleşik etki göstermesi ile açıklanabilir. Karışım yakıtların yüksek oksijen içeriği tam yanma reaksiyonlarının meydana gelmesine neden olmaktadır [1]. Dimetil karbonat gibi oksijen içeriği yüksek yakıtlar ile zengin karışımli yanma boyunca öncü is türlerinin oluşumu engellenmektedir [25-27, 32,33, 38,39, 51-53]. Aynı zamanda yanma safhasında mikro patlama aktivitelerini arttırarak yanma ve performans karakteristiklerini iyileştirmektedir [31,54]. Is emisyonları 20.6 Nm motor yükünde dizele göre D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla %38.96 ve %48.05 oranında azaldığı görülmüştür.



Şekil 11. NO_x ve is emisyonlarının değişimi

3. Sonuç (Conclusions)

Günümüzde fosil enerji kaynaklarının azalması, doğaya ve çevreye olan olumsuz etkileri nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına ilgi artmıştır. Ulaşım sektöründe kullanılan dizel motorlarında kullanılabilecek alternatif yakıtlardan birisi biyodizeldir.

Tam yanmanın sağlanması için oksijen içeren yakıtlar oldukça önemlidir. Dizel motorlardan kaynaklanan emisyonların azaltılmasında büyük potansiyele sahip oksijen esaslı yakıtlar oksijen içeriği ile yanma reaksiyonlarını iyileştirmekte, emisyonların azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, dizel/biyodizel karışımı içerisinde dimetil karbonat ve dibutil maleat ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Motor yükünün artışı ile test yakıtları ile CO ve CO₂ oluşumu artmaktadır. Motor yükünün artması ile yakıt konsantrasyonu artmakta, oksijen ve yakıt molekülleri arasındaki kimyasal oksidasyon reaksiyonları kötüleşmektedir. Yakıt moleküllerinin tamamı yetersiz oksijen konsantrasyonundan dolayı okside olamamaktadır. Dimetil karbonat ve dibutil maleat yakıtları ilave edildiğinde CO emisyonlarının arttığı görülmüştür.

- Motor yükünün artışı ile HC emisyonları tüm test yakıtları için artmaktadır. Karışım yakıtları ile dizele göre HC emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Dimetil karbonat ve dibutil maleat yakıtlarının yüksek oksijen içeriği yanma oranını arttırmaktadır.

- NO_x emisyonlarının 20.6 Nm motor yükünde dizele göre D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla %57.48 ve %97.62 arttığı görülmüştür.

- Is emisyonlarının 20.6 Nm motor yükünde dizele göre D70TKB20DMC10 ve D70TKB20DBM10 yakıtları ile sırasıyla %38.96 ve %48.05 oranında azaldığı görülmüştür.

Teşekkür (Acknowledgment)

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 18.KARİYER.237 kodlu kariyer destek projesi ile desteklenmiştir. Yazarlar Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür eder.

Terimlendirme (Nomenclature)

ÖYT	Özgül yakıt tüketimi (kg/kWh)
NaOH	Sodyum hidroksit
DMC	Dimetil karbonat
DBM	Dibutil maleat
CI	Sıkıştırma ile ateşlemeli
SI	Buji ile ateşlemeli
PM	Partikül madde
NO _x	Azotoksitler
HC	Hidrokarbonlar
PM	Partikül madde
CO ₂	Karbondioksit

CO	Karbonmonoksit
KA10	Karışımın %10'unun yandığı krank açısı
KA50	Karışımın %50'sinin yandığı krank açısı

Kaynaklar (References)

