



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİR KLORÜR (FeCl_3) KATKILI BİYODİZEL -
DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ BİR DİZEL
MOTORDA KULLANIMI**

Ahmet BEYTEKİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

MAYIS-2019
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ahmet BEYTEKİN

Tarih:

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet BEYTEKİN tarafından hazırlanan “*Demir Klorür ($FeCl_3$) Katkılı Biyodizel - Dizel Yakıt Karışımlarının Bir Dizel Motorda Kullanımı*” adlı tez çalışması 22.10/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Hasan BAYINDIR

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Selman AYDIN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerraki IŞIK

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEMİR KLORÜR ($FeCl_3$) KATKILI BİYODİZEL - DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ BİR DİZEL MOTORDA KULLANIMI

Ahmet BEYTEKİN

**Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Selman AYDIN

2019, 72 Sayfa

Jüri

Dr. Öğretim Üyesi Selman AYDIN

Doç. Dr. Hasan BAYINDIR

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerraki IŞIK

Bu çalışmada, referans dizel yakıtı ile atık hayvansal yağlardan elde edilmiş biyodizel yakıtı belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra hazırlanan yakıtların ikisine fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla 100 milli litre yakıtta 1,59 milli gram miktarında $FeCl_3$ katkısı eklenmiştir. Bu yakıtlar DY (dizel yakıt), HB8 (%8 hayvansal biyodizel ve %92 dizel yakıt), HB15 (%15 hayvansal biyodizel ve %85 dizel yakıt), HB35 (%35 hayvansal biyodizel ve %65 dizel yakıt), KHB15 (%15 hayvansal biyodizel, %85 dizel yakıt ve $FeCl_3$ katkısı) ve KHB35 (%35 hayvansal biyodizel, %65 dizel yakıt ve $FeCl_3$ katkısı) biçiminde hazırlandıktan sonra her yakıt manyetik karıştırıcıyla 30 dakika karıştırılıp ve bekletildikten sonra fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Deney yakıtları tek silindirli, direkt püskürtmeli, su soğutmalı ve sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir dizel araştırma motorunda 4 kg (%8), 8 kg (%16) ve 12 kg (%24) yüklerde test edilerek, yanma ve performans değerleri alınmış ve grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığında; test yakıtlarının tüm yüklerde silindir iç basınçları ve vuruş yoğunluğunun birbirine çok yakın olduğu, katkılı yakıtların kütleli yanma oranının katkısız yakıtların kütleli yanma oranından daha düşük olduğu görülmüştür. 8 kg yükteki katkılı yakıtların özgül yakıt tüketiminin katkısız yakıtlardan %2,56 düşük olduğu, motor momentinin %2,71 yüksek olduğu, efektif verimin %1,9 ve ortalama efektif basıncın da %3,22 yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Dizel motor, Yanma, $FeCl_3$ katkısı, Performans

ABSTRACT

MS THESIS

USE OF IRON CHLORIDE (FeCl_3) ADDED BIODIESEL - DIESEL MIXTURES IN A DIESEL ENGINE

Ahmet BEYTEKİN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY**

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AUTOMOTIVE ENGINEERING

Advisor: Assist. Prof. Dr. Selman AYDIN

2019, 72 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Selman AYDIN

Assoc. Prof. Dr. Hasan BAYINDIR

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Zerraki IŞIK

In this study, 1,59 milligram FeCl_3 contribution was added to 100 mL liters of fuel to improve the physical and chemical properties of to of the fuels prepared after mixing the biodiesel fuel obtained from referance diesel fuel and animal fats at certain rates. These fuels were prepared in the forms of DY (diesel fuel), HB8 (8% animal biodiesel and 92% diesel fuel), HB15 (15% animal biodiesel and 85% diesel fuel), HB35 (35% animal biodiesel and 65% diesel fuel), KHB15 (% 15 animal biodiesel, 85% diesel fuel and FeCl_3 admixture) and KHB35 (35% animal biodiesel, 65% diesel fuel and FeCl_3 admixture) and the physical and chemical properties were determined after each fuel has been mixed with a magnetic stirrer for 30 minutes and waited. Test fuels were tested on 4 kg, 8 kg and 12 kg loads in a single cylinder, direct spray, water cooled and compressible ratio diesel engine, and the combustion and performance values were taken and evaluated graphically. According to the results of the experiment; it was found that the cylinder internal pressure and the strike density of the test fuels were very close to each other at all loads, and the mass burning rate of doped fuels is lower than the mass burning rate of unalloyed fuels. It was determined that the specific fuel consumption of doped fuels at 8 kg load was 2,56% less than the mere fuels, and the engine torque was 2,71% high, the effective efficiency was 1,9% and the mean effective pressure was 3,22% high.

Keywords: Biodiesel, Diesel engine, Combustion, FeCl_3 additive, Performance

ÖNSÖZ

Tez çalışma sürecimde, her aşamada katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen, daimî bir şekilde bana yol gösteren hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Selman AYDIN'a teşekkür eder, deney yakıtlarımın analizlerinde yardımcı olan Batman Üniversitesi Rafineri ve Petro-Kimya Bölüm başkanı Dr. Öğr. Üyesi Fevzi YAŞAR ve Dicle Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri/ Otomotiv Teknolojileri Öğr. Gör. Dr. Erdal ÇILGIN'a teşekkürlerimi sunarım. Deneylerim sırasında bana yardımcı olan Mehmet YILMAZ'a ve Orhan DİLEKÇİ'ye ve ayrıca daima yanımda olan hiçbir desteğini esirgemeyen ailem ve dostlarıma en içten duygularıyla saygı ve sevgilerimi iletiyorum.

Ahmet BEYTEKİN

BATMAN-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	III
ABSTRACT	IV
ÖNSÖZ.....	V
SİMGELER	VIII
KISALTMALAR.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. DİZEL MOTORLAR	16
3.1. Dizel Motorlarında Yanma Ve Yanma Safhaları	21
3.1.1. Tutuşma gecikmesi.....	22
3.1.2. Kontrolsüz yanma.....	23
3.1.3. Kontrollü yanma	24
3.1.4. Art yanma	24
3.2. Dizel Yakıtının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	24
3.2.1. Viskozite.....	26
3.2.2. Özgül ağırlık.....	26
3.2.3. Uçuculuk noktası	26
3.2.4. Parlama noktası	27
3.2.5. Donma noktası.....	27
3.2.6. Su ve tortu miktarı	28
3.2.7. Buharlaşma noktası	28
3.2.8. Ateşleme noktası	28
3.2.9. Setan sayısı	29
3.2.10. Dizel indeksi.....	30
3.2.11. Anilin noktası	30
3.2.12. Kükürt miktarı	30
3.2.13. Kül miktarı.....	31
3.2.14. Karbon atıkları.....	31
3.2.15. Yoğunluk	31
3.2.16. Yağlayıcılık özelliği	31
3.2.17. Oksidasyon kararlılığı.....	32
3.2.18. Soğuk akış özelliği	32

4. BİYODİZEL	32
4.2. Biyodizel Üretim Metotları.....	36
4.2.1. Seyreltme yöntemi	37
4.2.2. Mikro-emülsiyon yöntemi	37
4.2.3. Piroliz yöntemi	37
4.2.4. Transesterifikasyon yöntemi	37
5. MATERYAL VE METOD.....	38
5.1. Deney Yakıtlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	38
5.2. Motor Parametrelerinin Hesaplanması ve Deneysel Metot.....	39
6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	43
6.1. Silindir İç Basınç Parametresinin Değerlendirmesi	43
6.2. Kütleli Yanma Oranı Parametresinin Değerlendirmesi	45
6. 3. Ortalama Gaz Sıcaklığı Parametresinin Değerlendirilmesi.....	47
6. 4. Vuruntu Yoğunluğu Parametresinin Değerlendirilmesi.....	50
6. 5. Isı Salınım Hızı Parametresinin Değerlendirilmesi	52
6. 6. Net Isı Salınım Hızı Parametresinin Değerlendirilmesi	54
6.7.Özgül Yakıt Tüketimi Parametresinin Değerlendirilmesi	55
6. 8. Motor Momenti Parametresinin Değerlendirilmesi.....	56
6.9. Efektif Güç Parametresinin Değerlendirilmesi	57
6.10. Efektif Verim Parametresinin Değerlendirilmesi	58
6.11. Ortalama Efektif Basınç Parametresinin Değerlendirilmesi	59
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKÇA	66
ÖZGEÇMİŞ.....	72

SİMGELER

CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
FeCl ₃	: Demir klorür
NO	: Azot monoksit
O ₂	: Oksijen gazı
HC	: Hidrokarbon
Pe	: Efektif güç
Nm	: Newton metre
SO _x	: Kükürt oksit
ppm	:Milyonda bir parçacık miktarı
kg	:Kilogram
v/g	:Varil/gram
d/dk	:Devir/dakika
ms	:Milli saniye

KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (American Standards of Testing Of Materials)
DY	: Dizel yakıt
EN14214	: Avrupa birliği biyodizel standardı
ETV	: Efektif termik verim
EPDK	: Enerji piyasaları denetleme kurulu
HB	: Hayvansal biyodizel
KHB	: Katkılı hayvansal biyodizel
ÜÖN	: Üst ölü nokta
KMA	: Krav millî açısı
ÖTV	: Özel tüketim vergisi
ÖYT	: Özgöl yakıt tüketimi
PM	: Partikül madde
TS	: Türk standartları

1. GİRİŞ

Enerji kullanımı ülkelerin gelişmişlik düzeyiyle ilgili olup; bir ülkenin ekonomik, sosyal ve politik gelişiminin en temel sürükleyici gereksinimlerinden biridir. Bu bakımdan enerji güvenliği olgusu, ekonomik, toplumsal ve ulusal güvenliğin en temel unsurlarıdır. Enerji, toplumsal ve ulusal yaşamımızı sürdürebilmek, hemen hemen tüm süreçler için bir girdi olup; sanayi, ulaşım, ısınma, barınma ve ticarethane gibi sektörlerde kullanılmaktadır. 2015 yılı sonu itibariyle dünyada tüketilen enerji kaynaklarına bakıldığında; %32,8 petrol, %29 kömür, %24,2 doğal gaz, %6,8 hidroelektrik, %4,5 nükleer ve %2,7 yenilenebilir enerji olduğu görülmektedir (Anonim, 2018). Kullanılan bu değerlere bakıldığında, uluslararası bazda tüketilen enerji miktarının yaklaşık olarak %84'ü fosil kaynaklı (petrol, kömür ve doğal gaz) yakıtlardan elde edilmektedir. Global düzeyden tüketilen bu enerji bölümlerinin, ulusal düzeyde Türkiye için düşünüldüğünde ne kadar seyrek olduğu görülebilmektedir. 2016 Dünya Enerji İstatistikleri Raporuna bakıldığında, Türkiye'nin 2015'te primer enerji kaynaklarının tüketimi %7 artmış olmasına rağmen, dünya enerjisinin sadece %1'ni tüketmektedir (Anonim, 2018). Kullanılan enerji türlerine bakıldığında ise, 2015'te petrol tüketimini %12,5 arttırmış olmasına rağmen dünya petrolünün sadece %0,9'lük kısmını, doğal gazda %1,3, kömürde %4,7 ve yenilenebilir enerjide ise global düzeyde %1'ni tüketmektedir (Anonim, 2018).

