



Investigation of the effects of biodiesel obtained from canola on performance, emissions and combustion characteristics under the NEDC and steady state loads

Tolgahan Kaya*¹, Osman Akın Kutlar¹, Özgür Oğuz Taşkıran²

¹Department of Mechanical Engineering, İstanbul Technical University, İstanbul, 34469, Turkey

²Turkish Navy, Design Project Office, İstanbul, 34942, Turkey

Highlights:

- The use of biodiesel and diesel blends in cycle test
- Fuel properties of the blends of Canola Biodiesel and Diesel
- Legal exhaust emissions of the blends of Biodiesel and Diesel

Keywords:

- Biodiesel
- Emissions
- Ignition Delay
- Heat Release Rate
- New European Driving Cycle

Graphical/Tabular Abstract

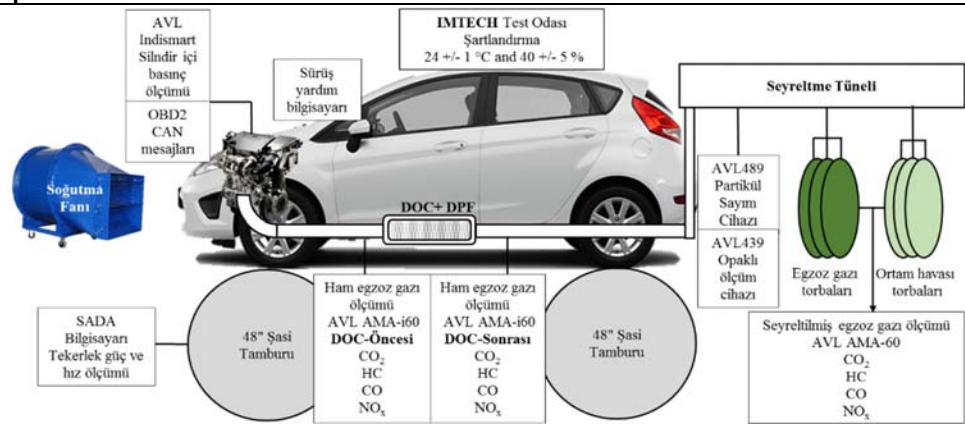


Figure A. Chassis dynamometer measurement system

Article Info:

Research Article
Received: 12.07.2018
Accepted: 01.02.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.443102

Acknowledgement:

Ministry of Development,
Project No:2015K121320

Correspondence:

Author: Tolgahan Kaya
e-mail:
tolgahankaya@itu.edu.tr
phone: +90 262 677 2774

Purpose: Alternative fuels are convenient substitutes to conventional fuels in the automotive industry which reduces emission based air pollution and dependency on use of conventional fuels. Owing to the stringent emission regulations introduced by the European Union (EU), the use of biodiesels, an alternative fuel, has become quite popular over the last decade. In this study, a two-phase experimental analyses were carried out to investigate the effects of biodiesel produced from canola oil (BD-CO) on emission and performance of diesel engines. In the first part, EURO-5 compliant diesel passenger car was tested under NEDC to investigate the effects of biodiesel on vehicle emissions and performance. In the second part, in order to examine the effect of biodiesel on combustion parameters, it was tested in engine partial and full load working conditions.

Theory and Methods:

The NEDC testing was conducted with diesel and four different biodiesel blends of diesel to investigate emissions of each phases of the NEDC. Experiments started with the NEDC testing. First, to drain fuel tank, vehicle was driven in the chassis dynamometer until the all fuel was depleted. Afterwards, vehicle was refueled with three liters of prepared test fuel. Cycle test was performed according to the UNECE R83. To eliminate the uncertainties resulting from ambient conditions and measurement devices, three sets of NEDC tests were performed for each fuel. Besides, in the second part steady state experiments were conducted at partial and full load working conditions of the engine. To achieve the same test conditions before taking the measurements, the engine was run for 15 minutes at 50 km/h in the 2nd gear of the vehicle to achieve engine coolant and exhaust temperature of 90°C and 200°C respectively. The emissions, power and in-cylinder pressure values were measured during the experiments.

Results:

Mixing the 10% biodiesel to the diesel has reduced the ignition delay by 2 crank angles and combustion has started 2 crank angles earlier compared to pure diesel. The 10% biodiesel additive improved HC, CO and soot emissions by 15%, but caused a 2% increase in fuel consumption due to its low calorific value. In addition, NO_x emissions increased by 4% with the blended biodiesel.

Conclusion:

The use of biodiesel should be encouraged to reduce toxic emissions and dependency to fossil fuels. CO, HC and PN emissions can be reduced with the use of biodiesel and exhaust aftertreatment equipment can be smaller and less expensive compared to usage of pure diesel.



Kanoladan elde edilen biyodizelin performansa, emisyonlara ve yanma karakteristiğine etkilerinin NEDC ve sabit motor yüklerinde incelenmesi

Tolgahan Kaya*¹, Osman Akın Kutlar¹, Özgür Oğuz Taşkiran²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makine Mühendisliği, 34469 Maslak İstanbul, Türkiye

²Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, Dizayn Proje Ofisi, 34942 Tuzla İstanbul, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Biyodizel ve Dizel yakıtı karışımlarının çevrim testlerinde kullanımı
- Kanola Biyodizeli - Dizel karışımlarının yakıt özellikleri
- Biyodizel katkılı dizel kullanımın yasal egzoz emisyonları

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 12.07.2018
Kabul: 01.02.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.443102

Anahtar Kelimeler:

Biyodizel,
emisyonlar,
tutuşma gecikmesi,
ısı yayılım oranı,
yeni avrupa sürüş çevrimi

ÖZET

Bu çalışmada EURO 5 emisyon standartlarını sağlayan 1,5 litrelik dizel motora sahip binek bir araç üzerinde biyodizelin emisyonlara, performansa ve yanma karakteristiğine olan etkilerini incelemek için şasi dinamometresinde deneyler yapılmıştır. Çalışma kapsamında kanola yağından elde edilen biyodizel ile harmanlanmış 4 farklı yakıt ve saf dizel kullanılmıştır. Deneyler esnasında egzoz emisyonları, araç üstü hata denetleme portu üzerinden motor sensor verileri, motorun ikinci silindirinden silindir içi basınç ve enjektör akım sinyali bilgileri sürekli olarak ölçülmüştür. Biyodizelin yanma karakteristiği üzerindeki etkisini inceleyebilmek için indikatör diyagramı kullanılarak ısı yayılım oranı, silindir içi ortalama sıcaklık, yanma başlangıç zamanı, tutuşma gecikmesi ve yanma süresi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre biyodizel katkılı yakıtın saf dizele göre daha düşük sıcaklık ve basınç altında tutuşmaya başladığı gözlemlenmiştir. Dizele biyodizel eklenmesi yanma tutuşma gecikmesini 2 krank mili açısı azaltmış ve püskürtülen yakıtın 2 krank mili açısı daha erken yanmaya başlamasını sağlamıştır. Ek olarak %10'luk biyodizel katkısı HC, CO ve kurum emisyonlarını %15 iyileştirmiştir, ancak düşük ısı değeri nedeniyle yakıt tüketiminde %2'lik artışa neden olmuştur. Ayrıca artan biyodizel miktarı ile NO_x emisyonlarında %4 kadar artış gözlemlenmiştir. Ek olarak Avrupa Birliğinde regülasyon testlerinde kullanılan yakıtın Türkiye'de kullanımda olan dizele kıyasla %4 oranında daha fazla biyodizel içermesi, Türkiye'de kullanılan Avrupa menşeli hafif ticari sınıf binek araçların tebliğ edilen CO, HC ve kurum emisyonlarına kıyasla %10'a kadar daha fazla emisyon saldığı bulunmuştur.

Investigation of the effects of biodiesel obtained from canola on performance, emissions and combustion characteristics under the NEDC and steady state loads

H I G H L I G H T S

- The use of biodiesel and diesel blends in cycle tests
- Fuel properties of the blends of Canola Biodiesel and Diesel
- Legal exhaust emissions of the blends of Biodiesel and Diesel

Article Info

Research Article
Received: 12.07.2018
Accepted: 01.02.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.443102

Keywords:

Biodiesel,
emisyonlar,
ignition delay,
heat release rate,
new european driving cycle

ABSTRACT

In this experimental study, the effects of biodiesel on emissions, performance and combustion characteristics on the passenger car, which provides EURO-5 emission standards with 1.5 liters of diesel engine, were investigated by performing tests on chassis dynamometer. 4 different blends of diesel and biodiesel and pure diesel were used at the experiments. Biodiesel used in the experiments were derive from canola oil. The exhaust emissions, engine sensors' data via the on-board error monitoring port, the in-cylinder pressure and injector current signal of the second cylinder of the engine were continuously measured during the experiments. In order to investigate the effects of biodiesel on the combustion characteristics, the heat release rate, average in-cylinder temperature, start of combustion, ignition delay and combustion duration were calculated by using the indicator diagram. According to the obtained results, biodiesel-added fuel ignites under lower temperature and pressure in-cylinder condition compared to pure diesel. Therefore, addition of biodiesel to diesel reduced the ignition delay duration 2 crank angle and injected fuel burned faster than diesel fuel. Besides, addition of 10% biodiesel additive has improved HC, CO and soot emissions 15%, however fuel consumption increased 2% due to biodiesel's lower calorific values than diesel. Moreover, up to 4% rise in NO_x emission were observed with increasing biodiesel blend ratio. In addition, it is found that the fuel used in the regulation tests in the European Union contains 4% more biodiesel compared to the diesel used in Türkiye, and it is found that the light commercial passenger vehicles used in Türkiye emit 10% more emissions compared to the declared CO, HC and soot emissions.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alternatif yakıtlar, otomotiv endüstrisi kaynaklı hava kirliliğinin ve konvansiyonel yakıtlara olan bağımlılığın azaltılabilmesi için geleneksel yakıtların yerini almaktadır. Avrupa Birliği (AB) tarafından yürürlüğe konulan sıkı emisyon düzenlemeleri nedeniyle, son on yılda alternatif bir yakıt olarak biyodizellerin kullanımı yaygınlaşmıştır [1, 2]. İlaveten, AB 2009/28 / EC yönergesi ile hacimce % 10'a kadar geleneksel dizellere alternatif yakıtların eklenmesine izin vererek biyodizellerin kullanımını teşvik etmektedir. Avrupa Birliğinde dizel hafif ticari araçların emisyon regülasyon testlerinde hacimce %7 biyodizel içeren dizelin kullanılması gerekmektedir. Ülkemizde ise 28067 sayılı "Motorin Türlerine İlişkin Teknik Düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ" ile 2016 yılından itibaren %3 oranında biyodizel kullanımı zorunlu hale getirilmiştir [3].

Biyodizellerin geleneksel benzerlerine kıyasla yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilmeleri, biyolojik olarak parçalanabilmeleri ve toksik olmamaları nedeniyle önemli faydaları vardır [4, 5]. Dahası, yüksek setan sayısı konvansiyonel dizellere kıyasla ateşleme gecikme süresinde (IDD) azalmaya neden olmaktadır [6]. Buna ek olarak, biyodizellerin kimyasal zincirinde yüksek oksijen moleküllerinin olması ve kimyasal bileşiminde aromatiklerin ve kükürdün olmaması parçacık emisyonunu azaltmakta ve daha temiz bir yanma elde edilmesine olanak sağlamaktadır [7-9]. Biyodizellerin belirtilen avantajlarının yanında bazı dezavantajları vardır; konvansiyonel dizellere göre daha yüksek viskoziteye sahiptirler, bu da daha az atomizasyona sebep olmaktadır. Ayrıca konvansiyonel dizellere göre kütlece daha fazla oksijen molekülleri bulunduklarından biyodizeller daha düşük enerji içeriğine sahiptir [10].

Biyodizellerin; bahsedilen faydaları nedeniyle sıkıştırma ateşlemeli motorlardaki gelişmelerini değerlendirmek için kapsamlı deneysel çalışmalar yapılmış, emisyon ve performans üzerindeki etkisine ilişkin önemli sonuçlar elde edilmiştir [11-15]. Daha önceki çalışmalar [12, 16-18], dizellere biyodizellerin eklenmesinin, özgül yakıt tüketiminde artışa ve düşük üst ısıl değer (ÜİD) nedeniyle yanma ısıl veriminde bir düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla biyodizel kullanımı motor gücünü azaltmakta ve yakıt tüketimini artırmaktadır. Diğer yandan, biyodizellerin dizellere kıyasla daha yüksek oksijen molekülü içermesi ve daha az aromatik bileşiklere sahip olması nedeniyle Hidrokarbon (HC), Karbon monoksit (CO) ve Partikül kütle (PM) emisyonlarını azalttığı gözlemlenmiştir [7, 14, 19]. Ayrıca, biyodizellerin daha yüksek oksijen molekülü içeriğine bağlı olarak, sıkıştırma ateşlemeli motorlarda kullanımının Nitrojen Oksit (NO_x) ve Karbon Dioksit (CO₂) emisyonlarını artırdığı bildirilmiştir [6, 13]. Literatürde, biyodizelin binek otomobillerin egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmak için çeşitli biyodizel-dizel karışım oranları ile Yeni Avrupa Sürüş

Çevrimi (NEDC) altında yapılmış çok sayıda deneysel veri bulunmaktadır [1, 10, 20-22]. M. Lopes vd. [21] ve L. Serrano vd. [10] biyodizel-dizel karışım oranının emisyonları ve yakıt tüketimini doğrudan etkilemediği sonucuna varmıştır. Ek olarak O. Armas vd. [20] tarafından yapılan incelemelerde NEDC test çevriminin şehir içi (UDC) ve şehir dışı (EUDC) fazlarında biyodizel oranının emisyonlara farklı etkileri olduğunu gözlemlenmiştir. UDC fazında dizelere göre biyodizel eklenmiş karışımların NO_x emisyonu daha düşük bulunmuştur. Ancak EUDC'de biyodizel eklenmiş karışımların NO_x emisyonu saf dizel yakıtlı teste kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Benzer şekilde, biyodizel harmanlanmış yakıtın UDC'de sebep olduğu yakıt tüketim artışı, EUDC'deki artışa kıyasla daha fazladır. Bu sebeplerden, O. Armas vd. EUDC'nin UDC'den daha düşük yük koşullarının farklı emisyon tutumlarına neden olduğunu belirtmektedir.