- [1] Demirkesen, C., Dizel içten yanmalı motorlarda silindir içerisindeki hava hareketlerinin incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [2] Solmaz, H., Ardebili, SMS., Aksoy, F., Calam, A., Yılmaz, E., Arslan, M., Optimization of the operating conditions of a beta-type rhombic drive stirling engine by using response surface method. *Energy*, 2020; 117377.
- [3] Halis, S., Nacak, Ç., Solmaz, H., Yılmaz, E., Yücesu, H.S., HCCI bir motorda oktan sayısının yanma karakteristikleri ve motor performansı üzerine etkilerinin incelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 2018;38 (2).
- [4] Çelik, M., Solmaz, H., Yücesu, H.S., Yılmaz, E., Kanola Metil Esterine N-Heptan Katkısının Motor Performansı ve Yanma Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 2016; 36(1),9-16.
- [5] Zhu, M., Ma, Y., Zhang, D., Effect of a homogeneous combustion catalyst on the combustion characteristics and fuel efficiency in a diesel engine. *Appl. Energy*, 2012; 91,166-172.
- [6] Solmaz, H., Yamık, H., Uyumaz, A., Polat, S., Yılmaz, E., Direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda dizel ve jet-A1 yakıt karışımlarının yanma, motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri üzerine deneysel bir çalışma. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 2016;36 (2), 51-60.
- [7] Keskin, A., Sağiroğlu, S., Dizel motorlardan kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri, *Mühendis ve Makine*, 2010;51,606.
- [8] Kelen, F., Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2014; 19 (1-2):80-87.
- [9] Ardebili, SMS., Green electricity generation potential from biogas produced by anaerobic digestion of farm animal waste and agriculture residues in Iran. *Renewable Energy*, 2020; 154, 29-37.
- [10] Yari, N., Mostafaei, M., Naderloo, L., & Safieddin Ardebili, S. M., Energy indicators for microwave-assisted biodiesel production from waste fish oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2019; 1-12.
- [11] Ardebili, SMS, Taghipoor, A, Solmaz, H, Mostafaei, M., The effect of nano-biochar on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with fusel oil-diesel fuel. *Fuel*, 2020; 268, 117356.
- [12] Vicente, G, Martinez, M, Aracil, J., A comparative study of vegetable oils for biodiesel production in Spain. *Energy Fuels*. 2006; 20, 394-8.
- [13] Khedri, B, Mostafaei, M, Ardebili, SMS., A review on microwave-assisted biodiesel production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2019; 41(19), 2377-2395.
- [14] Khedri, B., Mostafaei, M., Ardebili, SMS., Flow-mode synthesis of biodiesel under simultaneous microwave-magnetic irradiation. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2019; 27(10), 2551-2559.
- [15] Kannan, GR., Karvembu, R., Anand, R., Effect of metal based additive on performance emission and combustion characteristics of diesel engine fuelled with biodiesel. *Applied Energy*. 2011; 88, 3694-3703.
- [16] Mutlu, E., Dizel yakıtı, kanola yağı ve fındık yağı metil esterlerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkilerinin deneysel incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2010.
- [17] Yücesu, H.S., Altın, R., ve Çetinkaya, S., Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi, *Turkish Journal Of Engineering and Environmental Sciences*, 2001; 25, 39-49.
- [18] Altuntaş, A., Hardal yağı biyodizelinde depolama süresi ve şartlarının yakıt özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [19] Fedai Ö., Transesterifikasyon ile kanola yağı metil esteri sentezinin optimizasyonu, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2006.
- [20] Wang, Q., Ni, J., Huang, R., The potential of oxygenated fuels (n-octanol, methylal, and dimethyl carbonate) as an alternative fuel for compression ignition engines with different load conditions, *Fuel*, 2022; 309, 122129.
- [21] Fan C., Guan Z., Wei, J., Pan M., Huang H., Wei M., An assessment of soot chemical property from a modern diesel engine fuelled with dimethyl carbonate-diesel blends, *Fuel*, 2022;309, 122220.
- [22] Razzaq L., Mujtaba M.A., Soudagar M. E. M., Ahmed W., Fayaz H., Bashir S., Rizwanul Fattah I.M., Ong H. C., Shahapurkarf K., Afzal A., Wageh S., Al-Ghamdi A., Shujaat Ali M., EL-Seesy A. I., Engine performance and emission characteristics of palm biodiesel blends with graphene oxide nanoplatelets and dimethyl carbonate additives, *Journal of Environmental Management*, 2021; 282, 111917, 2021.
- [23] Qian W., Huang H., Pan M., Huang R., Tong C., Guo X., Yin J., Effects of 2-ethylhexyl nitrate and post-injection strategy on combustion and emission characterizes in a dimethyl carbonate/diesel blending engine, *Fuel*, 2020; 263, 116687.
- [24] Pan M., Qian W., Zheng Z., Huang R., Zhou X., Huang H., Li M., The potential of dimethyl carbonate (DMC) as an alternative fuel for compression ignition engines with different EGR rates, *Fuel*, 2019; 257, 115920.
- [25] Heywood, J. B., Internal Combustion Engines Fundamentals. New York: McGraw-Hill, 1988; 205-263, 371-457, 668-690.
- [26] Uyumaz, A., Homojen Dolgulu Sıkıştırma İle Ateşlemeli Bir Benzin Motorunda Supap Kalkma Miktarının Yanma ve