Fosil kayıtlar; yenilenemeyen kaynaklar olup, dünyada çok geniş ve spesifik alanlarda kullanılmaktadır. Bu fosil kaynaklardan olan petrol, özellikle ulaştırma sektörünün temel enerji kaynağı olarak, dünya birincil enerji tüketimi içinde en büyük paya sahiptir. Son yıllarda üretilen petrol miktarına bakıldığında 2014'te açıklanan petrol miktarı 1,7 trilyon varil olup 2013'ün %0,06 azalmış halidir. 2014 yılında 88,7 milyon v/g olarak kaydedilen petrol üretimi, 2015'te 2,8 artarak 91,2 milyon v/g'e yükselmiş ve üretimin %30'lük bölümü Orta Doğu'da gerçekleşmiştir (Anonim, 2018). Üretilen bu petrol rezervlerinin %47,7 Orta Doğu, %19,4 Orta ve Güney Amerika, %13,7 Kuzey Amerika, %0,7 Avrupa, %7,6 Afrika, %8,4 Avrasya ve %2,5 Asya Pasifikte üretilmektedir (Anonim, 2018). Kullanılan bu petrolün rezerv ömrü, eldeki teknolojilerle ekonomik olarak üretilen ispatlanmış rezervlerin, mevcut üretime bölünmesiyle elde edilebilir.

Günümüzde başta petrol olmak üzere diğer fosil yakıtların (kömür, doğal gaz) çok fazla dengesiz kullanılmasına rağmen, teknolojinin gelişmesiyle yeni rezervlerin bulunması da artmaktadır. Bundan dolayı 2013 yılında bulunan petrol rezervi 53,5 yıl hesaplanırken, 2014 yılında artan teknolojiyle beraber bulunan rezerv sayısının artmasıyla, eldeki rezerv ömrü 56,8 yıl olarak hesaplanmıştır (Anonim, 2018). Fosil yakıtların (petrol, kömür, doğal gaz) tüketime bağlı talep artışı her geçen yıl artmaktadır. Bu talepler ve fosil yakıtların yenilenemez olduğu göz önüne alındığında, fosil yakıt rezervlerinin tükeneyeceği kessin olarak söylenebilir. Fakat teknolojinin muazzam geliştiği bu dönemde, yeni rezervlerin bulunabilirliği göz önüne alındığında fosil yakıtlarının ne zaman biteceği ile ilgili net bir tarih vermek pek doğru olmayabilir.

Fosil yakıt kökenli olan petrolün, 2015 yılına kadar taşıma sektöründe kullanımı %94 oranındadır (Anonim, 2018). Yirmi yıl sonra bu oranın %89 düşmesi tahmin edilmektedir. Bu oranının düşmesi taşıt sektöründe alternatif yakıtın artması ve alternatif yakıtın kullanılmasıyla ilgilidir. Petrol yakıtının, bitecek olması ve yanma sırasında meydana gelen egzoz emisyon gazlarının insan sağlığı açısından tehlikeli ve ekosistem açısından zararlı olması taşıt sektöründe alternatif yakıt bulmaya sevk etmiştir. Bunun için; özellikle dizel yakıtı alternatif yakıt olarak biyodizel yakıtı konusunda çok geniş çaplı araştırmalar yapılmıştır. Biyodizel, petrol kaynaklı dizel yakıtına yanma ve performans bakımından benzer olup; bitkisel ve hayvansal yağlardan, evsel ve endüstriyel atık yağlardan, kolza, palm, soya, pamuk, kenevir, hindistan cevizi, ay çiçeği ve yerfıstığı gibi bitkilerin tohumlarından elde edilen yağların katalizör ve alkol eşliğinde transesterifikasyon sürecinde meydana getirdiği alternatif bir yakıt türüdür (Beycar Kafadar, 2015). Dr. Rudolf Diesel, uzun uğraşlar ve ciddi hatalar sonucu, bitkisel yağlar ve mineral yağlar gibi farklı yakıtlarla çalışabilecek bir dizel motor icat etmiştir. Rudolf Diesel, 1900 yılında Paris Dünya Sergisine katıldığında yer fıstığı yağıyla çalışabilecek %100 dizel motor icat ettiği görülüyor. Bu da biyodizel yakıtı konusunda yapılan araştırmaların 1900 yılından öncesine dayandığını gösterir. Dr. Diesel'in, 1911 yılında dizel motor yakıtlarına alternatif olan biyodizel yakıtıyla çalışabileceğini belirttikten sonra, özellikle I. Dünya savaşından sonra büyük motorlu araçlarda kullanılmış ve böylece dünyaya yayılmıştır. 1980'lerden sonra Avrupa'nın birçok ülkesinde biyodizel üretimine başlanmış ve bununla beraber belirli normlar getirilmiştir (Anonim, 2018). Günümüzde biyodizel üretimi için belirli birkaç yöntem uygulanmaktadır. Bunlar; baz ve asit katalizörlerin, yağ ile transesterifikasyonu veya

yağın, yağ asitlerine dönüştürülmesiyle uygulanan yöntemlerdir (Katre ve ark., 2018). Bu yöntemler içerisinde en düşük basınç ve sıcaklıkta yaklaşık %97 verimle biyodizel yakıtı elde edilen baz katalizli transesterifikasyon yöntemidir (Fayemiwo ve ark., 2016). Uygulanan bu transesterifikasyon sürecinde, trigliserinin alkol ile reaksiyonu sonucu ester ve gliserol oluşur (McNutt ve Yang, 2017). Bu trigliserin temel yapısını uzun üç zincirli yağ asidi bulunduran gliserin molekülleri oluşturmaktadır. Bu yağ asitlerinin bu yapısı hem biyodizel karakteristiğini hem de gliserine bağlı olan yağ karakteristiğini belirler. Esterifikasyon süreci sırasında, bulunan katalizör (genellikle sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit) eşliğinde trigliserid ve alkol (metanol veya etanol) ile reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonucu mono alkil ester veya biyodizel ve gliserin oluşur. Dibe çöken bu ağır gliserin ayrıştırıldıktan sonra kalan yakıt yıkanır ve saf biyodizel elde edilir (McNutt ve Yang, 2017).

Biyodizel yakıtının üretimi için yağlarda uygulanan transesterifikasyon sürecinin temel faydalarına bakıldığında; dizel yakıtı göre çok fazla olan bitkisel yakıt viskozite oranının düşürülmesi, gliserinin üretilen yakıt içerisinde tamamen uzaklaştırılması, üretilen yakıtın kaynama ve parlama noktalarının düşürülmesi, alkollün tamamen uzaklaştırılması ve yakıtın akışkanlık derecesinin artırılması olarak görülebilir (McNutt ve Yang, 2017). Biyodizel yakıtının faydalarına bakıldığında ise; dizel motorun yapısında hiçbir değişikliğe gidilmeden kullanılabilir olması, setan sayısı bakımından daha zengin ve parlama noktasının düşük olması, dizel yakıtına göre taşınması ve depolanması daha güvenli olması, egzoz emisyonlarını iyileştirmesi ve sera etkisine neden olan CO₂ gazını %100'e kadar iyileştirilmesi ve dizel yakıtına göre daha iyi yağlayıcılık etkisinin olması gibi avantajlar sıralanabilir (Sundus ve ark., 2017). Biyodizel'in dezavantajlarına bakıldığında ise; yüksek viskozite, düşük buharlaşma, düşük doymamış HC zinciri reaktivitesi ve dizel araçlara göre daha fazla NO_x salınımı şeklinde sıralanabilir (Güner, 2013; Chou ve ark., 2014).

Bu çalışmada, referans bir dizel yakıtı ile atık hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel yakıtı karıştırıldıktan sonra belirlenmiş yakıtların ikisine 100 milli litre başına 1,59 milli gram sıvı şeklinde ticari bir firmadan temin edilen FeCl₃ katkısı eklenmiştir. Hazırlanan bu yakıtlar sabit 1550 dev/dk devirde, farklı yüklerde (4 kg-%8, 8 kg-%16, 12 kg-%24), direkt püskürtmeli, su soğutmalı ve sıkıştırma oranı değişebilen bir dizel motorunda test edilerek yanma ve performans değerleri alınarak grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde, biyodizel yakıtlarının dizel motorlarında test edilmesiyle ilgili güncel çalışmalar verilmiştir. Bu çalışmalarda, biyodizel yakıtlarının test edilmesiyle elde edilen yanma, performans ve emisyon değerleri verilmiş ve daha sonra aynı test motoruyla yapılan çalışmalar analiz edilerek bu bölüme eklenmiştir.

Kannan G.R ve arkadaşları. (2011), tek silindirli, su soğutmalı, sabit 1500 dev/dk'da bir TV1- KIRLOSKAR dizel motorunda hazırladıkları dizel ve biyodizel yakıt karışımlarına belirli oranlarda FeCl_3 katkısı ekleyerek motorun emisyon ve yanma değerlerini karşılaştırmıştır. Yakıt katkı maddesi belirlenirken Cerium (Ce), Cerium-Demir (Ce-Fe), Platinyum (Pt), Platinyum-Cerium (Pt-Ce), Demir (Fe), Mangan (Mn), baryum ve kalsiyum gibi katkı maddeleri belirli testlerden geçirildikten sonra yakıt karışımları için en uygun katkı maddesinin FeCl_3 (demir klorür) olduğu tespit edilmiş ve yakıtın içerisine litre başına 20 milli gram eklenerek test yakıtları hazırlanmıştır. Test yakıtlarından elde edilen sonuçlara bakıldığında ise; özgül yakıt tüketiminin %8,6 azaldığı ve efektif verimin %6,3 olarak arttığı görülmüştür. Maksimum silindir basıncının ise krank açısına göre 360° ile 380° meydana geldiği tespit edilmiştir. Emisyon değerleri standart dizel değerleriyle kıyaslandığında, azot oksit (NO), karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO_2) gibi emisyon değerlerinde azalmalar tespit edilmiştir.