NEDC çevrimine ek olarak, sabit motor çalışma noktasında da biyodizelin güç, emisyon ve yanma üzerine olan etkilerinin incelendiği görülmektedir [2, 13, 23]. Bu çalışmalarda esas olarak yanma mekanizmalarının detaylarına odaklanılmıştır. Imtenan vd. [24] NO_x emisyonunun biyodizelden ziyade kimyasal kinetik mekanizmaya ve yanma fazına daha fazla bağımlı olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca Imtenan vd. biyodizelin dizelden daha kısa tutuşma gecikme periyoduna sahip olması ve oksijen içeriğinin daha fazla olması sayesinde daha fazla Egzoz Gazı Gerikazanım miktarı (EGR) kullanılmasını mümkün kıldığı ve bu sayede düşük yük koşullarında emisyon azaltımı için daha etkin kullanılabildiği sonucuna da ulaşmışlardır [24].

Biyodizelin etkilerinin incelendiği deneysel çalışmalarda standartlara uygun biyodizel üretimine imkan sağladığı için kanola, soya fasulyesi, palmye, ayçiçeği ve aspir gibi çok çeşitli bitkisel yağlar kullanılmaktadır. Ülkelerin coğrafi konumlarına göre ve biyodizel elde etmek için gerekli prosesin maliyetine göre kullandıkları bitkisel yağ değişmektedir [23]. Ülkemizde kanola, soya, ayçiçeği, aspir ve yerfıstığı yüksek bitki verimine sahip olduğundan üretimi teşvik edilmektedir. Kanola Avrupa Birliğinde biyodizel üretiminde en çok kullanılan bitkidir [23, 25]. Ülkemizde de verilen teşvik, standartlara uygun biyodizelin daha kolay elde edilmesi ve biyodizel üretim veriminin diğer bitkilerden yüksek olmasından dolayı kanola üretimi yıllar içinde artmıştır. 2016 itibarı ile ülkemizde en büyük ekili alanı olan yağlı bitki kanoladır [26].

Literatürde farklı bitkilerden elde edilmiş biyodizeller ile yapılmış çok sayıda deneysel çalışma bulunmaktadır. Çalışmaların çoğunda, alternatif yakıtların kimyasal ve fiziksel özelliklerine odaklanarak, biyodizellerin emisyon, performans ve yanma karakteristiği üzerine olan etkileri ortaya koyulmuştur. Fakat literatürde kanoladan elde edilen biyodizelin regülasyon çevrim testlerine olan etkisinin incelendiği kısıtlı deneysel veri bulunmaktadır. Hem de AB regülasyon testlerinde ülkemizde kullanımda olan yakıtlara

kıyasla hacimce % 4 daha fazla biyodizel içeren dizel kullanılmaktadır. Yapılan deneysel inceleme sonucu ülkemizdeki AB regülasyonuna göre limitleri sağlayıp satılan araçların çevreye olan gerçek etkisi de değerlendirilebilecektir. Ek olarak dizel yakıtına biyodizel eklenmesinin kısmi ve yüksek yük koşullarında yanma parametrelerine olan etkileri incelenmiştir.

Bu çalışmada, kanola yağından üretilen biyodizelin emisyon ve dizel motorların performansına etkisini araştırmak için farklı biyodizel-dizel karışım oranları ile iki aşamalı deneysel analiz yapılmıştır. İlk bölümde, biyodizelin aracın emisyonu ve performansı üzerindeki etkilerini araştırmak için NEDC çevrim testleri yapılarak EURO-5 uyumlu dizel binek araç test edilmiştir. İkinci bölümde ise, biyodizelin yanma parametreleri üzerindeki etkisini inceleyebilmek için motor kısmı ve tam yük çalışma bölgelerinde test edilmiştir.

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. Test Aracı (Test Vehicle)

Çevrim, kısmi ve tam yük testleri 1,5 litre dizel motoru olan 2014 model binek bir araç üzerinde şasi dinamometresinde yapılmıştır. Emisyon ve silindir içi basınç ölçümleri için özel enstrumante edilen dizel motorda yüksek basınç ortak hat yakıt püskürtme sistemi, soğutulmuş Egzoz gazı geri kazanımı (EGR) ve ara-soğutucusuz turboşarj bulunmaktadır. EURO-5 emisyon standartlarını sağlayan aracın egzoz sisteminde dizel oksidasyon katalizörü (DOC) ve dizel partikül filtresi (DPF) bulunmaktadır. Tablo 1'de test edilen 1,5 litre dizel motorun detay bilgileri verilmiştir.

2.2. Test Yakıtı (Test Fuel)

Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti, sırasıyla EN590 ve EN14214 standartlarına uygun dizel ve biyodizellerin kullanımına izin vermektedir. Deneyler için gerekli olan dizel yakıtı, Shell benzin istasyonlarından birinden satın alınmıştır. Kanola yağından üretilen saf biyodizel, İzmir'de "DB Tarımsal Enerji" Şirketi'nden tedarik edilmiştir. Dizel ve biyodizelin farklı volümetrik oranlarıyla dört tane değişik

karışım hazırlanmış ve karışımlar için B-XX adlandırma sistematığı kullanılmıştır. Burada XX hacimsel olarak karışım içindeki biyodizelin miktarını göstermektedir.

Tablo 1. Test aracı ve 1,5 litre dizel motorunun özellikleri (Properties of the test vehicle and its 1.5 liter diesel engine)

Motor Tipi	Ford Fiesta 1.5 TDCi
En yüksek güç	75 hp @4000 d/d
En yüksek tork	185 Nm @1700 d/d
Hacim	1498 cc
Silindir Çapı/Kurs Boyu	73,5/88 mm
Sıkıştırma Oranı	16
Silindir Sayısı / Supap Sayısı	4/8
Araç Ağırlığı	1169 kg

Çalışmada B00, B05, B10, B20 ve B30 yakıtları kullanılmıştır. Her bir test yakıtının fiziksel ve kimyasallar özellikleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Enerji Enstitüsü'nün yakıt analiz laboratuvarında 2 litre yakıt numunesi analiz edilerek belirlenmiştir. Saf biyodizelin analiz sonuçları DB Tarımsal Enerji Şirketi'nden alınmıştır. Tüm test yakıtlarının fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Biyodizel ile dizel benzer özelliklere sahip olmasına rağmen, Tablo 2 farklılıkları özetlemektedir. Saf biyodizelin (B100) yoğunluğu, viskozitesi, yağlama özelliği ve parlama noktası sıcaklığı saf dizelden (B00) daha yüksektir; diğer yandan, B00'in ÜID değeri B100'den daha yüksektir.

Biyodizel ve dizelin fiziksel özelliklerine ek olarak moleküler formülleri de farklıdır. Heywood [27] dizelin kimyasal formülünü $C_nH_{1,8n}$ olarak göstermiştir. Bermudez vd. [7], Ozener vd. [13], ve Salamanca vd. [28] çalışmalarında dizel için benzer moleküler formül kullanmıştır, ancak biyodizelin moleküler formülünü sırasıyla $C_{18,3}H_{34}O_2$, $C_{18,74}H_{34,51}O_2$ ve $C_{18,05}H_{34,9}O_2$ olarak belirlemişlerdir. Bermudez vd. biyodizelin oksijen molekül ağırlığının toplam molekül ağırlığına oranının Palmiye, Soya ve Kanoladan elde edilen biyodizeller de %11'den fazla olduğunu hesaplamıştır [7]. Diğer araştırmacılar ise kullandıkları biyodizellerin ağırlıkça oksijen oranının %10'den fazla olduğunu belirtmiştir [13, 20, 29], bu nedenle

Tablo 2. Test yakıtlarının fiziksel özellikleri (Physical properties of test fuels)

Özellik	Birim	EN590 limiti	B00	B05	B10	B20	B30	B100
Yoğunluk	kg/m ³	820-845	831,8	834,4	837,0	842,2	847,4	883,7
Vizkozite	mm ² /s	2,00-4,50	2,88	2,96	3,03	3,17	3,21	4,32
Üst Isıl Değer (ÜID)	cal/g	-	11074	10990	10922	10765	10613	9537
Yağ Asidi Metil Esteri	% (v/v)	<7	<0,05	4,95	10,20	20,30	30,15	-
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	°C	-15 (Kış)	-14,2	-13,4	-12,9	-11,3	-12	-3
Karbon Kalıntısı	%(m/m)	0,30	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	-
Sülfür	mg/kg	<10	7,2	6,7	6,6	6,0	5,8	1,54
Parlama Noktası	°C	>55	58,5	59,5	61	62,5	66,5	184
Setan Sayısı	-	>51	55,0	54,9	55,4	55,2	55,1	51,2
Yağlama	µm	<460	406	371	332	255	187	-

biyodizelin oksijen içeriği dizelden daha zengindir ve aynı miktar yakıt için yanma daha fakir koşullarda gerçekleşir [13, 20, 29, 30].

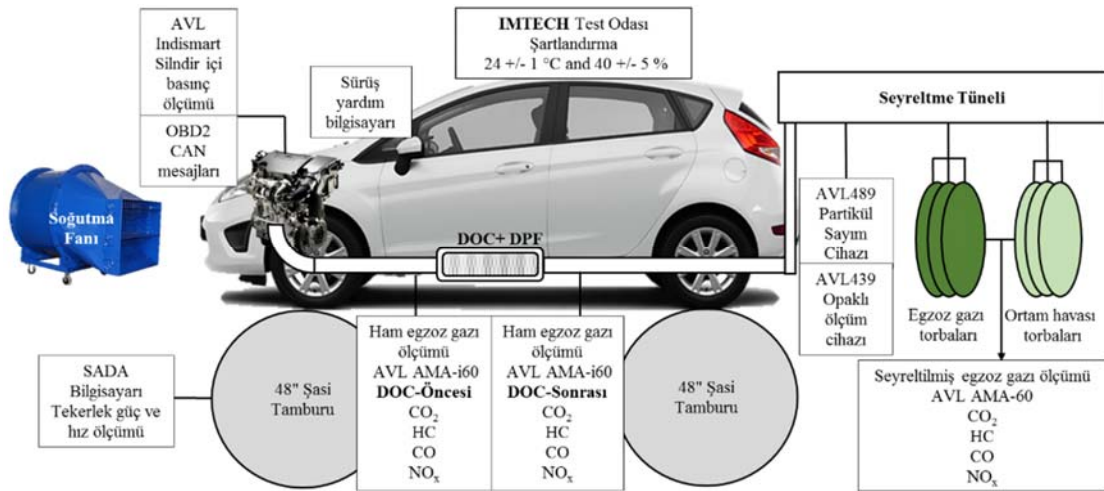
2.3. Deneysel Düzeneği (Experimental Setup)

Bu çalışmanın deneyleri, TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsünün iklimatik çift akslı şasi dinamometresinde gerçekleştirilmiştir. Şasi dinamometresi, her bir aksındaki 220 kW gücündeki elektrik motorları ile test aracını frenleyebilmekte veya ivmelendirebilmektedir. Şasi dinamometresinde emisyon ve güç ölçümü için bulunan cihazlar ve sistemler Şekil 1'de gösterilmiştir (Seyreltme tüneli, sabit hacim örnekleyici, AVL AMA-i60 seyreltik ve ham egzoz gazı ölçüm analizörleri, AVL partikül sayım cihazı, AVL opaklık ölçüm cihazı, IMTECH test hücresi sıcaklığı ve nem kontrol sistemi, SADA tekerlek gücü ve hızı ölçüm bilgisayarı, ve sürüş yardım bilgisayarı).