- Performansa Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014.
- [27] Stone, R., Introduction to Internal Combustion Engines. London: MacMillan Pres. LTD, 1999; 430-431, 521-522, 535-537, 542-544.
- [28] Çınar, C., Uyumaz, A., Polat, S., Yılmaz, E., Can, Ö. and Solmaz, H., Combustion and performance characteristics of an HCCI engine utilizing trapped residual gas via reduced valve lift. *Applied Thermal Engineering*, 2016; 100: 586-594.
- [29] Poorghasemi, K., Saray, R.K., Ansari, E., Irdmoussa, B.K., Shahbakhti, M. and Naber, J.D., Effect of diesel injection strategies on natural gas/diesel RCCI combustion characteristics in a light duty diesel engine. *Applied Energy*, 2017; 199: 430-446.
- [30] Ansari, E., Poorghasemi, K., Irdmoussa, B.K., Shahbakhti, M. and Naber, J., Efficiency and Emissions Map-ping of a Light Duty Diesel-Natural Gas Engine Operating in Conventional Diesel and RCCI Modes. *SAE Technical Paper. No. 2016-01-2309*, 2016.
- [31] L. Razzaq, M.A. Mujtaba, ManzooreElahi M. Soudagar, WaqarAhmed, H. Fayaz, ShahidBashir, I.M. Rizwan-ulFattah, HwaiChyuanOng, Kiran Shahapurkarf, AsifAfzal, S. Wageh, Ahmed Al-Ghamdi, MuhammadShujaat Ali, Ahmed I. EL-Seesy, Engine performance and emission characteristics of palm biodiesel blends with graphene oxide nanoplates and dimethyl carbonate additives, *Journal of Environmental Management*, 2021; 282, 11917.
- [32] Weiwei Qiana, HaozhongHuang, MingzhangPana, RongHuang, ChengzhengTong, XiaoyuGuo, JichongYin, Effects of 2-ethylhexyl nitrate and post-injection strategy on combustion and emission characteristics in a dimethyl carbonate/diesel blending engine, *Fuel*, 2020; 263, 116687.
- [33] MingzhangPan, WeiweiQian, ZeyuanZheng, RongHuang, XiaorongZhou, HaozhongHuang, Mingxing-Li, The potential of dimethyl carbonate (DMC) as an alternative fuel for compression ignition engines with different EGR rates, *Fuel*, 2019; 257, 115920.
- [34] XiangangWang, C.S. Cheung, YageDi, ZuohuaHuang, Diesel engine gaseous and particle emissions fueled with diesel-oxygenate blends, *Fuel*, 2012; 94, 317-322.
- [35] Eduardo J. Barrientos, MagínLapuerta, André L. Boehman, Group additivity in soot formation for the example of C-5 oxygenated hydrocarbon fuels, *Combustion and Flame*, 2013; 160, 1484-1498.
- [36] Sandeep Singh, Ashwani Kumar, S. K. Mahla, Gurpreet Singh Bath, Experimental Study on Emission Analysis of Oxygenated Fuels Dimethyl Carbonate (DMC) and Dibutyl Maleate (DBM) in a CI Engine, *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2013; 2, 10, 158-162.
- [37] C.S. Cheung, RuijunZhu, ZuohuaHuang, Investigation on the gaseous and particulate emissions of a compression ignition engine fueled with diesel-dimethyl carbonate blends, *Science of the Total Environment*, 2011; 409, 523-529.
- [38] Zhao, H., HCCI and CAI Engines for the Automotive Industry, Woodhead Publishing Ltd, 2007; Cambridge, UK.
- [39] Eng JA. Characterization of pressure waves in HCCI combustion, SAE Paper 2002-01-2859.