AlokRanjan ve arkadaşları. (2018), atık kızartma yağlarından elde ettiği biyodizel yakıtı, metanol ile normal dizeli belirli oranlarda harmanladıktan sonra katkı maddesi olarak magnezyum oksit (MnO) ilave edilmiştir. Hazırlanan bu yakıtlar tek silindirli, su soğutmalı bir dizel motorunda yakılmıştır. Test sonuçlarına baktığımızda ise, magnezyum oksit harmanlı yakıtların emisyon değerleri standart dizel ve biyodizel karışimli yakıtların değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Maksimum silindir basıncının krank açısına göre yaklaşık 380° derecede olduğu görülmüş ve ısı salınım hızının da magnezyum oksitsiz yakıtlara göre azaldığı tespit edilmiş, efektif verim ve özgül yakıt tüketiminin de arttığı tespit edilmiştir.

Shakti P. Jena ve arkadaşları. (2018), tek silindirli dizel pistonun üst kısmını yttria zirconia ile kapladıktan sonra dizel yakıtının içerisine $0,2 \text{ gL}^{-1}$ oranında demir klorür (FeCl_3) karıştırarak yakıtların emisyon ve yanma değerlerini belirlemek istemiştir. Test

yakıtlarından elde edilen değerlere bakıldığında, maksimum silindir basıncının üst ölü noktadan yaklaşık olarak 20° sonra ortaya çıktığı, kaplamalı ve demir klorür içeren test bölümünde efektif verimin %2,7 arttığı ve kaplamasız standart motorla da karşılaştırıldığında özgül yakıt tüketiminin %8,3 azaldığı görülmüştür. Emisyon değerlerine de bakıldığında karbon monoksit, hidrokarbon ve duman yoğunluğunun azaldığı, kısmi olarak ta azot oksit ve karbondioksit değerlerinde de artışlar görülmüştür.

Channappagoudra ve arkadaşları. (2018); süt atığı pislik yağı metil esterden elde edilen biyodizeli tek silindirli, su soğutmalı, dört stroklu T V1 (Kirlaskor) dizel motorunda test ederek emisyon ve yanma verilerini analiz etmiştir. Yanma verilerine bakıldığında motorun maksimum silindir basıncı krank miline bağlı olarak üst ölü noktadan yaklaşık 10° sonra elde edilmiştir. Test sırasında elde edilen verilere bakıldığında, tüm karışımların efektif veriminin saf dizel yakıtın efektif veriminin altında kalmıştır. Test yakıtlarının emisyon değerlerine bakıldığında ise; hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) emisyon değerlerinin düştüğü azot oksit (NO) değerlerinde ise artmalar görülmüştür.

Pragyan ve arkadaşlar. (2017), bir dizel motorunda dizel yakıtına katkı olarak FeCl₃ ve dietil eter katkısı kullanmıştır. FeCl₃ katkılı yakıt dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında, efektif verimin %8 arttığı ve özgül yakıt tüketiminin de %9 azaldığı görülmüştür.

Akay (2017), atık zeytin yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel elde etmiş ve elde ettiği biyodizeli %30 oranında dizel yakıtına karıştırarak tek silindirli dizel motorunda yanma, emisyon ve performans değerlerini dizel yakıtın yanma değerleriyle karşılaştırmıştır. Test motoru 2200 d/dakikada sabit devirde ve 3,25 Nm, 7,5 Nm, 11,25 Nm ve 18,75 Nm gibi farklı yüklerde çalıştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, atık zeytin yağından elde edilen biyodizelin ısı verimi normal dizel yakıtın ısı veriminden %1 ile %5 aralığında daha düşüktür. CO₂ miktarı 11,25 Nm’de dizel yakıtı göre %41 daha fazladır. Tüm farklı yüklerde is oranı %37,5 oranında azalmış NO_x miktarı da dizel yakıtına göre en yüksek yükte (18,75 Nm) %9,5 oranında arttığı tespit edilmiştir.

Gündüz (2017), atık kızartma yağlarından biyodizel elde etmiş ve elde ettiği biyodizel’i önce saf ardından da biyodizel’e %5-%10 ve %15 oranında etanol karıştırarak yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemiştir. Daha sonra elde ettiği bu yakıtları, dizel motorunda farklı devirlerde sırasıyla test ederek emisyon ve performans değerlerini

dizel yakıtıyla karşılaştırmaya çalışmıştır. Bu çalışma sonucunda, biyodizel ve biyodizel+etil alkol yakıtının moment değerlerini dizel yakıtın moment değerlerinden daha düşük olduğu hesaplamıştır. Bunun sebebini de dizel yakıtının ısı değeri biyodizel yakıtın ısı değerinden daha yüksek oluşu, parlama noktası ve viskozitenin diğer yakıt türlerinden daha düşük olmasına bağlamıştır. Biyodizel'in ve türevlerinin özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra biyodizel ve biyodizel+etil alkol yakıtlarının NO_x oranı dizel yakıtına göre daha fazla HC oranı ise biyodizel yakıtlarında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel karışımli yakıtların CO₂ oranı, dizel yakıtında daha fazla ortaya çıkmış, en düşük CO₂ oranı da biyodizel + %15 etil alkol'de görülmüştür. CO ise CO₂'in tam tersi olarak azaldığı görülmüştür.

Al-Samaraae (2017), dizel aspir karışımli biyodizel ve bütanol karışımli biyodizel üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Bu yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edildikten sonra bu üç yakıtın yoğunluğunu ve kinematik viskozitesi tespit etmek için polinom eğrisi uydurma tekniği kullanmıştır. Daha sonra bu yakıtların dizel motorunda performans, tork ve emisyon değerlerine olan etkilerini tespit etmek için sırasıyla test etmiştir. Elde edilen sonuçlarda test yakıtından NO_x emisyonları ve özgül yakıt tüketiminde artışa karşılık olarak, hazırlanan tüm yakıt karışımlarında tork, CO ve HC değerlerinde azalma tespit edilmiştir.

Mekaooussi (2017), dizel yakıtına alternatif olarak biyodizel, dizel ve bütanol karışımları üzerine çalışma yürütmüştür. Çalışmada kullanılan biyodizel Aleuritesmoluccanus'dan elde edilmiştir. Yedi farklı biyodizel+bütanol+dizel kullanılmıştır. Hazırlanan bu yakıtların öncelikle alevlenme noktası, kinematik viskozite, akma noktası, yoğunluk ve donma noktası gibi parametreler tespit edilmiştir. Bu tespitlerden sonra yakıtlar test edilerek motor performansı, efektif güç, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyon gibi değerler karşılaştırılmak istenmiştir. Elde edilen sonuçlarda; biyodizel+bütanol+dizel karışım oranları normal dizel yakıtına göre daha avantajlı soğuk akış değerleri elde edilirken yoğunluk ve kinematik viskozitede iyileşme gözlemlenmişken diğer değişimler normal dizel yakıtına paralel olarak tespit edilmiştir. Bu testlerin devamında tam yükte çalışılan motorda HC, CO ve efektif güçte normal Euro dizele göre azalma, özgül yakıt tüketiminde de artışlar gözlemlenmiştir.

Alçelik (2017), atık bitkisel yağlardan elde ettiği biyodizeli saf dizel yakıtı içerisinde belirli hacimlerde (%0,5, %15, %30, %50, %100) karıştırarak, sabit devirde ve farklı yüklerde (1250 d/dk, 1750 d/dk, 2250 d/dk, 2750 d/dk ve 3250 d/dk) motor performansına bağlı olarak moment değişimi, tork değişimi ve egzoz emisyon değişimini test etmek istemiştir. Tek silindirli dizel motor 3250 dev/dk 'da çalışma sıcaklığına gelene kadar normal dizel yakıtıyla çalıştırılmıştır. Yakıt karışım oranları hazırlandıktan sonra sırayla test edilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen verilere bakıldığında, en yüksek moment değeri saf dizelde elde edilmiş olup en düşük moment değeri de %100 biyodizel yakıtının yanması sonucu elde edilmiştir. Tüm karışım oranları içi en yüksek tork oranı 2225 d/dk 'da en düşük tork oranı da 1250 d/dk 'da elde edildiği gözlemlenmiştir. Tüm devirlerde dizel yakıtı içerisinde biyodizel yakıtının oranı arttıkça tork değerinin azaldığı görülmüştür. Yaşanan bu durum dizel yakıtının ısı değerinin biyodizel yakıtın ısı değerine göre daha yüksek olmasına bağlanmıştır. Ayrıca torkun azalması, yanma sonucu mekanik kayıplarının artması ve volümetrik verimin düşmesine de bağlanmıştır. Hazırlanan karışımlar 2250 d/dk 'da yakıldığında saf dizelde (B0) elde edilen tork oranı 20,01 Nm, %5 biyodizelle yapılan karışımında B5 19,17 Nm, B15 karışımıyla 19,17 Nm, B30 ile 16,02 Nm, B50'de 14,6 ve B100'de 11,64 Nm tork elde edilmiştir. Yanma sonucu meydana gelen güç değişimlerine bakıldığında da en yüksek güç 3250 d/dk'da elde edilmiş en düşük güçte 1250 d/dk'da elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketimine bakıldığında; 1250 d/dk' da en çok 2750 d/dk'da ise en az olduğu görülmüştür.