Sürücü çevrim bilgisayarı zaman ölçeğinde mevcut ve hedef araç hızlarını göstererek sürücünün çevrim hızını doğru takip etmesine yardımcı olmuştur. Aracın güç, kuvvet ve hızı şasi dinamometresinin bilgisayarı ile ölçülmüştür. Ayrıca, UNECE R83'de "simüle edilmiş atalet ve dyno yüklem gereksinimleri" tablosundan seçilen yavaşlama katsayıları şasi dinamometresinin bilgisayarından uygulanmıştır. Şasi dinamometresinin sıcaklığı ve nemi, Imtech iklimlendirme sistemi ile kontrol edilmiştir. Tüm testler 24 +/- 1 °C sıcaklıkta ve %40 +/- 5 bağıl nemde yapılmıştır. UNECE R83 yönetmeliğine göre NEDC emisyon ölçümü için yapılan seyreltilmiş emisyon ölçümünün yanı sıra, anlık motor davranışlarına göre emisyon değişimini gözlemleyebilmek için, DOC öncesinde ve sonrasında ham CO, HC, NO_x ve CO₂'nin emisyonları AVL-AMA-i60 ham egzoz gazı analizörleri ile ölçülmüştür. Eylül 2014'ten sonra EURO-5b emisyon regülasyonu ile uygulamaya başlanan Partikül Sayısı (PN) emisyon limiti de NEDC çevrim testlerinde AVL-489 dizel partikül sayım cihazı ile ölçülmüştür. AB düzenlemeleri gereği Orijinal Ekipman Üreticileri (OEM) araç sensörlerinin verilerini standartlaştırılmış kimlik bilgisi

ile Araç-üstü Hata Tanımlama (OBD) portundan Denetleyici Alan Ağı (CAN) mesajı formatında paylaşmaktadır. Test edilen araçta da standart olarak bulunan OBD bağlantısı vasıtasıyla dizel motorunda bulunan sensörlerin (araç hızı, motor hızı, manifold basıncı (MAP), hava miktarı (MAF), egzoz gazı geri dönüş vana pozisyonu, DPF öncesi (TPDF) ve sonrası sıcaklık, DPF öncesi basıncı (PDPF), batarya voltajı (BattV), gaz pedal pozisyonu (GPP), yakıt enjeksiyon basıncı (FuelP), motor suyu sıcaklığı (ECT) verileri 2 Hz frekansla toplanabilmektedir.

Kısmi ve tam yük testlerinde motor sensör ve aktüatörler Bosch MS15.1 kontrol ünitesi üzerinden ayarlanarak farklı yakıtların aynı motor koşullarındaki testlerinde motor parametrelerinin aynı olması sağlanmıştır. Silindir gönderilen yakıtın miktarı, püskürtme basıncı, enjeksiyon zamanlaması, manifold basıncı, EGR miktarı kontrol ünitesi üzerinden ayarlanarak farklı yakıtların testlerinde aynı değerde tutulmuştur. Motorun çevresel koşullarının da sonuçları etkilememesi için aynı şartlarda olması sağlanmıştır. Test odasının sıcaklığı ve nemine ek olarak, motor suyu sıcaklığı, aracın egzoz sistemindeki DPF'in doluluğu, batarya voltajı aynı koşullara getirilmiştir. Egzoz koşulları ve motor suyu sıcaklığını aynı şartlara getirmek için her teste başlamadan önce literatürdeki benzer çalışmalarda ki yöntem uygulanarak [7], motor 2500 d/d, 20 kW çalışma noktasında 10 dakika çalıştırılmıştır. Motor parametreleri ve çevresel parametrelerin değişimi testler süresince kayıt edilmiştir ve farklılık olması durumunda testler tekrar edilmiştir. Ayrıca, biyodizel karışımlarının yanma karakteristikleri üzerindeki etkilerini analiz edilebilmek için motorun ikinci silindirden krank mili açısına (KMA) bağlı anlık silindir içi basıncı verisi ölçülmüştür. Motorun ikinci silindirinde bulunan kızdırma bujisi yerine AVL GH13P model piezo silindir içi basıncı sensörü takılmıştır. Ek olarak, yakıt püskürtülmesi esnasında enjektöre uygulanan akımı ölçmek için ikinci silindirin enjektörüne Fluke 600 akım kelepçesi yerleştirilmiştir. KMA ölçülmesi için motorda bulunan krank mili sensörü kullanılmıştır. Silindir içi basıncı ve enjektör akımı ölçümleri



Şekil 1. Şasi dinamometresi ölçüm sistemi (Chassis dynamometer measurement system)

AVL Indismart-612 amplifikatörü ile KMA'ya göre toplanmıştır. Deneyler esnasında yapılan tüm ölçümler, ölçümlerin alındığı cihazlar ve hassasiyetleri Tablo 3'te gösterilmektedir.

2.4. Deneysel Çalışma (Experimental Study)

NEDC ve tam yük koşullarında emisyonların biyodizelle göre değişimini araştırmak için saf dizel ve dört farklı biyodizel-dizel karışımı ile testler yapılmıştır. Deneyler NEDC testi ile başlamıştır. İlk olarak, yakıt deposunu ve filtresini tamamen boşaltabilmek için, aracın yakıtı tükenene kadar şasi dinamometresinde sürülmüştür. Daha sonra, üç litre test yakıtı doldurulmuştur ve araç NEDC testinden önce 8 saat koşullandırma odasında şartlandırılmıştır. Aracın 12 Volt yardımcı sistemler aküsü şartlandırma esnasında şarj edilmiş ve lastik basıncı 30 PSI olarak ayarlanmıştır. Şartlandırma sonrası (aracın soğutma suyu, yağı ve tüm parçaları 24 °C'ye geldikten sonra), UNECE R83'te açıklandığı gibi, motora marş yaptırılmadan araç şasi dinamometresine yerleştirilmiştir. Tüm NEDC deneylerinde dış etkilerin test sonuçlarına olan etkisini en aza indirebilmek için aynı sürücü ile ve aynı koşullar altında testler gerçekleştirilmiştir. Regülasyona uygun olarak testlerde aracın hızı 1 saniyeden uzun süre çevrimin hedef hızından ± 1 km/h sapmamıştır. Regülasyon 1 saniyeden kısa süreli de en fazla 10 hata yapılmasına izin vermektedir. Tüm çevrim testleri tecrübeli şoförler sayesinde regülasyona uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her yakıtla arka arkaya üç NEDC testi yapılmıştır. Sonuçları ortam şartları ve ölçüm cihazlarından kaynaklı belirsizliklerden arındırmak için her bir yakıt için hatasız üç farklı set NEDC testi yapılmıştır. Deneylere B00 yakıtı ile başlamış ve sırasıyla B05, B10, B20 ve B30 yakıtları ile devam edilmiştir.

NEDC testlerinden sonra, kısmi yük deneyleri gerçekleştirilmiştir. NEDC çevrimi süresince motorun en çok çalıştığı motor devri ve güç bölgesi belirlenmiştir.

Motorun uzun süre çalıştığı bölgeler seçilirken literatürdeki çalışmalara benzer bir yöntem izlenerek [31-35], test süresince motorun çalıştığı devir ve yük bilgisi incelenmiştir. En çok tekrar eden bölgeden 4 tane kısmi yük çalışma noktası seçilmiştir. Seçilen noktalar test süresince aracın çalıştığı sabit seyir hızlarındaki motor hızlarına da denk gelmiştir. Ancak farklı yakıtlarda farklı zamanlarda yapılan testlerde motorun çevresel koşullarının aynı olması için testler öncesi motor suyu ve egzozun ısıtılması için motor 2500 d/d, 20 kW çalışma noktasında 10 dakika çalıştırılmıştır. DPF basıncı, egzoz ve motor suyu sıcaklığı aynı değere geldikten sonra motor çalışma parametreleri ayarlanarak farklı motor devirlerinin testleri gerçekleştirilmiştir. Testler ilk B00 sonra B30 yakıtı ile gerçekleştirilmiştir.

Kısmi yük testinden sonra, tam yük deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şasi dinamometresinin elektrik motorlarını kontrol eden Sada bilgisayarının sabit hız çalışma modu kullanılarak motor devri sabitlenmiş ve tam gaz pedali pozisyonunda oluşan güç ölçülerek testler gerçekleştirilmiştir. Sabit hızda çalışma modu, silindirlerdeki bağlı AC elektrik motorlarının yardımı ile aracın hızını, aracın hızlanma pedalı konumundan (APP) bağımsız tutmaya izin verir. Motor devri, sırasıyla 4000, 3500, 3000, 2500 ve 2000 d/d motor hızlarına karşılık gelen, aracın üçüncü vitesteki 102,8, 90,0, 77,1, 64,3 ve 51,4 km/s'lik hızlarına ayarlanmıştır. Deney düzeneği başlığında anlatıldığı gibi testler süresince motor parametreleri kontrol edilerek aynı değerlerde olması sağlanmıştır. Sonuçlar bölümünde motor sensör verileri paylaşılmıştır. Tam yük noktası deneyleri hem düşük motor hızından yüksek motor hızına (2000 d/d'dan 4000 d/d'ya), hem de yüksek motor hızından düşük motor hızına (4000 d/d'dan 2000 d/d'ya) doğru gerçekleştirilmiştir. Her çalışma noktasında, sabit çalışma koşulları oluştuktan sonra 90 saniyelik kayıt alınmıştır. Aynı prosedür diğer yakıt karışımları için de (B05, B10, B20, ve B30) sırayla uygulanmıştır.

Tablo 3. Deneysel ölçüm yapılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri (Experimental measurement devices and their accuracy)

Emisyonlar	Ölçülen Cihaz	Kaynak	Hassasiyet
Güç	Zöllner fren yük sensörü	Hassasiyet	$\pm 0,02$
Araç ve Motor hızı	Artırımsal Enkoder	Hassasiyet	$\pm 0,1$
Silindir için basınç	AVL Indismart612	Hassasiyette kararlılık	$< 0,2$
Gaz kolu kontrol	AC Servo motor	Hassasiyet	$\pm 0,01$
Püskürtme avansı, Püskürtme miktarı	AVL Indismart612 Artırımsal Enkoder	Sistem doğruluğu	$\pm 0,1$ KMA
Yakıt Basıncı	Delphi marka basınç sensörü	Doğrulukta hata payı	$\leq \pm 1$
Motor suyu sıcaklığı	TCK sıcaklık sensörü	Doğruluk	$\leq \pm 1$
Batarya Voltajı	Gerilim sensörü	Hassasiyet	$\pm 0,01$
NO _x	AMA-i60	Kemilüminesans Detektörü	$\pm 1\%$
THC	AMA-i60	Alev iyonlaştırma detektörü	$\pm 0,5\%$
CO ₂	AMA-i60	Dağıtımsız kızılötesi ışınları	$\pm 0,5\%$
CO	AMA-i60	Dağıtımsız kızılötesi ışınları	$\pm 0,5\%$
Partikül Sayısı	AVL Partikül Sayım Cihazı	Lazer ışınması	1cm ⁻³ için $\pm 10\%$
Opaklık (k)	AVL Opaklık Ölçüm Cihazı	Elektromanyetik radyasyon	$\pm 0,0025$ m ⁻¹

2.5. Hesaplama Yöntemi (Calculation Method)

NEDC çevrim testlerinde egzoz ölçümü hem seyreltilmiş olarak torbalardan hem de ham olarak egzoz üzerindeki enstrümanede edilen ölçüm noktalarından yapılmıştır. AVL IGEM sistemi ECE-R83'te belirtilen formülasyona uygun olarak toplam emisyonları seyreltiliş ölçümden hesaplanmaktadır. Seyreltilmiş ölçüme ek olarak, ppm cinsinden ölçülen anlık ham NO_x, CO₂, HC ve CO egzoz emisyonlarının g/h ve g/kWh cinsinden değerleri ECE R49'da tanımlanan Eş. 1'e göre hesaplanmıştır. Eşitlikteki u değeri, ECE R49'da yakıt ve gaz tipine göre tablo olarak verilmiştir. C, q, f ve n değişkenleri de sırasıyla, egzoz gazı (ppm) içindeki bileşenin anlık yoğunluğunu, anlık egzoz gazı debisi (kg/h), veri örnekleme frekansını (Hz) ve ölçüm sayısını göstermektedir. Egzoz gazı debisi (q), OBD portundan okunan motor tarafından emilen hava debisi ve toplam enjekte edilen yakıt miktarının toplanması ile hesaplanmaktadır.