- [40] Polat S, Kannan K, Shahbakhti M, Uyumaz A, Yücesu HS. An Experimental study for the effects of supercharging on performance and combustion of an early direct injection HCCI engine. In: 2nd International Conference on Science, Technology, Engineering and Management, 2015; 3-4 July, Dubai.
- [41] Tsurushima T. A new skeletal PRF kinetic model for HCCI combustion. *Proc Combust Inst* 2009; 32:2835-41.
- [42] Amano T, Morimoto S, Kawabata Y. Modeling of the effect of air/fuel ratio and temperature distribution on hcci engines, *SAE Technical Paper 2001-01-1024*; 2001.
- [43] Sjöberg M, Edling L, Eliassen T, Magnusson L, Angström H, GDI HCCI: effects of injection timing and air swirl on fuel stratification, combustion and emissions formation. *SAE Technical Paper 2002-01-0106*; 2002.
- [44] Wildman C, Scaringe RJ, Cheng W. On the Maximum Pressure Rise Rate in Boosted HCCI Operation, SAE 2009.
- [45] Yelvington P, Green W. Prediction of the Knock Limit and Viable Operating Range for a Homogeneous-Charge Compression-Ignition (HCCI) Engine, *SAE Technical paper 2003-01-1092*; 2003.
- [46] Kumar N, Varun Chauhan SR. Performance and emission characteristics of biodiesel from different origins: a review. *Renew Sustain Energy Rev*, 2013; 21:633-58.
- [47] Devarajan Y. Experimental evaluation of combustion, emission and performance of research diesel engine fuelled Dimethyl-carbonate and biodiesel blends. *Atmos Pollut Res* 2019; 10(3):795-801.
- [48] Zhang J, Niu S, Zhang Y, et al. Experimental and modeling study of the auto-ignition of n-heptane/n-butanol mixtures. *Combust Flame* 2013; 160(1):31-9.
- [49] Chen G, Shen Y, Zhang Q, et al. Experimental study on combustion and emission characteristics of a diesel engine fueled with 2,5-dimethylfuran-diesel, n-butanol-diesel and gasoline-diesel blends. *Energy*, 2013; 54:333-42.
- [50] Lu XC, Yang JG, Zhang WG, Huang Z. Improving the combustion and emissions of direct injection compression ignition engines using oxygenated fuel additives combined with a cetane number improver. *Energy Fuels* 2005; 19:1879-88.
- [51] F, Yang W, Yu W, et al. Numerical study of soot particles from low temperature combustion of engine fueled with diesel fuel and unsaturated biodiesel fuels. *Appl Energy* 2018; 211:187-93.
- [52] Glaude PA, Pitz WI, Thomson MJ. Chemical kinetic modeling of dimethyl carbonate in an opposed-flow diffusion flame. *Proc Combust Inst* 2005; 30:1111-8.
- [53] Sun W, Yang B, Hansen N, Westbrook CK, Zhang F, Wang G, et al. An experimental and kinetic modeling study on dimethyl carbonate (DMC) pyrolysis and combustion. *Combust Flame* 2016; 164:224-38.
- [54] Soudagar, M.E.M., Nik-Ghazali, N.-N., Kalam, M.A., Badruddin, I., Banapurmath, N., Akram, N., The effect of nano-

additives in diesel-biodieselfuelblends: a comprehensive review on stability, engine performance and emission characteristics. *Energy Convers. Management* 2018;178, 146–177.