Yanma sonucu emisyon değerlerine bakıldığında, oksijen gazı (O_2) oranı biyodizel miktarının artmasıyla artmaktadır, çünkü biyodizelin içerisindeki oksijen miktarı saf dizel yakıtının içerisindeki oksijen miktarından daha fazladır. Düşük devirlerde motorun volümetrik veriminin yüksek olması sebebiyle, oksijen gazı (O_2) miktarı en düşük devir olan 1250 d/dk'da gözlemlenmiştir. En yüksek devirde tüm yakıtların yanması durumunda, oksijen gazı en düşük saf dizelde ortaya çıkmış, en fazla da %100 biyodizelin yanması sonucu ortaya çıkmıştır. Tüm devirlerde yakıtların yanması durumunda B0 yakıtının CO emisyonları, hazırlanan tüm yakıt karışımlarından daha fazla çıkmıştır. Yanma esnasında açığa çıkan CO miktarı 2750 d/dk'ya kadar artmış daha sonra da azalmıştır. Bu azalışın temel nedeni ise, devir sayısına bağlı olarak yakıtın homojen karışması ve yanmanın iyileşmesine bağlanmıştır. Azot oksit (NO_x) ve karbondioksit (CO_2) miktarına bakıldığında, B100 yakıtının içerisindeki NO_x miktarı

tüm test yakıtlarında B0'a göre daha fazla açığa çıkmıştır. Azot oksit miktarı B100 yakıtı için 1750 d/dk'ya kadar artmış olup daha sonra azalmıştır. En düşük azot oksit değeri B0 ve B30 için 2250 d/dk 'da B5 ve B50 için ise 3250 d/dk 'da ölçülmüştür. Tüm karışımlar için açığa çıkan CO₂ oranı motor devrinin artışına bağlı olarak artış göstermiştir. Motor devrinin 2250 d/dk'ya kadar B0'a bağlı olarak elde edilen karbon monoksit değerleri, diğer yakıt oranlarına göre daha yüksek çıkmıştır. Yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonlarına bakıldığında da yakıtın içerisindeki B100 oranına bağlı olarak hidrokarbonların azaldığı görülmüştür. Motor devrinin azalmasıyla tüm yakıt karışımlarında HC miktarının azaldığı görülmüştür. Türbülans kalitesinin artmasıyla yanma kalitesi artacağı için HC emisyonları azalmıştır.

Balcı (2017), menengiç yağından transesterifikasyon yoluyla biyodizel elde etmiş daha sonra elde ettiği biyodizele farklı hacimlerde biyoetanol ve motorin ekleyerek dört zamanlı tek silindirli bir dizel motorunda test ederek egzoz emisyonlarına, yağlama yağına ve motor performansına etkilerini araştırmıştır. Daha sonra %100 motorin ve diğer karışımlar için yapılan yüz saatlik çalışma sırasında farklı zaman dilimlerinde (0, 20, 40, 60, 80, 100 saat) motor yağlama yağından numuneler alınarak aşınma elementleri (Cr, Al, Pb, Cu, Fe) analizi yapılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen sonuçlara göre, hazırlanan karışımların yakılması sonucunda M100'e göre motor performansının kısmi olarak azaldığı ve bazı yerlerde arttığı ayrıca EBM1 yakıtının dizel yakıtına benzer sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. M100 yakıtına göre diğer karışımların tamamında CO ve SO₂ emisyon değerlerinde azalma meydana gelirken HC, NO_x, O₂ ve CO₂ gibi egzoz emisyon gazlarında artışlar meydana geldiği görülmüştür.

İnal (2017), haşhaş yağından tek aşamalı alkali katalizör kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel elde edilmiştir. Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlendikten sonra elde edilen biyodizel yakıtına hacimsel olarak %10 ve %90 oranında dizel yakıtı eklenmiştir. Daha sonra elde edilen bu yakıtlar test edilerek motor performansına ve egzoz emisyon değerlerine etkileri araştırılmıştır. Geleneksel dizel yakıtına göre biyodizel yakıtının kullanımı özgül yakıt tüketimini %8,53 oranında artırmış motor momentini gücünü sırayla %2,38 ve %2,41 oranında azaltmıştır. Emisyon değerlerine bakıldığında ise NO_x ve is değerlerinde %6,2 ve %9,18 oranında azalma görülmüştür.

Tosun (2017), aspir yağından biyodizel elde etmiş daha sonra elde edilen bu biyodizel yakıtına belirli oranlarda propanal karıştırılarak bir dizel motorunda test ederek motor performansı ve emisyon değerlerini karşılaştırmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında hem biyodizelin hem de biyodizel+propanal olarak hazırlanan yakıt karışımlarının yakılması sonucu elde edilen performans parametreleri ve emisyonlarda salınan kirletici atıklar dizel yakıtına paralel sonuçlar vermektedir. Fakat NO₂ miktarlarında düşüşler gözlemlenmiştir. Dizel motorunda yanma sonucu yükün artmasına paralel olarak silindir içerisindeki ortalama gaz sıcaklığında, ısı salınım değerlerinde, silindir gaz basıncında ve toplam ısı salınımında artışlar gözlemlenmiştir.

Thapa ve ark. (2017), Jatropha (hint fıstığı) yağından elde edilen biyodizelin diğer biyodizellerle kıyaslanmasını dizel motorunda test ederek çalışma yapmıştır. Jatropha bitkisi yakıt özellikleri ve egzoz emisyon değerleri bakımından geleneksel dizel yakıtı ve diğer biyodizellere kıyasla avantajlara sahiptir. Jatropha biyodizeli diğer dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında sera gazına neden olabilecek kirleticileri daha az salmaktadır ve bu nedenden dolayı daha fazla çevre dostu bir yakıt olduğu tespit edilmiştir. Yanma sonucu elde edilen verilere bakıldığında azot oksit (NO_x) miktarı %5,58'den %25,97 artmış olmasına rağmen partikül madde (PM) miktarı %72,73'ten %50'ye, karbon monoksit (CO) %73'ten %50'ye, yanmamış hidrokarbon (HC) %72'den %45'e ve karbon dioksit (CO₂) miktarı da %80'den %50'ye düştüğü tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak Jatropha biyodizelinin, parlama noktası, bulutlanma noktası ve Jatropha çekirdeğinin içerdiği yağ oranı bakımında uygun olması bu biyodizelin kullanmaya uygun olduğunu göstermektedir.

Çelebi (2017), aspir yağından transesterifikasyon yoluyla biyodizel elde etmiş ve elde ettiği bu biyodizele %10 ve %20 oranında bütanol ilave ederek test yakıt karışımlarını hazırlamıştır. Sonra elde edilen bu karışımlar dizel yakıtıyla harmanlanarak dört silindirli ve dört zamanlı bir dizel motorunda test ederek motor performans değerleri ve egzoz emisyon değerleri kıyaslanmak istenmiştir. Sabit devirlerde ve sabit yüklerde çalıştırılan motorda toplam ısı transferi, vuruş değeri ve kütleli yanma değerlerinde çok küçük ölçüde değişimler meydana gelmiş ve bunlara ek olarak silindir basıncında, yanma hızında, toplam ısı salınımı ve ortalama gaz sıcaklığında olumsuzluklar gözlemlenmiştir. Elde edilen bu yakıt karışımlarının emisyon değerlerinde azalmalar

görölmüş verimde %1,5'lik bandında iyileşmeler görölmüşür. Ayrıca bunlara ek olarak özgül yakıt tüketiminde %5 ve kütleseel yakıt oranında da %6'ya varan artışlar gözlemlenmiştir.

Yeşilyurt (2017), ham sarı hardal yağı tohumundan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel elde etmiş, elde ettiğı bu biyodizele geleneksel dizel yakıtı yanı sıra farkı oranlarda pentanol, izopropanol, metanol, bütanol ve etanol ekleyerek test karışımları elde etmiştir. Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlendikten sonra yakıtlar içerisine statik daldırma yöntemiyle farklı metaller (pirinç, alüminyum, bakır, çinko) daldırılarak paslanma (korozyon) karakteristikleri belirlenmek istenmiştir. Hazırlana bu karışımlar dizel motorunda yakılarak yanma analizi ve yanma değerleri, motor performans parametreleri, egzoz emisyon değerler, enerji ve ekserji değerleri tespit edilmek istenmiştir. Reaksiyon sıcaklığı, katalizör değerleri ve reaksiyon süresi belirlendikten sonra, korozyon durumunu daldırma artışına bağılı olarak metallerin paslanma sürelerinin azaldığı ve en çok korozyona uğrayan metalin bakır olduğı tespit edilmiştir. Test edilen yakıtların efektif güç değerleri ve efektif motor torku dizel yakıt değerlerine göre %12,31 oranında düşmüş efektif özgül yakıt tüketimi de %9,91 oranında artmıştır. Bu yakıtlara alkol ilavesinin duman koyuluğunu, egzoz gaz sıcaklığı, CO, NO_x ve CO₂ değerlerinde azalma O₂ değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. Hazırlanan test yakıtlarının ekserji ve enerji analizleri maksimum motor torkunun elde edildiğı 1400 d/dk'da ve en yüksek gücün tespit edildiğı 2600 d/dk'da tespit edilmiştir.

Sümer (2017), aspir biyodizeli, pentanol ve dizel yakıtını belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen yakıtların direkt püskürtmeli ve dört silindirli bir dizel motorda test ederek egzoz emisyon değerleri ve motor performansındaki değişimler tespit edilmek istenmiştir. Hazırlanan deneysel yakıtların yanması sonucu motor performansı, silindir gaz basıncı ve özgül yakıt tüketimi normal dizel yakıt değerleriyle karşılaştırıldığında ciddi farklılıklar olmadığı görölmüşür. Tüm test yakıtların yanması durumunda yüke bağılı olarak ortalama gaz sıcaklığı, silindir gaz basıncı ve ısı salınımında artışlar gözlemlenmiştir. Egzoz emisyon değerlerine bakıldığında ise emisyon değerleri paralellik göstermiş olmasına rağmen azot oksit miktarında düşüşler görölmüşür.

Yıldız (2017), atık trafo yağlarını %10-%20-%40-%60-%80 oranında geleneksel dizel yakıtına karıştırılarak elde ettiğı test yakıtlarını direkt püskürtmeli, dört zamanlı ve dört silindirli jeneratörlü bir dizel setinde yakarak motor performans değerlerini ve emisyon

değerlerini dizel yakıtıyla karşılaştırmak istemiştir. Hazırlanan yakıtlar sabit devirde ve değişik yüklerde yakıldığında özgül yakıt tüketiminin yaklaşık olarak %38 oranında düştüğü efektif verimin ise %39 oranında arttığı tespit edilmiştir. Yakılan karışımların emisyon durumlarına bakıldığında ise NO_x ve HC değerlerinin dizel yakıtına göre azaldığı tespit edilmiştir. Maksimum silindir gaz basıncı dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu ölçülmüş, hazırlanan yakıtlar ise dizel yakıtına göre daha geç yandığı tespit edilmiştir.