NEDC ve sabit seyir hızında elde edilen ölçüm değerlerin istatistiksel analizi, ham emisyon ve güç ölçümleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. NEDC testlerinde emisyon ölçümlerinde %5'ten fazla değişim sonucu çıkması durumunda test tekrar edilmiştir, bu sayede tüm yakıtlar ile yapılan 3 farklı set testin sonuçlarının standart sapmasının ortalama ölçüm sonuçlarının %2'sinden büyük olmaması sağlanmıştır.

$$m_{gas} = u_{gas} \times \sum_{i=1}^{i=n} c_{gas,i} \times q_{mew,i} \times \frac{1}{f} \left(in \frac{g}{test} \right) \quad (1)$$

Egzoz emisyonlarına ek olarak, kısmi ve tam yük deneylerinin yanma parametreleri silindir içi basınç verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Anlık ısı transferi Eş. 2 kullanılarak hesaplanmıştır [27]. Eşitlikteki i kayıt esnasındaki KMA ölçüm aralığını, κ ise; sabit basınçtaki ısı kapasitesinin (c_p) sabit hacimdeki ısı kapasitesine (c_v) bölünmesiyle (c_p/c_v) bulunmuştur. P ve V sırasıyla KMA'ya göre silindir içi basınç ve hacim değeridir.

$$Q_i = \frac{1}{\kappa - 1} \times (\kappa \times P_i \times (V_{i+1} - V_{i-1}) + V_i \times (P_{i+1} - P_{i-1})) \quad (2)$$

Yanma başlangıcı anındaki sıcaklık ve silindir içindeki ortalama en yüksek sıcaklık bilgilerini incelemek için de Eş. 3 kullanılarak silindir içi sıcaklık bilgisi AVL Indicom programı aracılığı ile hesaplanmıştır. Eşitlikteki P_i ve V_i KMA'ya göre silindir içi basınç ve hacimdir. Volümetrik verim değeri l ile tanımlanmıştır. V_h toplam motor hacmini göstermektedir. P_s ve T_s emme manifoldundaki basınç ve sıcaklık değeridir, R ise evrensel gaz sabitidir.

$$T_i = \frac{P_i \times V_i}{m \times R} = \frac{P_i \times V_i}{l \times V_h \times \frac{P_s}{R \times T_s}} \quad (3)$$

$$\left(\frac{R}{\left(1 + \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i \times 28}{P_s} \right)} \right)$$

Eş. 2'ye göre hesaplanan ısı yayılım oranının (ROHR), üst ölü noktanın 60 KMA öncesi ve 90 KMA sonrası arasında integrali alınarak toplam ısı yayılımı hesaplanmıştır. Yanmanın başlangıç zamanı (SOC) literatürdeki çalışmalara benzer şekilde [36] ROHR'nin pozitif hale geldiği motorun krank açısı olarak belirlenmiştir. Tutuşma gecikmesi (IDD) son püskürtme zamanı ile SOC arasında kalan KMA açısı olarak belirlenmiştir [37]. Silindir içine püskürtülen yakıtın yanan miktarının oranı (MBF) ısı yayılımının integralinden hesaplanmıştır. MBF5, MBF10, MBF50 ve MBF90 değerleri sırasıyla yakıtın %5, 10, 50 ve 90'ının yandığı KMA göstermektedir. Silindir içine gönderilen yakıtın yanması için gerekli olan KMA cinsinden yanma süresi (CD) MBF90 ve MBF10 arasındaki KMA bulunarak belirlenmiştir [37, 38].

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Deney sonuçları hem test aracının hem de laboratuvarın koşullarından etkilendiği bilinmektedir. Brace [39] yaptığı deneysel şasi dinamometresi çalışmasında, sonuçlara etkisi olabilecek test faktörlerini incelemiş ve batarya şarj durumu, motor yağı seviyesi, pedal hassasiyeti, araç hızlanması, araç hızı, soğutma fan hızı, lastik tipi, lastik basıncı ve araç ağırlığının sonuçlara önemli etkilerinin bulunduğunu tespit etmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerin hepsinde aynı test aracı kullanıldığı için lastik tipi ve araç ağırlığı değişmemiştir. Motor yağı seviyesi, lastik basıncı ve akü şarj durumunun test öncesi test operatörü tarafından kontrol edilerek ve belirlenen referans değerinde olması için gerekli düzenleme yapılarak testlere başlanması sağlanmış ve sonuçların üzerindeki etkisi ortadan kaldırılmıştır. Şasi dinamometresi kontrol sisteminin sensörleri ile araç hizalaması, araç hızı ve soğutma fan hızı hassas olarak kontrol edilmiştir. Gaz pedal pozisyonunun etkisini en aza indirmek için tüm deneyler aynı sürücü tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu parametrelere ek olarak, tüm deneylerde OBD aracılığı ile motor sensörlerinin aynı değerinde olduğu gözlemlenmiştir. B00, B05, B10, B20 ve B30 yakıtları ile gerçekleştirilen NEDC deneyleri sırasında kayıt edilen araç motor hızı, gaz pedal pozisyonu, akü voltajı ve motor soğutma suyu sıcaklığı bilgileri Şekil 2'de gösterilmektedir. Tüm yakıtların testlerinde araç hızı AB regülasyonu tarafından tanımlanan ihlal şartlarına uygun gerçekleştirilmiş ve Şekil 2'de gösterildiği gibi tüm testler aynı şartlar altında yapılabilmektedir. Testlerde vites değiştirme, debriyaj basma anında farklılık görülmüştür. Araç hızında 1km/h'den yüksek fark görülmesi de motor devrinde özellikle vites geçişlerinde 300 d/d varan farklar gözlemlenmiştir.

İlk olarak biyodizelin NEDC çevrimi ve fazlarındaki CO₂, NO_x, HC, CO ve PN emisyonlarına olan etkisi incelenmiştir. Sonrasında biyodizelin kısmi yüklerdeki emisyonlara ve yanma karakterizasyonuna olan etkisi incelenmiştir. En son kısımda ise biyodizelin tam yükte yanma parametrelerine olan etkisi gösterilmiştir.

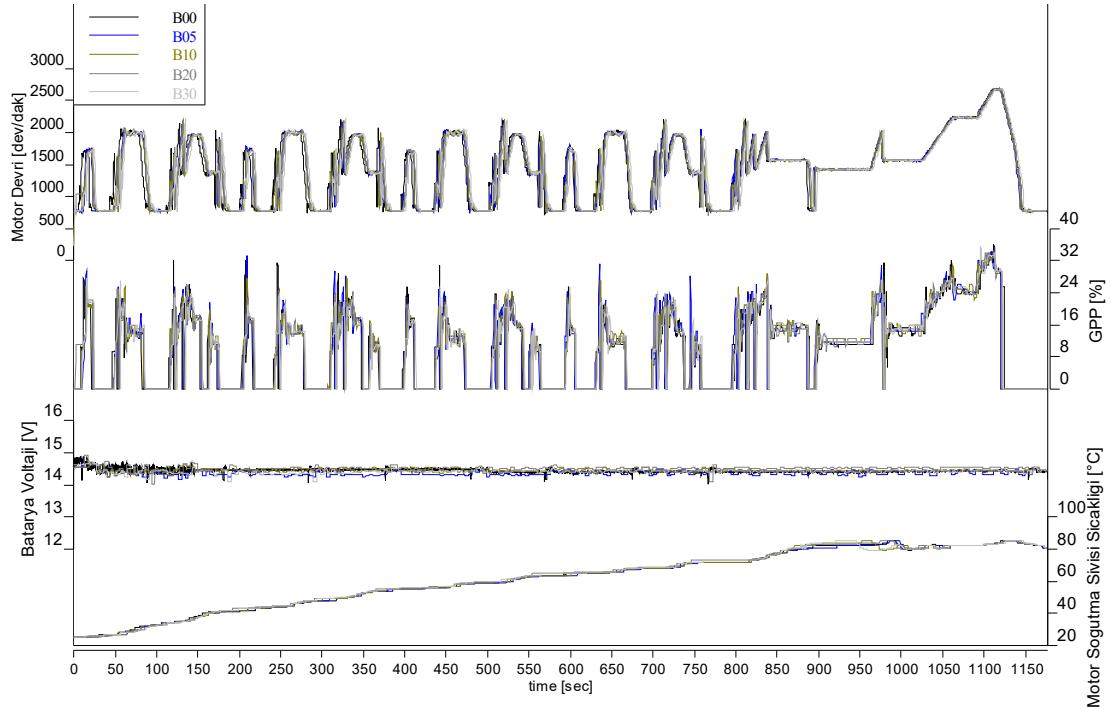
Biyodizelin NEDC testlerinde emisyon ve yakıt tüketimi üzerindeki etkisi Tablo 4’de gösterilmiştir. EURO-5 emisyon standartlarına uygun olan test aracının beklendiği üzere emisyonları EURO-5 limitleri altında çıkmıştır. Tablo 5’ten de görüleceği üzere, biyodizel eklentisi ile aracın NO_x harici diğer emisyonları EURO-6 limitlerini sağlayabilmiştir.

3.1. CO₂ Emisyonu ve Yakıt Tüketimi (CO₂ Emission and Fuel Consumption)

Biyodizelin çevreye olan olumlu etkisi nedeniyle CO₂ emisyonu üzerindeki tesiri ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır ve dizele biyodizelin eklenmesinin hem CO₂ emisyonunu artıran hem de azaltan araştırma sonuçları literatürde bulunmaktadır [11, 19]. Araştırmaların bir kısmı CO₂’daki artışı biyodizelin moleküler formülünde %11 oranında bulunan oksijen moleküllerine ve yanma reaksiyonun tamamlanma yüzdesinin daha fazla olması ile ilişkilendirmiştir [16, 17]. Diğer birçok çalışmada ise,

biyodizelin dizelden daha düşük karbon-hidrojen oranına sahip olmasının daha düşük CO₂ emisyonu salınımı sağladığı belirtilmektedir [19].

Literatürde incelenen çalışmalara benzer şekilde [11, 16, 19], CO₂ emisyonu değişimi Şekil 3’te gösterildiği üzere biyodizel karışım miktarı ile direk orantılı bir değişim göstermemiştir. Tüm şekillerde en açık mavi renk tonu saf dizel (B00) için kullanılmıştır, biyodizelin oranının artmasına göre mavinin tonu koyulaştırılmıştır, en koyu mavi renk tonu B30 için kullanılmıştır. Yüksek hızlarda geçen ve hız değişimi az olan EUDC çevriminde biyodizel miktarının artması ile CO₂ emisyonu çok az artmış, neredeyse aynı kalmıştır. Düşük hızlarda geçen UDC çevriminde ise biyodizel miktarının artması ile belirgin olarak CO₂ emisyonu artmıştır. B30 testlerinde B00 kıyasla UDC’de %7 toplamda ise %4 daha fazla CO₂ emisyonu salınmıştır. Biyodizelin molekül yapısındaki oksijen atomları yanmanın saf dizele kıyasla daha fakir bir ortamda gerçekleşmesini sağlar. Yanma odasındaki fazla oksijen, yanmanın erken



Şekil 2. NEDC Deneylerinde Gözlemlenen Motor Hızı, Gaz Pedal Pozisyonu (GPP), Akü Voltajı ve Motor Soğutma Sıvısı Sıcaklığı (Engine Speed, Acceleration Pedal Position, Battery Voltage and Coolant Temperature of NEDC experiments)

Tablo 4. B00, B05, B10, B20 ve B30 yakıtlarının NEDC sonuçları (Results of the NEDC with B00, B05, B10, B20 and B30)

Bxx	CO	NO _x	HC	HC+NO _x	PN	CO ₂	Yakıt Tüketimi [l/100 km]		
	mg/km	mg/km	mg/km	mg/km	p/km	g/km	NEDC	UDC	EUDC
EURO-5	500	180	-	230	-	-	-	-	-
EURO-6	500	80	-	170	6,0E+11	-	-	-	-
B00	363,4	122,6	54,4	176,9	1,4E+11	116,6	4,38	5,0	4,01
B05	362,2	122,0	51,9	174,0	1,3E+11	117,1	4,40	5,07	4,03
B10	273,0	123,5	44,1	167,6	1,2E+08	119,0	4,47	5,22	4,04
B20	275,5	124,3	47,6	171,9	1,9E+09	120,2	4,51	5,24	4,09
B30	240,6	125,1	36,5	161,6	3,7E+08	120,6	4,53	5,32	4,06

başlamasını sağlar ve yanma sıcaklıkları daha erken artar. Aynı zamanda yakıt zincirindeki karbon ve hidrojen atomları yüksek oksijenin bulunduğu yanma odasında oksijen atomları ile daha kolay reaksiyona girebilir. CO molekülleri CO₂'ya daha hızlı ve kolay dönüştüğü için CO emisyonunda azalış gözlemlenirken, CO₂ emisyonunda artış gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar NEDC çevriminde ve düşük motor yükü koşullarında biyodizel etkisinin incelendiği deneysel çalışmalara benzer çıkmıştır. Lopes ve arkadaşlarının [21] yaptığı çalışmada CO₂ emisyonu B7 kullanımı ile 113 gr/km'den 117 gr/km'ye çıkmıştır.