Madiwale ve ark. (2018), soya fasülyesi, palmiye, jatropha ve pamuk yağlarından elde edilen biyodizel karışımlarına hacimsel olarak %5 oranında etanol eklenmiştir. Daha sonra hazırlanan %20 biyodizel+ %75 dizel %5 (soya fasülyesi+palmiye+pamuk+jatropha biyodizelleri+etanol) bu karışım tek silindirli dört zamanlı dizel motorunda yakılarak motor performansı ve egzoz emisyon değerlerinin değişimi ölçülmek istenmiştir. Yapılan karışıma ve normal dizel yakıtına etanolün karıştırılmasıyla elde edilen tüm karışımların test edilmesi durumunda hepsindeki ısı içeriği ve kalorifik değerlerin düştüğü görülmüştür. Ayrıca bu yakıt karışımlarının kinematik viskozitesi azalmakta olup yakıt püskürtme modelinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Performans analizine bakıldığında ise efektif güç ve özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür.

Emiroğlu ve ark. (2018), yenmeyen düşük maliyetli hindi yağından esterifikasyon ve transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel elde edilmiş ve elde edilen bu biyodizel yakıtına hacimsel olarak %10, %20 ve %50 oranında dizel yakıtına karıştırılmıştır. Yanma gerçekleştirilmeden önce bu yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş olup bu yakıtlar tek silindirli, farklı yüklerde ve 2000 dev/dk devirde sırasıyla test edilmiştir. Elde sonuçlara bakıldığında test edilen biyodizel yakıtın maksimum silindir basıncı ve ısı salınım oranının setan sayısına bağlı olarak dizel yakıtına göre daha düşük olduğu görülmüştür. Elde edilen biyodizelin yakıt tüketimi dizele göre daha fazla olup efektif termik verimliliği dizel yakıtına göre daha düşüktür.

Hoseini ve ark. (2017), dizel motorlarında yanma sırasında meydana gelen egzoz emisyonlarını azaltmak için bir dizi araştırma yöntemi test etmişlerdir. Test sonuçlarından elde ettikleri veriler göz önüne alınıp değerlendirdiklerinde neredeyse tüm yöntemleri etkili sonuçlar vermiştir. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, dizel motorlarda kirletici emisyonların azaltılması için en iyi çözüm yolu dizel, biyodizel ve

etanol karışımlarıdır. Ayrıca bu karışım kombinasyonlarından en iyi şekilde sonuç almak için egzoz gazı devridaimi (EGR), dizel oksidasyon katalisti (DOC), seçici katalitik indirgemesi (SCR) ve dizel partikül filtre (DPF) kullanılmalıdır. Yapılan araştırmalarda CO ve HC emisyonlarını azaltma yöntemleri olarak hava girişine oksijen eklenmesi ve yakıtın oksitlenmesinin yanı sıra artan yakıt enjeksiyon basıncı, termal bariyer kaplama ve turbo şarjlı sistemler kullanılarak CO ve HC emisyonların düşürüldüğü görülmüştür. Ayrıca dizel yakıtın içine biyodizel, metal bazlı katalizörlerle birlikte DOC, SCR ve DPF sistemleri kullanılarak verimli sonuçlar elde edilmiştir. NO_x azaltma yöntemlerine bakıldığında da motor girişindeki gaz devir daim sistemiyle gaz girişine küçük açılarla ve küçük parçacıklarla yakıt püskürtmek, ateşleme gecikmesini azaltmak, sıkıştırma oranını azaltmakla beraber dizel karışumlu etanol ve biyodizel kullanılması NO_x emisyonlarını azaltmıştır.

Tamilselvan ve ark. (2017), dizel motorlarda biyodizel yakıtın kullanılması sonucu motorun performans, yanma ve emisyon değerlerini karşılaştırmak istenmiştir. Test sonuçları değerlendirildiğinde biyodizel yakıtın geleneksel dizel yakıta alternatif olabileceği, motor aksamlarında hiçbir değişikliğe gidilmeden kullanılabileceği ve biyobozunur bir yakıt olarak çevre dostu olduğu tespit edilmiştir. Bu yakıtların daha iyi yağlayıcı etkisi olduğundan dolayı motor parçalarının aşınmasını düşürdüğü ve emisyon değerlerinde iyileşmeler olduğu görülmüştür.

Aldhaidhawi ve ark. (2017), kozla tohumu yağından elde edilen biyodizel yakıtını dizel motorda kullanarak motorda yanma karakteristikleri ve egzoz emisyon değerleri test edilmek istenmiştir. İlk önce kozla biyodizeli saf biyodizele karıştırılarak yakılmış ve dizel yakıta göre elde edilen parametreler kıyaslanmıştır. Yanma sonuçlarına bakıldığında kozla biyodizelin yakılmasıyla CO ve PM miktarı %60 oranında azalmış olup, NO_x ve CO_2 miktarlarında da azalma görülmüştür. Biyodizel yakıtlarının setan sayısının yüksek olması nedeniyle motorda sıkıştırma oranı düşeceği için motor performansı ve motor torkunda %5 oranında azalmalar görülmüştür.

Sakthivel ve ark. (2017), biyodizel yakıtların motor performansı, yanma ve emisyon değerleri üzerine verimli bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmada farklı oranlarda biyodizel yakıtı kullanılarak biyodizelin kolay parçalanabilir bir alternatif yakıt olduğu ortaya konmuştur. Test edilen biyodizelin avantajlarına bakıldığında CO, HC, PM ve zararlı dumanları azalttığı görülmüştür. Dezavantajlarına bakıldığında ise NO_x , CO_2 ve

yakıt tüketimi değerlerinde artma görülmüş, termal verimliliğinde de azalmalar tespit edilmiştir.

Rameshve ark. (2016), bir kümes hayvanı endüstrisinin atık hayvan yağlarından elde edilmiş biyodizelin dizel motorda test edilmesiyle alternatif yakıt olabilme olasılığı araştırılmıştır. Bu çalışmada, sülfürik asit ve katalizörü olarak potasyum hidroksit ile metanol asit ve baz katalizli transesterifikasyon yoluyla kümes hayvanı yağ çöpünden biyodizel elde edilmiştir. Daha sonra hazırlanan %20'lik biyodizel karışımı ve ayrıca başka bir %20'lik karışıma katkı maddesi olarak 30mg / l alümina nano partikülleri ilave edilerek iki yakıt karıştırılmış ve hazırlanan bu karışımlar direkt sıkıştırılmalı bir dizel motorunda sırasıyla test edilerek motor performansı ve emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan testlerde CO ve nano partikül miktarında ciddi azalmalar görülmüş HC ve NO_x değerlerinde ise artışlar meydana gelmiştir.

Hoseini ve ark. (2017), ultrasonik sistem kullanarak salviamakrosifon yağından biyodizel elde edilmiş daha sonra normal dizel yakıtının içine %20'lik oranında katılarak motor performansı ve emisyon değerleri kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında CO ve HC emisyonlarında azalma görülmüş, NO_x, CO₂, efektif güç ve motor torkunda kısmi yükselmeler görülmüştür. Hazırlanan %20 SB+%80 D yakıtının yanması sonucu dizel yakıtı göre CO ve HC miktarlarında %25 ve %31,82 oranında azalma, motor gücü ve tork oranında %18 ve %15,8 oranında artış görülmüş, bunlara ek olarak özgül yakıt tüketiminde de %4,6 oranında azalma görülmüştür.

Tüccar ve Uludamar (2017), nar çekirdeği yağından biyodizel elde etmiş daha sonra elde edilen biyodizel hidrojen ile zenginleştirilerek motor performansı ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Öncelikle hazırlanan yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş sonra da bu yakıtlar sırasıyla test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, nar çekirdeği yağından biyodizel elde edilmiş ve dizel yakıtı yerine kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Yakıtların performans ve emisyon değerleri karşılaştırıldığında efektif güç, motor performansı ve özgül yakıt tüketimi gibi parametrelerde kötüşmeler görülmüş, CO salınımında da iyileşmeler tespit edilmiştir. Daha sonra hazırlanan bu yakıt hidrojenle zenginleştirildiğinde hem motor performansında hem de egzoz emisyon değerlerinde iyileşmeler görülmüştür.

Ramalingam ve ark. (2018), dizel motorlarda biyodizel kullanımı sırasında motor performansını iyileştirmek ve egzoz emisyon değerlerini düşürmek için antioksidanların

biyodizel yakıtlara etkisini gösteren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda motor performansında ve emisyon değerlerinde iyileşmeler görülmüş NO_x miktarında da %10 oranında bir düşüş sağlanmıştır.

Tan ve ark. (2017), farklı oranlarda hacimsel oranlarda (dizel+biyodizel+biyoetanol) hazırlanmış daha sora hazırlanan bu deney yakıtları dizel motorunda sırayla kullanılarak motor performansı ve emisyon değerleri karşılaştırılmak istenmiştir. Motor devri 1600 dev/dk ve 2400 dev/dk arasında çalıştırılmıştır. Karışımlardaki biyoetanol değeri arttıkça emisyon değerlerinin iyileştiği görülmüş normal hazırlanan karışımın ısı değeri normal dizele göre %21 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ortalama hızlarda NO , CO ve CO_2 gazlarında azalmalar görülmüştür.

Zaharin ve ark. (2017), alkollerin fizikokimyasal yöntemlerle biyodizel yakıtlarına karıştırılması ve hazırlanan yakıtların dizel motorunda farklı yükler altında test edilerek motor performansı ve emisyon değerleri ölçülmek istenmiştir. Yanma sonucunda alkol ilavesiyle motorun termal veriminin arttığı CO , HC ve PM madde miktarında da azalmalar görülmüştür.

Aydın (2017), 4 silindirli 4 zamanlı direkt enjeksiyonlu jeneratörlü bir dizel motorunda dizel yakıtına ek olarak manifolda belirli oranlarda LPG püskürterek dizel motorunun performans, yanma ve emisyon değerleri test edilmek istenmiştir. Yapılan deneyde elde edilen sonuçlara bakıldığında LPG'nin artmasıyla beraber silindir gaz basıncı, vuruş meyilli ve egzoz gaz basıncında artışlar görülmüş bunlara ek olarak ta özgül yakıt tüketimi ve kütleli yakıt tüketiminin de artmalar gözlemlenmiştir. LPG yakıtının silindir içerisinde artmasına paralel olarak HC ve CO emisyonlarında artışlar görülmüş CO_2 oranında da %40'lık bir azalma görülmüştür. Ayrıca O_2 oranında LPG'nin kullanılmasıyla beraber azalmalar olmuş, NO_x değerlerinde ise dizel yakıtına benzer değerler elde edilmiştir.