Ek olarak, biyodizel yüzdesinin artması ile artan yakıt tüketimi, biyodizelin dizele kıyasla daha düşük ÜID'e sahip olması ile açıklanabilir. Daha düşük ÜID'e sahip olmanın yanı sıra, biyodizel oranına göre değişen; hava fazlalık katsayısı, yanma sıcaklığı, püskürtülen yakıt basıncı, püskürtmenin başlangıç zamanı ve piston çanak geometrisi parametrelerinin birleşik etkisi nedeniyle CO₂ emisyonu motor yüküne ve hızına göre farklı bir eğilim göstermiştir. Ancak, biyodizel oranında artış ile artan CO₂ emisyonu daha az çevresel kaygıya neden olmalıdır, çünkü Argonne Ulusal Laboratuvarında B100 yakıtı ile yapılan çalışmada, biyodizel

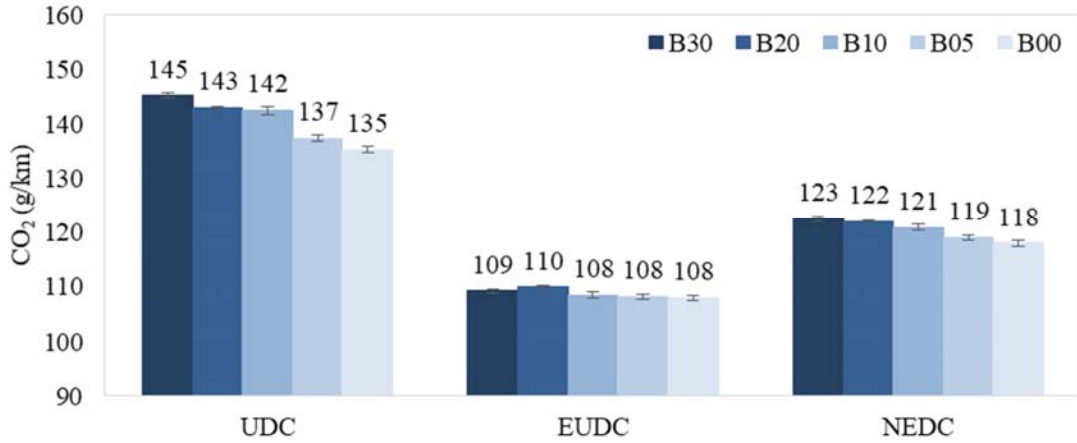
kaynaklı yaşam döngüsü sera gazı emisyonunun petrolden elde edilen dizele kıyasla %74 daha az olduğu ortaya koyulmuştur [40].

3.2. NO_x Emisyonu (NO_x Emission)

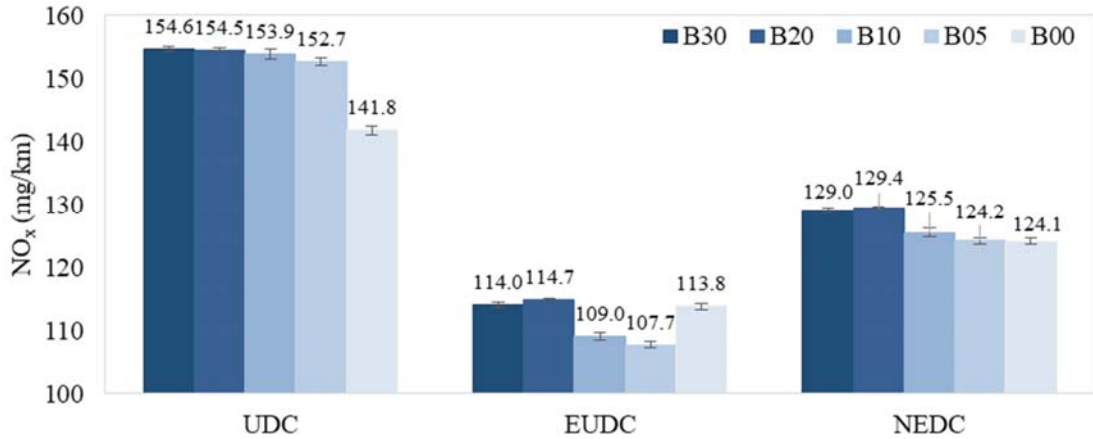
NO_x emisyonu oluşumuna üç temel etkenin neden olduğu (termal, alev bölgesi (prompt) ve yakıt özelliği kaynaklı) bilinmektedir [27]. Bu üç kaynak arasında yanma kaynaklı oluşan termal NO_x Zeldovich Mekanizması ile açıklanmıştır. Zeldovich Mekanizması tarafından türetilen Eş. 4, NO_x oluşumunun yüksek oranda yanma sıcaklığına ve oksijen konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermektedir. Eşitlikteki [NO] / dt NO oluşumunu, T silindir içi sıcaklığı, [O₂] ve [N₂] kimyasal reaksiyondaki konsantrasyonlarını göstermektedir [27].

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{6 \times 10^{16}}{T^{1/2}} \times \exp\left(\frac{-69,090}{T}\right) \times [O_2]^{1/2} \times [N_2] \quad (4)$$

Teorik açıklama ile uyumlu olarak, biyodizelin yapısında bulunan yüksek oksijen konsantrasyonunun kısmi yüklerde ortalama yanma sıcaklığını artırdığı gözlemlenmiş ve Şekil 4'te görüldüğü gibi artan biyodizel oranı ile NEDC



Şekil 3. UDC, EUDC ve NEDC deneylerinde B00, B05, B10, B20 ve B30 yakıtlarının CO₂ emisyonu (CO₂ emissions of the UDC, the EUDC and the NEDC experiments with B00, B05, B10, B20 and B30)



Şekil 4. UDC, EUDC ve NEDC deneylerinde B00, B05, B10, B20 ve B30 yakıtlarının NO_x emisyonu (NO_x emissions of the UDC, the EUDC and the NEDC experiments with B00, B05, B10, B20 and B30)

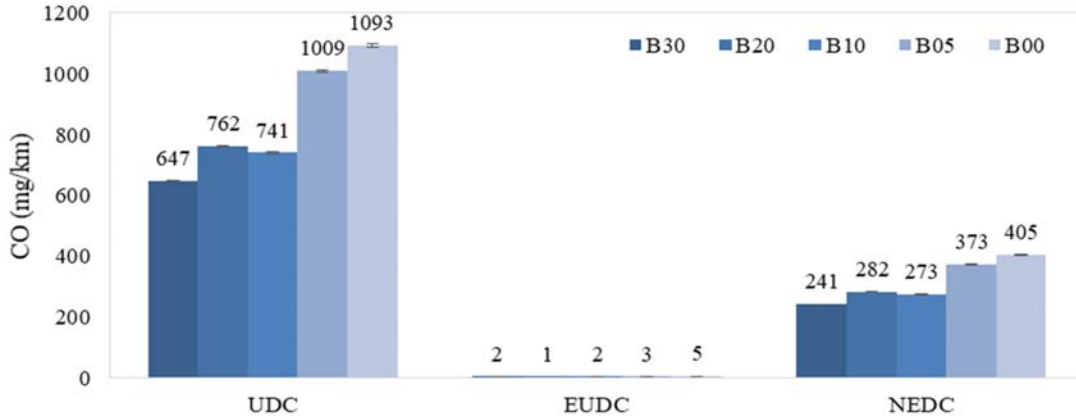
deneylerinde salınan NO_x miktarı artmıştır. Biyodizel oranı %10'u geçtikten sonra NO_x emisyonunda ki artış fazlaşmıştır. B20 ve B30 yakıtların %4'den fazla artış gözlemlenmiştir. Karavalakis'in yaptığı çalışmaya benzer şekilde biyodizel UDC'de EUDC'ye kıyasla NO_x emisyonunu daha çok etkilemiştir [22] ve toplam çevrimde NO_x emisyonun artmıştır [1, 22]. B00, B05 ve B10 yakıtlarında ise çok düşük bir NO_x artışı gözlemlenmiştir. %10'na kadar biyodizel harmanlanmanın NO_x emisyonunu çok etkilemediği görülmüştür. AB'ye göre hacimce %4 daha az biyodizel içeren yakıtın kullanımının NO_x emisyonuna etkisi çok az olduğu görülmüştür.

3.3. CO, HC ve PN Emisyonları (CO, HC and PN Emissions)

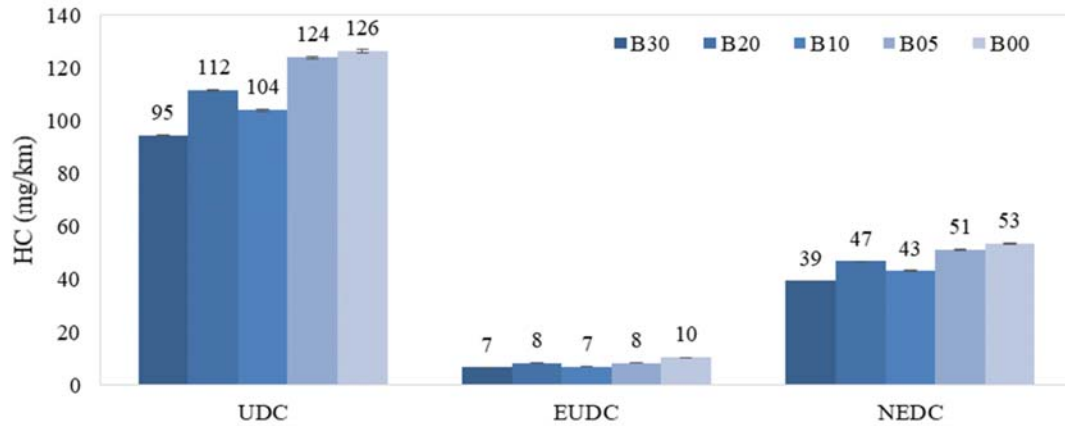
CO emisyonu hava-yakıt oranı ile orantılı olduğundan, fakir karışım altında gerçekleşen yanmalarda daha düşük CO emisyonu gözlemlenmektedir, çünkü yanma odasındaki karbon atomlarını CO₂'ye dönüştürmeyi sağlayacak oksijen atomları ile daha kolay reaksiyona girebilmektedir [11, 27]. Şekil 5'te görüldüğü üzere biyodizel oranın artması literatürdeki diğer çevrim test sonuçlarına benzer şekilde CO emisyonunu düşürmüştür [20, 22]. B10 kullanımı ile B00'a kıyasla %30, B05'e kıyasla %20'den fazla CO emisyonunun

azaldığı gözlemlenmiştir. Artan biyodizel oranı ile CO emisyonu 405 mg/km'den neredeyse yarısına 241 mg/km'ye düşmüştür. Biyodizelin kimyasal zincirinde bulunan oksijenler yakıt-hava karışımın dizele kıyasla daha fakir olmasını sağlamaktadır ve bu sayede CO emisyonu azalmaktadır. Artan biyodizel oranı ile CO emisyonu daha fazla düşmüştür ancak %10'dan sonra düşüş miktarı artmıştır ve Şekil 5'te gösterildiği gibi artan biyodizel yüzdesine göre daha az değişim göstermiştir.

HC emisyonu eksik yanma nedeniyle yakıt zincirindeki hidrojen ve karbon atomlarının oksijen ile tepkimeye girmesi neticesinde oluşmaktadır ve bu sebepten yanma verimliliğinin bir ölçüsü olarak da kullanılabilir [27]. Biyodizelin esneklik modülü ve öz kütlesi dizelden yüksek olduğu için yanma gecikmesi süresi kısaltmaktadır ve bu sayede daha temiz bir yanmanın elde edilmesine olanak sağlanmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü üzere artan biyodizel miktarı ile HC emisyonu azalmıştır. UDC ve EUDC fazlarında motor farklı yükler altında çalışmaktadır, ancak değişen biyodizel oranına göre HC emisyonları benzer eğilim göstermiştir. Bu da Lapuerta'nın deneysel çalışması sonucu yaptığı HC emisyonu motor yükünün bir fonksiyonu değildir çıkarımı ile uyumludur [41]. Ek olarak %10



Şekil 5. UDC, EUDC ve NEDC deneylerinde B00, B05, B10, B20 ve B30 yakıtlarının CO emisyonu (CO emissions for the UDC, EUDC and NEDC for B00, B05, B10, B20 and B30)



Şekil 6. UDC, EUDC ve NEDC deneylerinde B00, B05, B10, B20 ve B30 yakıtlarının HC emisyonu (HC emissions for the UDC, EUDC and NEDC for B00, B05, B10, B20 and B30)

biyodizel eklenmesi ile HC emisyonunda %20'ye yakın bir azalma sağlanmıştır. Ancak artan biyodizel oranı ile HC emisyonu azalımındaki marjinal artış düşmüştür. Bu nedenle HC ve CO emisyonunu azaltmak için %10'dan fazla biyodizel kullanımına gerek olmadığı değerlendirilmiştir. Ancak B05'ten B10'a geçişte CO emisyonunda gözlemlendiği gibi HC emisyonunda da %15'ten fazla azalma görülmüştür.

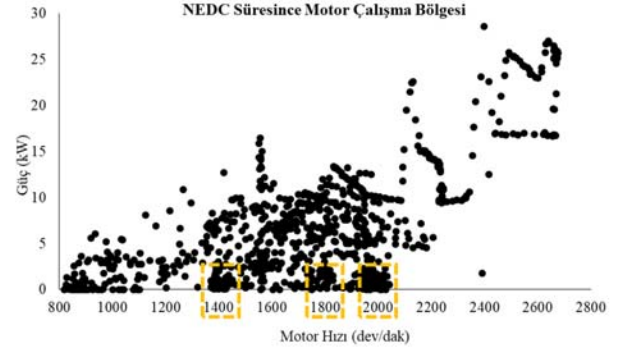
Ölçülen partikül tanecikleri emisyonu 10^{10} mertebesinde olduğundan, logaritmik ölçek ile çizdirilerek Şekil 7'de gösterilmiştir. HC ve CO emisyonlarındaki azalışa sebep olan biyodizel özellikleri PN emisyonunda da düşüş elde edilmesini sağlamıştır. Literatürdeki çalışmaların neredeyse tümünde biyodizel kullanımı kurum emisyonunu azaltmıştır [19-21]. B10 kullanımı PN emisyonunu çok yüksek oranda azaltmış, 10^{11} mertebesinde 10^9 düşmesini sağlamıştır. Armas ve arkadaşlarını 2013 yılında yaptığı çalışmada ise biyodizel kullanımı ile PN sayısı 10^{14} mertebesinde 10^{13} seviyesine azalmıştır [20]. Ayrıca PN emisyonunda da B10 kullanımı B05 kullanımına kıyasla çok daha yüksek azalmaya sebep olmuştur. Elde edilen deney sonuçları Avrupa Birliğin %4 daha fazla biyodizel kullanılarak CO, HC ve PN limitlerini tuturan araçların Türkiye'de daha fazla CO, HC ve kurum salmaktadır ve belki limitlerin dışına çıkmaktadır. Bu sebepten aynı emisyon seviyesini sağlamak için ülkemize satılan araçların DPF ve DOC sistemleri büyütülmesi gerekebilir.

3.4. NEDC Çalışma Bölgesinde Motorun Uzun Süre Çalıştığı Kısmi Yük Noktalarının Testleri

(Test of the Part Load Points that run long duration under NEDC operation region)

Çevrim testlerine ek olarak biyodizel katkısının NEDC testi süresince motorun uzun süre çalıştığı düşük yük koşullarında yanma parametreleri ve emisyonlara olan etkisini incelemek için deneyler yapılmıştır. Deneylerin yapılacağı çalışma noktaları literatürdeki benzer çalışmalarda izlenen yöntem

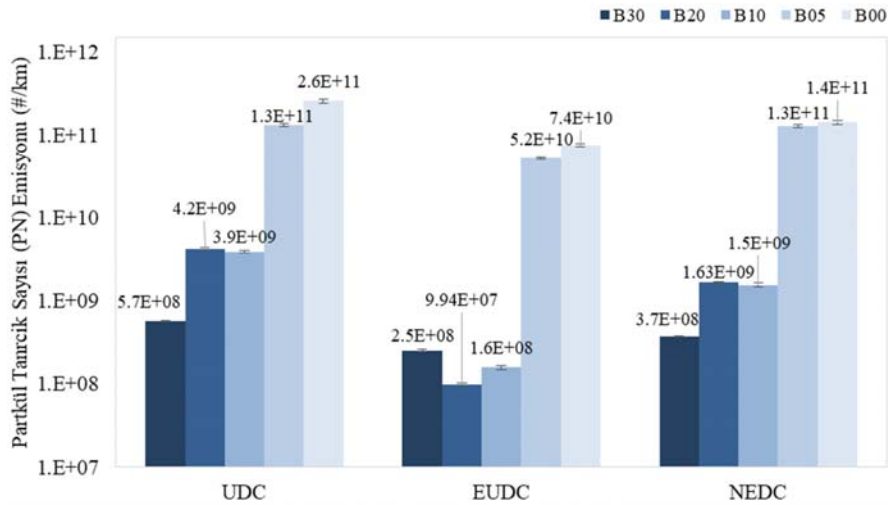
göre seçilmiştir [31-35]. Şekil 8'de NEDC çevriminde motorun çalıştığı devirler ve karşılık geldiği güçler çizdirilmiştir. Grafikten görülebileceği üzere motor çevrim esnasında motor en fazla 2800 d/d hıza ve en yüksek 30 kW güce çıkmaktadır. Çevrimin büyük çoğunluğu düşük yük koşullarında geçmektedir. Turuncu ile işaretlenen motor çalışma hızı ve güçleri çalışma noktaları olarak seçilmiştir ve bu kısmı motor yüklerinde B00 ve B30 yakıtlarının etkileri incelenmiştir.



Şekil 8. NEDC çevrimindeki motor çalışma bölgesi ve seçilen test noktaları

(Engine operation region under the NEDC and selected test points)

Şekil 8'de işaretlenerek seçilen 4 farklı motor çalışma noktasında motorun çalışma parametreleri (GPP, EGR, FuelP, MAP, MAF, Fvol) kontrol ünitesi üzerinden ayarlanarak testler süresince aynı olmaları sağlanmıştır. Ek olarak egzoz ve araç bataryası gibi çevresel koşullarda (BattV, ECT, PDPF, TPF) testlerde aynı tutulmuştur. Bunu sağlayabilmek için her teste başlamadan önce egzoz koşulları ve motor suyu sıcaklığını aynı şartlara getirmek için, literatürdeki benzer çalışmalarda yöntem uygulanarak [7], motor 2500 d/d, 10 kW çalışma noktasında 10 dakika çalıştırılmıştır. Tablo 5'de test edilen 4 farklı kısmi yük noktasının testler süresince sabit tutulan parametreleri ve



Şekil 7. UDC, EUDC ve NEDC deneylerinde B00, B05, B10, B20 ve B30 yakıtlarının PN emisyonu (PN emissions for the UDC, EUDC and NEDC for B00, B05, B10, B20 and B30)

değerleri listelenmiştir. Çalışma noktalarında B30 yakıtının B00 yakıtına göre oluşturduğu farklar incelenebilmiştir. Aynı motor parametrelerinde, aynı miktar B00 ve B30 yakıtı ile elde edilen motor gücü, NO_x, Opaklık, CO ve HC emisyonlarının kıyaslaması Tablo 6'da gösterilmiştir. Biyodizelin kısmi yük çalışma koşulundaki emisyon ve güce olan etkisi çevrim testlerindeki benzer olmuştur. Çevrim testlerinde olduğu gibi CO, HC ve Opaklık emisyonları tüm çalışma noktalarında azalmıştır. Çevrim testinden farklı olarak güç yerine silindire gönderilen yakıt miktarı sabit tutulduğu için B30 deneylerinde daha düşük motor gücü gözlemlenmiştir. 4. çalışma noktasında NO_x emisyonunun sabit kaldığı gözlemlenmiştir ancak diğer üç çalışma noktasında biyodizel eklentisi ile NO_x emisyonu artmıştır. Sabit çalışma noktalarında yapılan diğer deneysel çalışmalarda da biyodizel eklenmesinin CO, HC ve kurum emisyonlarını %10'dan fazla azalttığı, yakıt tüketimi ve NO_x emisyonunu %3 mertebelerinde artırdığı bulunmuştur [13, 23]. B00 ve B30 yakıtlarının silindir içi basınç ve püskürtme akımı ölçümleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Ölçümlere ek olarak AVL Indicom programı tarafından Eş.-2 ve Eş.3'e göre hesaplanan silindir içi sıcaklık ve ısı yayılım oranı (ROHR) Şekil 9'da gösterilmiştir. B00 yakıtına ait değerler düz B30 ait değerler ise kesikli gösterilmiştir. Parçalı olarak yapılmış üç ayrı püskürtmenin başlangıç ve bitiş zamanlamasının aynı olduğu Şekil 9'da enjeksiyon sinyalinden görülmektedir.

Yakıt farklılığından kaynaklı oluşan silindir içi basınç ölçümündeki değişimin detaylı incelenmesi için yanmanın başladığı (SOC) KMA ve bu KMA'da silindir içindeki sıcaklık (T_{soc}) ve basınç (P_{soc}) değerleri hesaplanmıştır. İlave yanma esnasında gözlemlenen en yüksek silindir içi basınç (P_{max}) ve sıcaklık (T_{max}), yakıt kütesinin %5 (MBF5),

10 (MBF10), 50 (MBF50) ve 90 (MBF90)'nın yandığı KMA ve püskürtülen yakıtın yanması için gerekli KMA cinsinden süresi de (CD) hesaplanmış ve kıyaslama yapılabilmesi için Tablo 7'ye eklenmiştir.

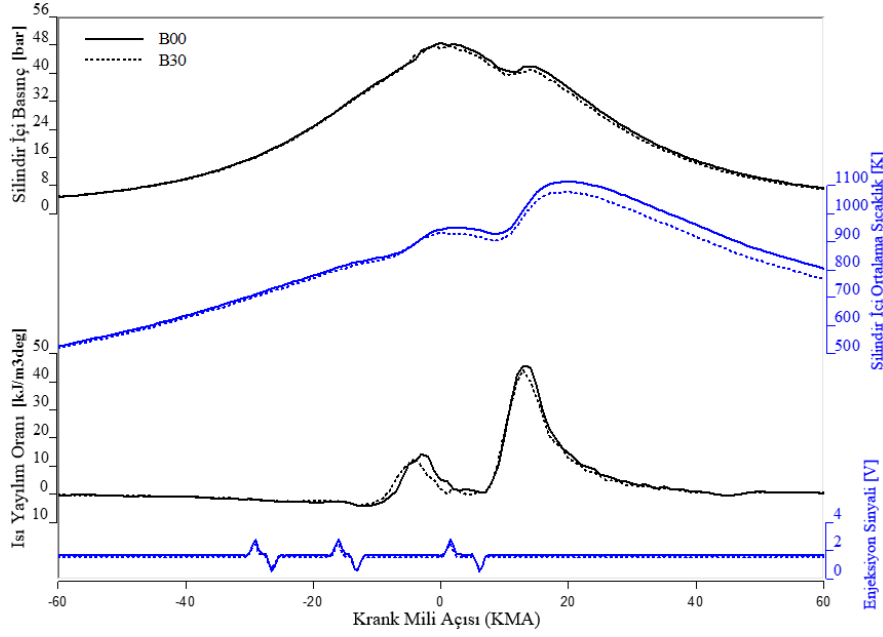
4 farklı çalışma noktasında da biyodizel silindire püskürtülen yakıtın daha erken tutuşmasını sağlamıştır, SOC yaklaşık 1 KMA daha önce gerçekleşmiştir. Can ve arkadaşlarının 1500 d/d'de 2 kW yükte yaptığı çalışmada da B20 yakıtı ile yanma başlangıcı ve tutuşma gecikmesinin 1,6 KMA azaldığı görülmüştür [23]. Tutuşma gecikmesi biyodizel eklenmesi ile azalmıştır. Biyodizel kullanılan deneylerde yanma daha erken başladığı için, yanmanın başladığı anda silindir daha az sıkıştırılmış durumdadır ve bu sebepten, yanmanın başladığı sıcaklık (T_{soc}) ve basınç (P_{soc}) saf dizele göre daha düşüktür. Deneylerde gözlemlenen bu sonuçlara göre biyodizelin dizele göre daha kolay tutuşabildiği anlaşılmaktadır. Yanma esnasında dört çalışma noktasında da biyodizel ilave edilmiş yakıtlarda gözlemlenen en yüksek silindir içi basınç (P_{max}) ve sıcaklık (T_{max}) daha düşük çıkmıştır. Deneyler esnasında aynı miktarda yakıt kullanılmıştır, biyodizelin üst ısı değeri (ÜİD) dizelden düşük olduğu için silindir içindeki toplam enerji miktarı daha düşüktür, bu sebepten gözlemlenen düşük basınç ve sıcaklık ÜİD ile açıklanabilir. Püskürtülen yakıtın yanması için gerekli süre dizele için daha uzun olduğu Tablo 7'de verilen yanma süresinden (CD) anlaşılmaktadır. Üçüncü çalışma noktasında biyodizel eklenmiş yakıt 2,2 KMA daha kısa bir sürede yanmıştır. Diğer çalışma noktalarında da en az 1 KMA fark vardır. Biyodizel daha hızlı yandığı için silindir içi basınçtaki anlık artış dizele göre daha yüksek olduğu da Şekil 9'dan anlaşılmaktadır. Şekil 9'da B30 yakıtının ÜÖN'ya kadar silindir için basınç değeri daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 5. Kısmi yük noktalarındaki motorun sabit tutulan parametreleri ve değerleri
(Engine parameters and their values at part load experiments)

Motor Hızı d/d	Yakıt	GPP %	EGR %	FuelP bar	BattV volt	MAP bar	ECT °C	MAF g/s	Fvol l/h	PDPF bar	TDPF °C
1800	B00,B30	20	27	570	14,1	1,19	85	15,3	1,26	1,05	210
2000	B00,B30	17	25	620	14,1	1,32	85	15,8	1,89	1,08	208
1950	B00,B30	13	26	520	14,1	1,25	85	15,5	1,81	1,09	210
1400	B00,B30	18	23	630	14,1	1,11	85	14,9	1,38	1,03	209

Tablo 6. B00 ve B30 yakıtlarının kısmi yük noktalarındaki emisyon ve güç sonuçlarının karşılaştırması
(Comparison of the emission and power of the part load tests with B00 and B30 fuels)

Motor (d/d)	Hızı	Motor Gücü (kW)		NO _x (g/kWh)		CO (g/KWh)		HC (g/kWh)		Opaklık (%)	
		B00	B30	B00	B30	B00	B30	B00	B30	B00	B30
-											
1800		1,24	1,15	4,2	4,8	111,3	96,5	15,7	14,3	20	11
2000		2,53	2,38	1,6	1,8	44,3	40,3	10,1	9,4	25	16
1950		3,62	3,47	0,4	0,5	28,0	22,2	9,7	6,1	51	26
1400		2,67	2,56	0,8	0,8	37,5	37,1	7,5	5,9	12	11