İrgin (2017), LPG yakıtını dizel motorunda silindir içine püskürterek motor performansını ve emisyon değerlerini test etmiştir. Tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motoruna dizel yakıtı ardından ikinci enjektörden silindir içersine %50, %60, %70 ve %80 oranında sıvılaştırılmış LPG yakıtı püskürtülerek performans ve emisyon değerleri ölçülmek istenmiştir. Deneyler farklı yüklerde ve sabit devirde gerçekleştirilmiş, %80 LPG püskürtme esnasında is oranı neredeyse sıfırlanmıştır. CO ve HC oranında sırasıyla %40 ve %30 azalma olup NO_x oranında da %1'lik bandında

yükselmeler olmuştur. Efektif verim %1,25 oranında artma gözlemlenmiş, özgül yakıt tüketimi de %8,5 oranında düştüğü tespit edilmiştir.

Jiaqiang ve ark. (2017), biyodizel yakıtların dizel yakıtına alternatif olup olunmayacağını araştırmış, daha sonra da bu yakıt (biyodizel) dizel motorunda test edilerek performans ve emisyon değerleri karşılaştırılmak istenmiştir. Test yakıtı yakıldığında efektif verim, özgül yakıt tüketimi ve efektif güç neredeyse benzer olarak korunmuş HC, CO ve PM değerlerinde ciddi azalmalar görülmüştür. Bununla beraber NO_x değerlerinde artma gözlemlenmiştir. Daha sonra biyodizel kullanımında daha iyi sonuçlar almak için belirli çalışmalar denenmiştir. Bu çalışmalar; yanma odası modifikasyonu ve düşük sıcaklık modu, su enjeksiyonu, emülsiyon teknolojisi ve EGR sistemleridir. Bu çalışmalar sonucunda motor performansında küçük bir düşüş görülmüş, NO_x ve PM oranında da %95 ve %98 oranında azalmalar meydana gelmiştir.

3. DİZEL MOTORLAR

Dizel motoru, 1876 yılında Nikolaus Otto tarafından icat edilen benzinli motorlardan yaklaşık iki yıl sonra Rudolf Diesel tarafından icat edilerek patenti alındı. Teorik olarak çalışma prensibi benzinli motorlara benzer olan bu araçlar, yakıt tipi ve yanma şekli itibariyle farklılıklar göstermektedir. Bu motorların temel amacı, silindir içine alınan yakıtın yanması sonucu elde edilen kimyasal enerjinin mekanik enerjiye dönüştürülmesiyle hareket enerjisi elde edilmesidir. Dizel motoru, benzinli motora göre daha kompleks ve pahalı olmasına rağmen günümüz piyasasında daha fazla talep edilmesinin başlıca sebebi, düşük maliyetli olması ve daha yüksek efektif verim sağlamasından dolayıdır. Tablo 3. 1'e bakıldığında, son yıllarda dizel motorunda meydana gelen talep artışı açık bir şekilde görülmektedir.

Tablo 3.1. Yakıt türüne göre kullanılan motorlu kara taşıt sayısı (Anonim, 2018).

Yıl	Toplam	Benzin		Dizel		LPG		Bilinmiyor ⁽¹⁾	
Year	Total	Gasoline	(%)	Diesel	(%)	LPG	(%)	Unknown ⁽¹⁾	(%)
2004	10 236 357	5 569 192	54,4	3 346 355	32,7	819 007	8,0	501 803	4,9
2005	11 145 826	5 606 321	50,3	3 836 399	34,4	1 298 830	11,7	404 276	3,6
2006	12 227 393	5 935 725	48,5	4 372 042	35,8	1 569 951	12,8	349 675	2,9
2007	13 022 945	5 980 516	45,9	4 850 837	37,2	1 880 023	14,4	311 569	2,4
2008	13 765 395	5 952 746	43,2	5 323 478	38,7	2 276 283	16,5	212 888	1,5
2009	14 316 700	5 887 559	41,1	5 654 350	39,5	2 592 695	18,1	182 096	1,3
2010	15 095 603	5 762 156	38,2	6 195 898	41,0	2 973 832	19,7	163 717	1,1
2011	16 089 528	5 709 606	35,5	6 899 420	42,9	3 335 566	20,7	144 936	0,9
2012	17 033 413	5 722 940	33,6	7 549 806	44,3	3 649 739	21,4	110 928	0,7
2013	17 939 447	5 733 725	32,0	8 169 410	45,5	3 934 753	21,9	101 559	0,6
2014	18 828 721	5 788 505	30,7	8 782 462	46,6	4 161 003	22,1	96 751	0,5
2015	19 994 472	5 977 352	29,9	9 576 896	47,9	4 358 751	21,8	81 473	0,4
2016	21 090 424	6 142 806	29,1	10 337 907	49,0	4 527 674	21,5	82 037	0,4

Tablo 3. 1'e bakıldığında 2010 yılı ve sonrasında dizel araç sayısı ciddi bir artış göstermiştir. Benzinli araç sayısı altı yıl içerisinde yaklaşık yarım milyon artmış olmasının yanı sıra dizel araçlarındaki artış ise dört milyondan fazla olduğu görülmektedir. Benzinli araçlarındaki artış miktarı dizel araçlarına göre kıyaslandığında,

dizel araç artışlarına göre çok düşük oranda artmış olduğu görülmektedir. Meydana gelen bu artış oranları dizel motorların önemini ortaya koymaktadır.

Trafikteki araç kayıt sayılarına bakıldığında ise, dizel araçların kayıt sayısının son yıllarda ciddi bir şekilde arttığı görülmektedir. 2014 yılı ve sonrasında dizel araçların kayıt sayısı benzinli araç kayıt sayını geçmiş ve sonrasında bu kayıt sayısı artarak devam etmiştir. Tablo 3.2’te araç kayıt yasının yıllara göre değişimi gösterilmektedir. Son beş yıla bakıldığında dizel araçların kayıt sayısı yaklaşık iki milyon artmıştır.

Tablo 3.2. Yakıt cinsine göre trafiğe kayıtlı araç sayısı (Anonim, 2018).

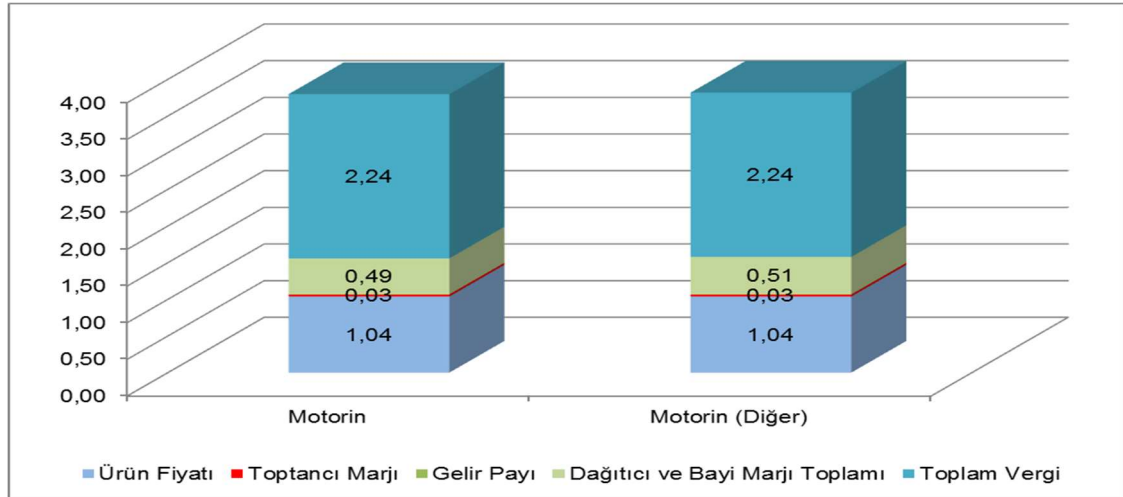
Yıl Year	Toplam Total	Benzin Gasoline	(%)	Dizel Diesel	(%)	LPG LPG	(%)	Bilinmeyen ⁽²⁾ Unknown ⁽²⁾	(%)
2004	5 400 440	4 062 486	75,2	252 629	4,7	793 081	14,7	292 244	5,4
2005	5 772 745	3 883 101	67,3	394 617	6,8	1 259 327	21,8	235 700	4,1
2006	6 140 992	3 838 598	62,5	583 794	9,5	1 522 790	24,8	195 810	3,2
2007	6 472 156	3 714 973	57,4	763 946	11,8	1 826 126	28,2	167 111	2,6
2008	6 796 629	3 531 763	52,0	947 727	13,9	2 214 661	32,6	102 478	1,5
2009	7 093 964	3 373 875	47,6	1 111 822	15,7	2 525 449	35,6	82 818	1,2
2010	7 544 871	3 191 964	42,3	1 381 631	18,3	2 900 034	38,4	71 242	0,9
2011	8 113 111	3 036 129	37,4	1 756 034	21,6	3 259 288	40,2	61 660	0,8
2012	8 648 875	2 929 216	33,9	2 101 206	24,3	3 569 143	41,3	49 310	0,6
2013	9 283 923	2 888 610	31,1	2 497 209	26,9	3 852 336	41,5	45 768	0,5
2014	9 857 915	2 855 078	29,0	2 882 885	29,2	4 076 730	41,4	43 222	0,4
2015	10 589 337	2 927 720	27,6	3 345 951	31,6	4 272 044	40,3	43 622	0,4
2016	11 317 998	3 031 744	26,8	3 803 772	33,6	4 439 631	39,2	42 851	0,4
2017	12 035 978	3 120 407	25,9	4 256 305	35,4	4 616 842	38,4	42 424	0,4
2018 ⁽¹⁾	12 106 678	3 129 841	25,9	4 303 711	35,5	4 630 748	38,2	42 378	0,4

Son yıllarda piyasada dizel araçlarının hızlı bir şekilde artması, artan petrol fiyatlarına paralel olarak kullanılan mevcut yakıt fiyatlarının aşırı derecede artmıştır. Benzin yakıtına göre dizel yakıtının maliyet açısından daha uygun ve ekonomik olması halk arasında dizel araç talebini artırmaktadır. 2016 yılında benzin ve dizel (motorin) fiyatlarına bakıldığında 4,51 TL olan benzin fiyatının %65,07 vergi olup geriye kalan kısımların %23,92’si ürün maliyeti kalan %10,5’lik pay ise piyasada faaliyet gösteren şirketlerin brüt kâr marjı olduğu görülmektedir (Anonim, 2018). Dizel yakıt fiyatına bakıldığında ise 3,80 TL olan nihai fiyatın %58,98’i vergi olup ürün maliyeti ise sadece %27,33’lük kısmı kapsamaktadır (Anonim, 2018).

Akaryakıt istasyonlarında farklı ticari isimlerle satılan motorin türlerinin tamamı halk arasında “Eurodizel” olarak bilinen kükürt miktarı 10 ppm olan motorindir. Hali hazırda resmi olarak tanımlı tek motorin türü bulunmaktadır. Uygulamada akaryakıt istasyonlarında ikisi de aynı standartları taşıyan normal motorin ve farklılaştırılmış motorin olmak üzere iki motorin türü bulunmakta olup, bu ürünlerin pay dağılımı Tablo 3.3’te ve Şekil 3.1’de yer almaktadır (Anonim, 2018).

Tablo 3.3. 2016 yılının motorin türlerinin TL/LT olarak ortalama fiyat oluşumu (Anonim, 2018).

Yıl	Ürün	Ürün Fiyatı	Toptancı Marjı	Gelir Payı	Dağıtıcı ve Bayi Marjı Toplamı	Toplam Vergi	Nihai Satış Fiyatı
2016	Motorin **	1,04	0,03	0,00268	0,49	2,24	3,80
	Motorin (Diğer)**	1,04	0,03	0,00268	0,51	2,24	3,82

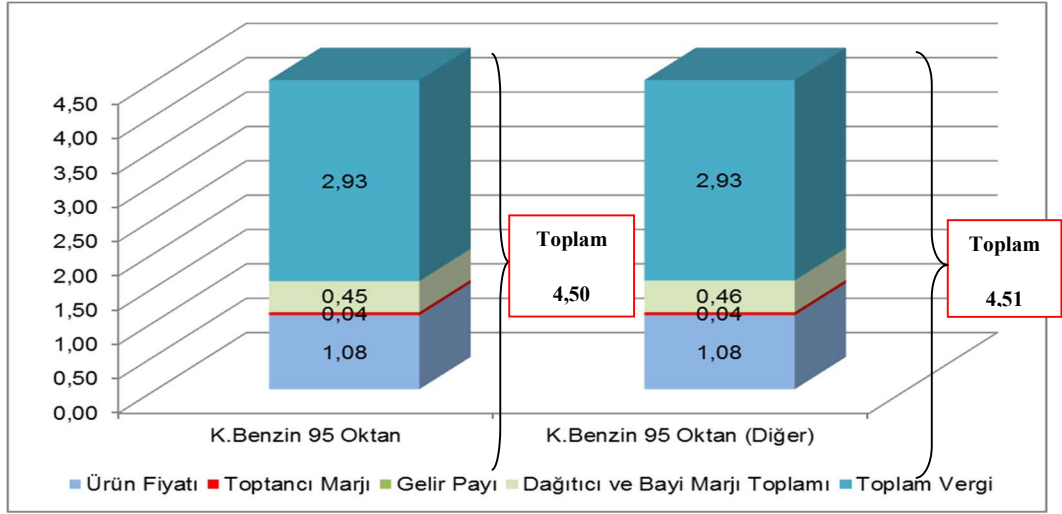


Şekil 3.1. 2016 yılı yurt içi motorin türleri ortalama fiyat oluşumu (Anonim, 10 Nisan 2018).

Şekil 3.1’e bakıldığında her iki motorin türünde de toplam vergi payı ürün fiyatının iki katından daha fazla olduğu görülmektedir. Aynı yıl içinde benzin için bakıldığında resmi olarak tanımlı benzin türleri “Kurşunsuz Benzin 95 Oktan”, “Kurşunsuz Benzin 95 Oktan (E10)”, “Kurşunsuz Benzin 98 Oktan” ve “Kurşunsuz Benzin 98 Oktan (E10)” olmak üzere dört adettir. Ancak, bu ürünlerden sadece 95 oktan kurşunsuz benzin akaryakıt istasyonlarında yaygın olarak satılmakta, bu ürün de standart ve farklılaştırılmış olmak üzere tüketiciye iki farklı şekilde sunulmaktadır (Anonim, 2018). Bu ürünlerin pay dağılımı Tablo 3.4’te ve Şekil 3.2’de yer almaktadır. Benzin fiyatındaki toplam vergiye bakıldığında ürün fiyatının yaklaşık üç katıdır.

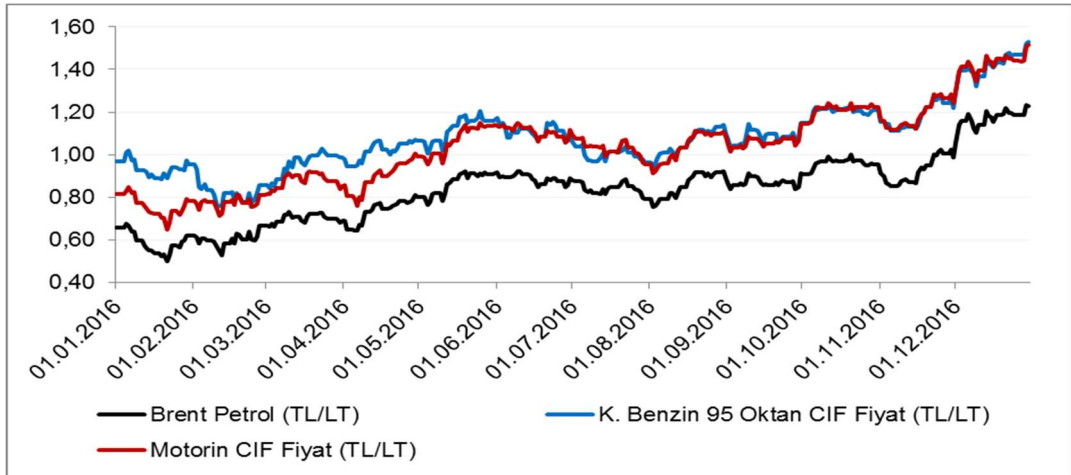
Tablo 3.4. 2016 yılı benzin türleri ortalama fiyat oluşumu (TL/LT) (Anonim, 2018).

Yıl	Ürün	Ürün Fiyatı	Toptancı Marjı	Gelir Payı	Dağıtıcı ve Bayi Marjı Toplamı	Toplam Vergi	Nihai Satış Fiyatı
2016	K.Benzin 95 Oktan*	1,08	0,04	0,00268	0,45	2,93	4,50
	K.Benzin 95 Oktan (Diğer)*	1,08	0,04	0,00268	0,46	2,93	4,51



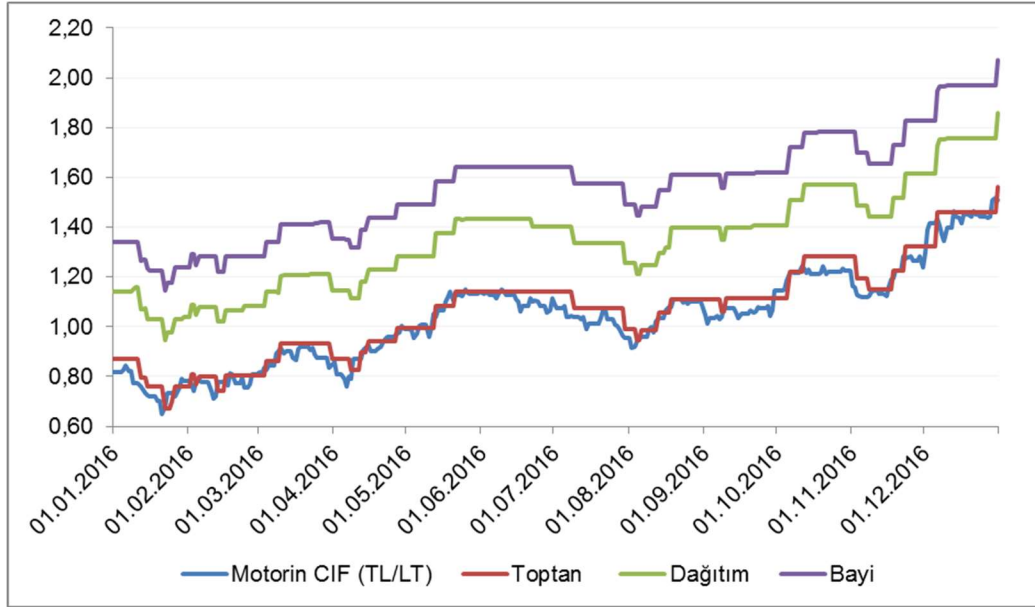
Şekil 3.2. 2016 yılı yurt içi benzin türleri ortalama fiyat oluşumu (Anonim, 10 Nisan 2018).

Ülkemizin takip ettiği Platts European Market Scan'da, CIF MED (Genova/Lavera) başlığı altında, benzin ve motorin ürünleri ile Brent tipi ham petrol (FOB) için yayımlanan fiyatlar şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. 2016 yılı kurşunsuz benzin 95 oktan, motorin ve brent (dtd) seyri (Anonim, 10 Nisan 2018).

Şekil 3.3'e bakıldığında her üç yakıt tipi fiyat olarak yukarı doğru artış göstermiş ve günlük değiştiği görülmüştür. Türkiye'de 2016 yılındaki dizel fiyatların vergisiz görünümü de şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. 2016 yılı motorin yurt içi vergisiz fiyatının seyri (TL/LT) (Anonim, 10 Nisan 2018).