Şekil 9. B00 ve B30 yakıtlarının 2000 d/d 6,6 mg yakıt altındaki yanma parametreleri
(Combustion parameters of the B00 and B30 fuels at 2000rpm, 6.6mg fuelling)

Tablo 7. B00 ve B30'un yanma parametrelerinin karşılaştırması
(Comparison of the combustion parameters of B00 and B30)

Çalışma Noktası	SOC	IDD	T _{soc}	P _{soc}	P _{max}	T _{max}	MBF5	MBF50	MBF90	CD
-	KMA	KMA	K	bar	bar	bar	KMA	KMA	KMA	KMA
15 km/h B00	-8,4	-6,9	800,5	37,1	47,1	1026,0	6,2	14,2	25,4	19,2
15 km/h B30	-9,5	-8,0	792,5	35,0	47,0	1006,5	8,2	13,9	23,9	15,7
32 km/h B00	-7,7	-6,2	850,5	39,5	48,8	1113,9	10,2	15,2	27,9	17,7
32 km/h B30	-8,4	-6,9	836,1	37,8	47,7	1076,6	10,4	15,2	27,1	16,7
35 km/h B00	-8,4	-6,9	763,6	35,3	46,1	1095,1	0,2	12,0	23,2	23,0
35 km/h B30	-9,5	-8,0	766,2	33,9	46,4	1081,8	0,2	11,6	21,0	20,8
50 km/h B00	-7,0	-5,5	832,6	39,5	47,4	1122,8	9,9	15,4	28,5	18,6
50 km/h B30	-7,9	-6,4	827,1	38,3	47,5	1088,7	9,5	14,5	25,6	16,1

Yanma süresinin kısa ancak sıcaklık ve basınç artışının daha yüksek olması NO_x emisyonunun daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Diğer taraftan HC ve CO emisyonlarındaki azalma yanma sıcaklığından ve süresinden daha çok biyodizelin sahip olduğu yüksek oksijen miktarına bağlıdır. Yanma sıcaklığı ve basıncının ortamdaki -veya yakıttaki-oksijen oranının artması ile daha yüksek olması beklenir ancak biyodizel ısı değerinin düşük olması nedeniyle biyodizel eklentili deneylerde ortalama silindir basıncının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. PN ve opaklık emisyonundaki azalma ise yanma süresinin azalması ile ilişkilendirilebilir. Biyodizel eklentisi ile hava yakıt karışımı daha homojen olmaktadır ve homojen karışım daha hızlı yanabilmektedir. Bu nedenle, homojenleşen karışım da kurum oluşumunu azaltmaktadır.

3.5. Tam Yük Testleri (Full Load Experiments)

Tam yük testlerinde de araç parametrelerinin incelenecek sonuçlara etki etmemesi için motor ve egzoz sistemi parametreleri aynı motor hızı için sabit tutulmuştur. Tablo

8'de görülebileceği üzere gaz pedalı pozisyonu (GPP), yakıt enjeksiyon basıncı (FuelP), akü voltajı (BattV), manifold hava basıncı (MAP), egzoz gazı geri kazanım oranı (EGR), motor soğutma suyu sıcaklığı (ECT), emilen hava miktarı (MAF), hacimce enjekte edilen yakıt miktarı (Fvol), ve Dizel Partikül Fitresi öncesi basınç (PDPF) her bir yakıt harmanı için aynı tutulmuştur. Bu sebepten, incelenen yanma parametrelerindeki değişimin harmanlanan biyodizelden kaynaklanmaktadır.

B00, B05, B10, B20, ve B30 yakıtlarının 3500 d/d tam yük deneyinin silindir içindeki basınç ve enjeksiyon sinyali verileri Şekil 10'da gösterilmektedir. Enjeksiyonun başlangıç (SOI) sinyali, ÜÖN'dan 18 KMA önde 18'de başlamaktadır ve Şekil 10 'da görülebileceği gibi ÜÖN'ya kadar devam etmektedir.

Her ne kadar yakıt enjeksiyon sinyali tüm yakıtlar için aynı olsa da, silindir içi basınç biyodizel karışımından etkilenmiştir. Artan biyodizel karışım oranı silindir içi basıncın daha erken yükselmesine neden olmuştur, Şekil

10'un yakınlaştırılmış kesitinde görülebileceği üzere koyu mavi renkler ÜÖN'ya kadar açık mavi renklere daha yüksek değere sahiptir. Ancak en yüksek silindir içi basınç B00 yakıtı ile gözlemlenmiştir.

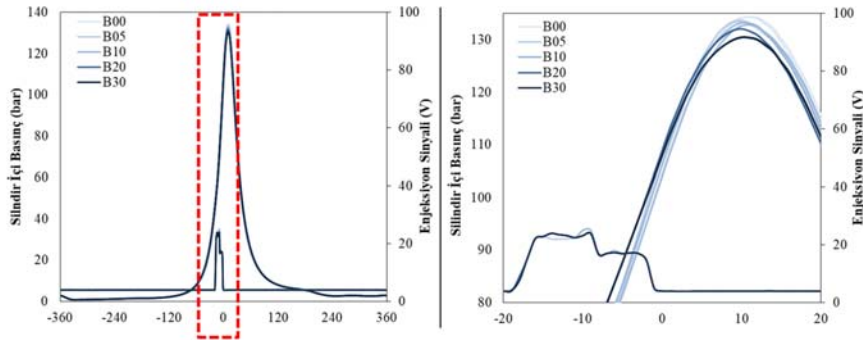
Silindir içi basınç grafiğine ek olarak, tüm yakıt harmanlarının ROHR'si Şekil 11'de 3500 d/d çalışma noktası için çizilmiştir. Silindir içi basınç verilerine benzer şekilde, biyodizel eklenen yakıtın ısı salma oranının yükselmesi saf dizele kıyasla daha önce başlamıştır.

Ayrıca, Şekil 11'in yakınlaştırılan bölümünde yanmanın en erken B30 yakıtında başladığı, en geç ise B00 yakıtında

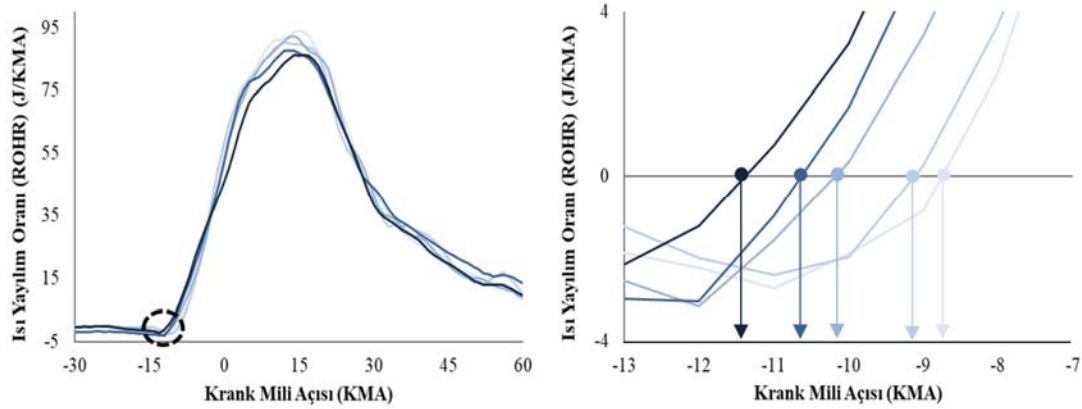
oluştugu gözükmetedir. 3500 d/d motor çalışma noktasında B00 ile B30 yakıtları arasındaki SOC farkı yaklaşık 2,5 KMA'dır. Literatürde de biyodizel katkı karışımları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir, artan biyodizel miktarı ile SOC daha erken gözlemlenmiştir [13, 23]. SOI, tüm yakıt harmanlarının aynı koşullara sahip olması için aynı tutulduğundan, tutuşma gecikmesi ile yanma başlangıç zamanı aynı eğilime sahiptir. Şekil 12'de gösterildiği gibi, tutuşma gecikmesi tüm tam yük çalışma noktalarında saf dizel için biyodizel harmanlanan yakıtlara kıyasla daha uzundur. Biyodizelin daha yüksek oksijen içeriği saf dizel ile karşılaştırıldığında daha kısa tutuşma gecikmesi sağlar. Biyodizel kullanımı ile azalan CO ve HC emisyonu kısalan

Tablo 8. Tam yük testlerinde gözlemlenen motor parametreleri (Observed engine parameters during full load experiments)

Motor Hızı	Yakıt	APP	EGR	FuelP	BattV	MAP	ECT	MAF	Fvol	PDPF
d/d	-	%	%	bar	volt	bar	°C	g/s	l/h	bar
2000	B00,05,10,20,30	100	0	120	14,1	2,09	98	45,0	11,3	1,15
2500	B00,05,10,20,30	100	0	140	14,1	2,08	98	56,6	13,4	1,25
3000	B00,05,10,20,30	100	0	140	14,1	2,10	98	66,3	15,4	1,38
3500	B00,05,10,20,30	100	0	160	14,1	2,10	99	76,2	17,2	1,47
4000	B00,05,10,20,30	100	0	160	14,1	2,10	99	80,9	18,6	1,55

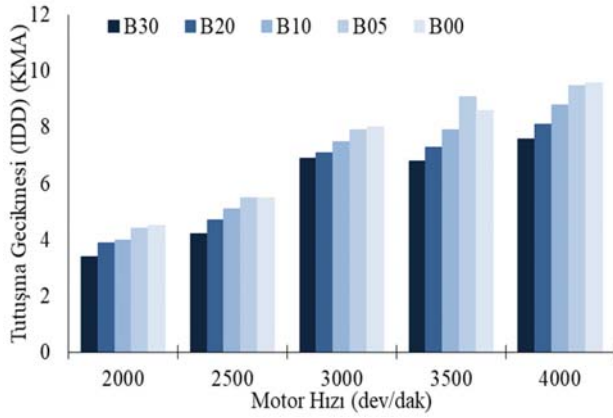


Şekil 10. B00, B05, B10, B20, ve B30 yakıtları için 3500 d/d çalışma noktasında silindir içi basınç ve enjeksiyon sinyali (In-Cylinder Pressure and Injection Signal at 3500 rpm operation point for B00, B05, B10, B20, and B30)



Şekil 11. B00, B05, B10, B20 ve B30 yakıtlarının 3500 d/d çalışma noktasında ısı yayılım oranı (Heat Release Rate at 3500rpm for B00, B05, B10, B20, and B30)

tutuşma gecikmesi ile ilişkilendirilebilir, çünkü tutuşma kalitesi artmıştır ve daha iyi bir yanma elde edilmiştir.



Şekil 12. B00, B05, B10, B20 ve B30 yakıtlarının tutuşma gecikmesi süreleri
(Ignition Delay Duration for B00, B05, B10, B20, and B30)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu deneysel çalışmada, 1,5 litre dizel motoru olan EURO-5 standartlarına uygun 2014 model binek bir araç; şasi dinamometresinde NEDC, kısmi ve tam yük noktalarında deneyler yapmak için enstrumante edilmiştir. Yapılan deneylerde dizel yakıtına kanoladan elden edilen biyodizel eklentisinin emisyonlara, güce ve yanma parametrelerine olan etkileri incelenmiştir. Ek olarak Avrupa'ya göre hacimce %4 daha az biyodizel kullanımının ülkemizde satılan araçlardaki etkisi değerlendirilmiştir.

Yapılan incelemeler sonucu %5'ten daha fazla ama %10'dan daha az biyodizel kullanımının dengeli bir iyileştirme sağladığı bulunmuştur. Türkiye'de %3 oranında biyodizel kullanılırken, AB'de %10'a kadar kullanılabilmekte ve araçlar B7 yakıtı ile emisyon limitlerini sağlamaktadır. Değerlendirmelerin sonucunda CO, HC ve kurum emisyonu açısından araçların Türkiye'de AB'ye kıyasla daha fazla emisyon saldığı anlaşılmıştır.

CO, HC ve PN emisyonlarını azaltabilmek için egzoz sisteminde DOC ve DPF kullanılmaktadır. DOC içinde değerli metal katalizörler kullanılmaktadır (platinyum, paladyum, rodyum). DPF boyutları ise egzozdaki kurumun miktarına göre belirlenmektedir. B10 yakıtının standart olarak kullanılması durumunda CO, HC ve PN emisyonlarında düşüş olacağından aracın egzoz sisteminde kullanılması gerekli pahalı malzeme miktarı da azalacaktır.

Deneyler sonrası biyodizel kullanımının daha da yaygınlaşmasının ülkemiz için emisyonlar açısından avantajlı olacağı değerlendirilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda da yeni devreye girmekte olan Dünya Geneline Uyumlandırılmış Hafif Ticari Sınıf Araçlar Çevrim (Worldwide harmonized light vehicle test cycles, WLTC) testlerinde biyodizelin etkisi incelenebilir. Ek olarak alternatif yakıtlara göre yakıt enjeksiyon zamanının optimize

edilerek seçileceği bir çalışmanın yapılması da biyodizelin avantajlarını artıracaktır.

Yapılan deneylerin analiz ve değerlendirmeleri aşağıda özetlenmiştir;

- Çevresel koşullar ve araç parametreleri tüm deneylerde aynı tutulmuştur, bu nedenle egzoz emisyonları, performans ve yanma parametrelerinde bulunan farklılıklar esas olarak biyodizel karışım oranından kaynaklanmaktadır.
- NEDC çevrim testlerinde güç seviyesinin aynı kalmasını sağlamak için saf dizele kıyasla daha çok biyodizel katkıli yakıt kullanmak gerekmiştir. B30 kullanımı ile B00'a kıyasla 100km'deki yakıt tüketimi 4,38 litreden 4,53 litreye çıkmıştır. Ek olarak, sabit hız testinde aynı miktar B30 ve B00 yakıtları ile yapılan deneylerde, B00 ile yaklaşık %4 daha yüksek güç elde edilmiştir. Biyodizelin yakıt tüketimini artırması veya gücü düşürmesi ÜİD'nin dizelden daha düşük olmasından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.
- Biyodizel oranı artışı ile CO₂ emisyonu kademeli olarak artmış ve B30 yakıtı ile B00 kıyasla %4 artış gözlemlenmiştir. Artışın, yanmanın daha erken ve kısa sürede gerçekleşmesi sonucu CO atomlarının yüksek miktarda oksijen içeren daha sıcak yanma odasında daha kolay CO₂'ya dönüşmesi sonucu oluştuğu değerlendirilmiştir.
- B30 yakıtı B00'a kıyasla NO_x emisyonunda %4'e yakın artışa neden olmuştur. NO_x emisyonundaki artışın biyodizel katkıli yakıtta yanma süresinin 3 KMA daha kısa olması sonucu yanmanın daha hızlı ve yüksek sıcaklıkta gerçekleşmesinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.
- Dizele hacimce %10 oranında biyodizel karıştırılması CO, HC ve PN emisyonlarının her birinin %15'ten fazla azalmasını sağlamıştır. %10'dan fazla katılan biyodizel miktarının marjinal katkısı azalmaktadır. HC ve CO emisyonlarının biyodizel eklenmesinin kök sebebinin biyodizelin ihtiva ettiği oksijen miktarı ile ilgili olduğu anlaşılmıştır.
- Biyodizel dizele göre daha kolay tutuşmaktadır, bu sebepten biyodizel eklenmesi yanma başlangıç anını ÜÖN'dan yaklaşık 2 KMA daha erken bir zamana getirmektedir. Ek olarak tutuşma gecikme süresi de benzer miktarda azalmaktadır.
- Dizelin yanma süresi biyodizelden yaklaşık 3 KMA daha uzundur, biyodizel daha hızlı yandığı için silindir içi basınç ve sıcaklık artış hızı dizelden daha yüksektir. Bu durumun kurum emisyonunu azaltmakta ancak CO₂ ve NO_x oluşumunu artırmakta olduğu gözlemlenmiştir.

5. SİMGELER (SYMBOLS)

- UDC : Şehir içi sürüş çevrimi
 EUDC : Şehir dışı Sürüş çevrimi
 NEDC : Yeni Avrupa Sürüş çevrimi
 DOC : Dizel oksidasyon katalizörü
 DPF : Dizel partikül filtresi
 OEM : Orijinal ekipman üreticileri

OBD	: Araç-üstü hata tanımlama
ÜİD	: Üst ısı değeri
ÜÖN	: Üst ölü nokta
SOI	: Püskürtme başlangıç zamanı
SOC	: Yanma başlangıç zamanı
ROHR	: Isı yayılım oranı
IDD	: Tutuşma gecikmesi
CD	: Yanma zamanı
KMA	: Krank mili açısı
GPP	: Gaz pedal pozisyonu
EGR	: Egzoz gazı geri kazanımı
CAN	: Denetleyici Alan Ağı
T_{soc}	: Yanma başlangıç anı silindir-içi sıcaklığı
P_{soc}	: Yanma başlangıç anı silindir-içi basıncı
P_{max}	: En yüksek silindir-içi basınç
T_{max}	: En yüksek silindir-içi sıcaklık
MBFx	: Yakıtın yüzde x'inin yandığı zaman
Q	: Isı yayılım oranı
m	: Yakıt Kütlesi
u	: Gaz sabiti
C	: Egzoz gazı (ppm) içindeki bileşenin anlık yoğunluğu,
f	: Veri örnekleme frekansını
q	: Anlık egzoz kütle akışı
n	: Ölçüm sayısını göstermektedir
κ	: Isı kapasitesi oranı
c_p	: sabit basınçtaki ısı kapasitesinin
c_v	: sabit sıcaklıktaki ısı kapasitesinin
V	: Silindir hacmi
l	: Volumetrik verim
R	: Ulusal gaz sabiti

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Kalkınma Bakanlığı Tarafından desteklenen Motor Mükemmeliyet Merkezi kuruluşu projesinden desteklenmektedir (Proje tipi: Kalkınma Bakanlığı, Proje No: 2015K121320). Ayrıca biyodizel yakıtları İzmir'den DB-Enerji firmasından bilabedel temin edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Lim C., Lee J., Hong J., Song C., Han J., Cha J., Evaluation of regulated and unregulated emissions from a diesel powered vehicle fueled with diesel / biodiesel blends in Korea, *Energy*, 77, 533-541, 2014.
- Sezer I., Therotical investigation of the effects of diesel fuel, biodiesel fuel and their blends on internal combustion engines, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (4), 799-812, 2016.
- Celik M., Solmaz H., Yucesu H.S., Examination of the Effects of N-Heptan Addition To Cotton Methyl Ester on the Engine Performance and Combustion, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 30 (3), 361-369, 2015.
- Ashraful A.M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Rizwanul Fattah I.M., Imtenan S., Shahir S.A., Mobarak H.M., Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils: A review, *Energy Conversion and Management*, 80, 202-228, 2014.
- Speidel H.K., Lightner R.L., Ahmed I., Biodegradability of new engineered fuels compared to conventional petroleum fuels and alternative fuels in current use, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 84-86, 879-897, 2000.
- Gokalp B., Buyukkaya E., Soyhan H.S., Performance and emissions of a diesel tractor engine fueled with marine diesel and soybean methyl ester, *Biomass and Bioenergy*, 35, 3575-3583, 2011.
- Bermúdez V., Lujan .J.M., Ruiz S., Campos D., Linares W.G., New European Driving Cycle assessment by means of particle size distributions in a light-duty diesel engine fuelled with different fuel formulations, *Fuel*, 140, 649-659, 2015.
- Lapuerta M., Herreros J.M., Lyons L.L., García-Contreras R., Briceño Y., Effect of the alcohol type used in the production of waste cooking oil biodiesel on diesel performance and emissions, *Fuel*, 87, 3161-3169, 2008.
- Pinto A.C., Guarieiro L.L.N., Rezende M.J.C., Ribeiro N.M., Torres E.A., Lopes W.A., Pereira P.A., Andrade J.B., Biodiesel: An overview, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 16 (6B), 1313-1330, 2005.
- Serrano L., Lopes M., Pires N., Ribeiro I., Cascão P., Tarelho L., Monteiro A., Nielsen O., Silva M.G., Borrego C., Evaluation on effects of using low biodiesel blends in a EURO 5 passenger vehicle equipped with a common-rail diesel engine, *Applied Energy*, 146, 230-238, 2015.
- Aldhaidhawi M., Chiriac R., Badescu V., Ignition delay, combustion and emission characteristics of Diesel engine fueled with rapeseed biodiesel - A literature review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 178-186, 2017.
- Datta A., Mandal B.K., Engine performance, combustion and emission characteristics of a compression ignition engine operating on different biodiesel-alcohol blends. *Energy*, 125, 470-483, 2017.
- Özener O., Yüksek L., Ergenç A.T., Özkan M., Effects of soybean biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics, *Fuel*, 115, 875-883, 2014.
- Wei L., Cheung C.S., Ning Z., Influence of waste cooking oil biodiesel on combustion, unregulated gaseous emissions and particulate emissions of a direct-injection diesel engine, *Energy*, 127, 175-185, 2017.
- Abdulvahitoğlu A., Tüccar G., Evaluation of watermelon seed biodiesel as an alternative fuel in diesel engines, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (1), 189-194, 2017.
- Wan Ghazali W.N.M., Mamat R., Masjuki H.H., Najafi G., Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 585-602, 2015.

17. Özçelik A.E., Aydoğan H., Acaroğlu M., Determining the performance, emission and combustion properties of camelina biodiesel blends, *Energy Convers Management*, 96, 47-57, 2015.
18. Yılmaz İ.T., Gumus M., A research on biogas-diesel dual fuel diesel engine, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (3), 919-927, 2017.
19. Xue J., Grift T.E., Hansen A.C., Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1098-1116, 2011.
20. Armas O., Garcia-contreras R., Ramos A., Impact of alternative fuels on performance and pollutant emissions of a light duty engine tested under the new European driving cycle, *Applied Energy*, 107, 183-190, 2013.
21. Lopes M., Serrano L., Ribeiro I., Cascao P., Pires N., Rafael S., Tarelho L., Monteriro A., Nunes T, Evtyugina M., Nielsen O.J., Silva M.G., Miranda A.I., Borrego C., Emissions characterization from EURO 5 diesel/biodiesel passenger car operating under the new European driving cycle. *Atmospheric Environment*, 84, 339-348, 2014.
22. Karavalakis G., Stournas S., Bakeas E., Effects of diesel/biodiesel blends on regulated and unregulated pollutants from a passenger vehicle operated over the European and the Athens driving cycles. *Atmospheric Environment*, 43, 1745-1752, 2009.
23. Can Ö., Öztürk E., Yücesu H.S., Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine, *Renewable Energy*, 109, 73-82, 2017.
24. Imtenan S., Varman M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Sajjad H., Arbab M.I., Rizwanul Fattah I.M., Impact of low temperature combustion attaining strategies on diesel engine emissions for diesel and biodiesels: A review, *Energy Conversion and Management*, 80, 329-356, 2014.
25. Ozan C., Mustafa C., Investigation of the Effects of Catalyst and Alcohol Amounts on the Fuel Properties of Biodiesel From Various Vegetable Oils, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21 (2), 367-272, 2006.
26. Durmuş B., Koçer N.N., Production Potential From Oil Seeds in Turkey, *Batman University Journal of Life Sciences*, 7 (2), 45-49, 2017.
27. Heywood J.B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, vol. 21, New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 1988.
28. Salamanca M., Mondragón F., Agudelo J.R., Santamaria A., Influence of palm oil biodiesel on the chemical and morphological characteristics of particulate matter emitted by a diesel engine, *Atmospheric Environment*, 62, 220-227, 2012.
29. Palash S.M., Kalam M.A., Masjuki H.H., Masum B.M., Rizwanul Fattah I.M., Mofijur M., Impacts of biodiesel combustion on NOx emissions and their reduction approaches, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 473-490, 2013.
30. Kaya T., Kutlar O.A., Taskiran O.O., Evaluation of the Effects of Biodiesel on Emissions and Performance by Comparing the Results of the New European Drive Cycle and Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle, *Energies*, 11 (10), 2814, 2018.
31. Guido C., Beatrice C., Di Iorio S., Fraioli V., Di Blasio G., Vassallo A., Ciaravino C., Alternative Diesel Fuels Effects on Combustion and Emissions of an Euro5 Automotive Diesel Engine, *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, 3 (1), 107-132, 2010.
32. Liu Q., Fu J., Zhu G., Li Q., Liu J., Duan X., Guo Q., Comparative study on thermodynamics, combustion and emissions of turbocharged gasoline direct injection (GDI) engine under NEDC and steady-state conditions, *Energy Conversion and Management*, 169, 111-123, 2018.
33. Shim B.J., Park K.S., Koo J.M., Jin S.H., Work and speed based engine operation condition analysis for new European driving cycle (NEDC), *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28(2), 755-761, 2014.
34. Kousoulidou M., Fontaras G., Ntziachristos L., Samaras Z., Biodiesel blend effects on common-rail diesel combustion and emissions, *Fuel*, 89,3442-3449, 2010.
35. Sileghem L., Bosteels D., May J., Favre C., Verhelst S., Analysis of vehicle emission measurements on the new WLTC, the NEDC and the CADC, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 32, 70-85, 2014.
36. Ryu K., Effects of pilot injection pressure on the combustion and emissions characteristics in a diesel engine using biodiesel-CNG dual fuel. *Energy Conversion and Management*, 76, 506-516, 2013.
37. Can Ö., Öztürk E., Solmaz H., Aksoy F., Çınar C., Yücesu H.S., Combined effects of soybean biodiesel fuel addition and EGR application on the combustion and exhaust emissions in a diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, 95, 115-124, 2016.
38. Alptekin E., Emission, injection and combustion characteristics of biodiesel and oxygenated fuel blends in a common rail diesel engine, *Energy*, 119, 44-52, 2017.
39. Brace C.J., Burke R., Moffa J., Increasing accuracy and repeatability of fuel consumption measurement in chassis dynamometer testing, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 223 (9), 1163-1177, 2009.
40. Alleman T.L., McCormick R.L., *Biodiesel Handling and Use Guide*. Washington DC, USA, 2016.
41. Lapuerta M., Armas O., Rodriguez-Fernandez J., Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 198-223, 2008.