2016 yılı boyunca uluslararası piyasadaki fiyatlara bağlı olarak benzin ve motorin fiyatları ülkemizde değişim göstermiş ve vergisiz bayi satış fiyatı ortalaması yıl boyunca 95 oktan kurşunsuz benzin için 1,57 TL/LT, motorin için ise 1,56 TL/LT olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2018). Ayrıca şekil 3.4' e bakıldığında, yurt içi genelinde yakıt fiyatları günlük değişmeyip yapılan değişimlerde belirli formülasyonlara göre olmuştur. 2018 yılı Ocak ayında 2017 yılı Ocak ayına göre; motorin türleri satışları %15,66 artarak 1.790.290,614 ton olarak gerçekleşmiştir (Anonim, 2018). Ocak 2017 ve Ocak 2018 yıllarında yakıtların yurt içi satış (tüketim) miktarı da tablo 3.5'te gösterilmiştir.

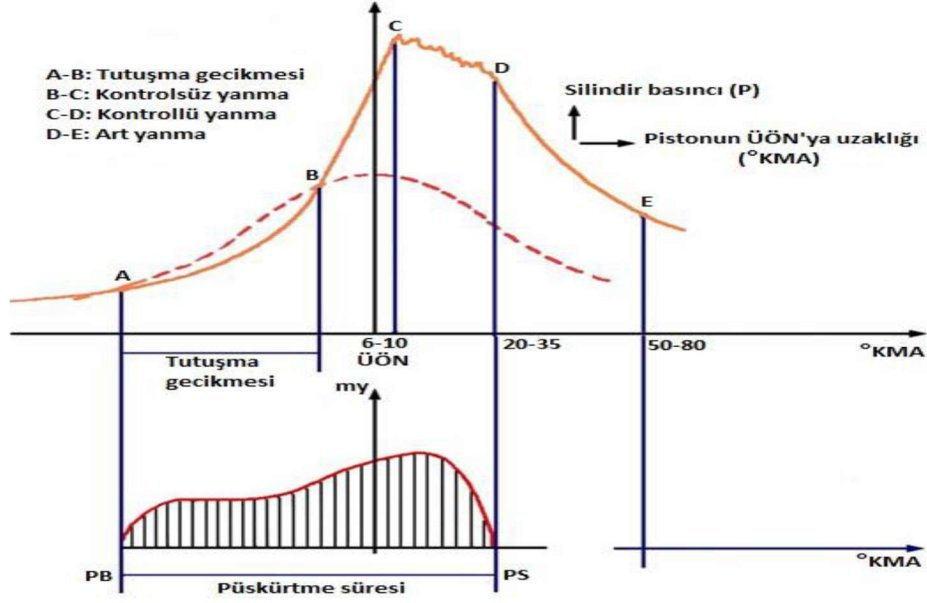
Tablo 3.5. Dönemler arası yurtiçi satış miktarlarının karşılaştırılması (Anonim, 2018).

Ürün Türü	2017 Ocak		2018 Ocak		Değişim (%)
	Miktar (ton)	Pay (%)	Miktar (ton)	Pay (%)	
Benzin Türleri	148.349,879	7,93	174.366,818	8,15	17,54
Motorin Türleri	1.547.876,047	82,70	1.790.290,614	83,68	15,66
FuelOil Türleri	67.994,311	3,63	49.970,549	2,34	-26,51
Havacılık Yakıtları	87.214,403	4,66	99.588,946	4,66	14,19
Denizcilik Yakıtları	2.279,923	0,12	3.683,166	0,17	61,55
Gazyağı	450,388	0,02	342,144	0,02	-24,03
Diğer Ürünler	17.406,231	0,93	21.098,378	0,99	21,21
Toplam	1.871.571,183	100	2.139.340,616	100	14,31

Tablo 3.5'e bakıldığında Ocak 2018 ayındaki motorin tüketiminin 2017 Ocak ayı motorin tüketiminden fazla olduğu görülmüştür. Dizel araç sayısının artmasına paralel olarak motorin yakıtının tüketimi de artmıştır.

3.1. Dizel Motorlarında Yanma Ve Yanma Safhaları

Kimyasal bir işlem olan yanma, yakıtın oksijen ile reaksiyona girerek su karbondioksit meydana getirme sürecine denir. Bu yanma sonucunda açığa ısı enerjisi, motor aksamaları tarafından mekanik enerjiye dönüştürülerek hareket enerjisi elde edilir. Dizel motorlarında yanma işlemi, emme zamanında silindir içerisine alınan havanın sıkıştırılmasıyla beraber sıcaklığı 600 ile 900 °C arasında ısının havanın üzerine en uygun basınç ve sıcaklık zamanında yakıtın üst ölü noktadan (Ü.Ö.N) 15°- 30° önce enjektör tarafından püskürtmesiyle oluşur ve dört safhada meydana gelir (Bilginperk, 1984). Şekil 3.1.1'de bu safhaların grafiksel oluşumu verilmiştir.



Şekil 3.1.1. Dizel motorlarda yanma safhaları (Borat, 1995).

3.1.1. Tutuşma gecikmesi

Tutuşma gecikmesi, şekil 3.1.1’de görüldüğü gibi A-B aralığına verilen addır. Bu aralık, yakıtın püskürtme başlangıcı olan A noktası ile yakıtın tutuşma başlangıcı olan B noktası arasında geçen süreye denir. Tutuşma gecikmesi sürecince silindir içerisine gönderilen yakıtın %5 ile %15 arasında yandığı görülmektedir (Heywood, 1988). Bu süreç içerisinde silindire gönderilen yakıt çok küçük parçalara ayrılıp buharlaştıktan sonra hava ile karışır. Bu olaylar beraberinde fiziksel gecikmeyi meydana getirir. Daha sonra kimyasal tepkimenin yavaş olma sebebiyle kimyasal gecikme meydana gelir. Bu iki gecikme çakışan bir şekilde meydana gelip toplam süresi 1 ile 3 ms arasında olan tutuşma gecikmesini meydana getirir (Safgönül ark., 2008). Yakıt damlacığı etrafında olan ilk tutuşma, buharlaşan yakıt ile havanın karışım oranı $\lambda=1$ civarında meydana gelmektedir. Çünkü bu esnada yakıtın reaksiyon hızı önemli olup $\lambda=1$ noktasında en yüksektir (Safgönül ark., 2008). Tutuşma gecikmesi süresi arttıkça, yakıt püskürtmesi devam edeceğinden yanma odasına giren yakıt miktarı artar. Yakıtın artmasıyla paralel olarak buharlaşan yakıt miktarı artar ve bu yakıt daha sonra kontrolsüz yanacağı için araçta vuruntuya sebep olur. Dizel araçlarda oluşan bu vuruntuyu önlenmesi ve tutuşma gecikmesinin kısaltılması için bu süre boyunca yanma odasına minimum düzeyde yakıt gönderilmelidir (Safgönül ark., 2008).

Tutuşma gecikmesi ortadan kaldırılamayacağından, bu sürenin uzaması veya kısılması motorun sesiz ve vuruntulu çalışmaması açısından oldukça önemlidir. Sıkıştırma sonu basıncı ve sıcaklığı, yakıtın kimyasal yapısı, yakıtın parçalana bilirliliği ve sıkıştırılan havada meydana gelen türbülans tutuşma gecikmesini etkileyen en önemli faktörlerdir (Bilginperk, 1984). Sıkıştırma sonu basıncı, soğutma suyu sıcaklığı ile emme havası sıcaklığına bağlı olup, bu değerlerin sıcaklığının artması durumunda tutuşma gecikmesi azalacaktır. Sıkıştırma sonu basıncı artması, silindir basıncını arttıracak için silindir içerisine püskürtülen yakıtın daha hızlı bir şekilde yanmasını sağlar buda tutuşma gecikmesi süresini kısaltır motorun daha sessiz ve vuruntusuz çalışmasını sağlar. Tutuşma gecikmesini etkileyen bir diğer faktör yakıtın setan sayısı ve dizel indeksidir (Bilginperk, 1984). Yakıtın setan sayısının ve dizel indeksinin artması, yakıtın tutuşmasını iyileştireceğinden tutuşma gecikmesi azalır. Yakıtın atomize olması ve enjektör püskürtmesi, tutuşma gecikmesini etkileyen başka bir faktör. Enjektör aracılığıyla püskürtülen yakıt zerreleri ne kadar küçük olursa hava ile daha kolay karışacağından yakıtın ısınması ve tutuşması da bir o kadar kolay olacaktır. Bu da beraberinde tutuşma gecikmesini kısaltacaktır. Bu yakıtın zerreleri püskürtme basıncına, enjektör delik çapına ve yakıtın viskozitesine bağlı olarak değişir (Bilginperk, 1984). Tutuşma gecikmesini etkileyen başka bir parametre ise havanın sıkıştırma esnasında meydana gelen türbülanstır. Yanma odasında meydana gelen hava hareketinin artması, yakıt parçacıklarını daha iyi dağıtacak gibi, bu yakıt parçacıkların daha iyi ısınmasını da sağlayacaktır. Bu durum yakıtın daha kolay yanacağına vesile olacağından yakıtın tutuşma gecikmesini azaltacaktır (Bilginperk, 1984).

3.1.2. Kontrolsüz yanma

Tutuşma gecikmesi süresince yanma odasına püskürtülen yakıt havayla belirli bir düzeye kadar karışıp ısındıktan sonra buharlaşmaya başlar. İlk alev kıvılcımı meydana geldiği anda, yanma odası içerisine gönderilen bütün yakıtın yanmasıyla silindir içerisinde çok ani basınç ve sıcaklık artışı meydana gelir. İşte bu artışa kontrolsüz yanma ya da ani yanma denir. Ani yanma süresi boyunca basınç artış değerleri düşük devirli motorlarda 2-3 bar/°krank, orta devirli motorlarda 3-4 bar/°krank ve yüksek devirli motorlarda ise 6-8 bar/°krank civarındadır (Küçükşahin, 1990). Bu esnada meydana gelen basınç yükselmesi silindirdeki girdap (türbülans) hareketlerine, yanma odası içerisine gönderilen yakıt miktarına, hava-yakıt oranının kimyasal ve fiziksel

hazırlanışına göre değişim göstermektedir (Küçükşahin, 1990). Dizel motorlarında meydana gelen bu süreç şekil 3.1.1’de de görüldü gibi B ve C arasını kapsamaktadır.

3.1.3. Kontrollü yanma

Bu yanma periyodu genellikle üst ölü noktalarda ve hacmin giderek büyüdüğü kısımlarda meydana gelir (Küçükşahin, 1990). Kontrolsüz yanmanın sona ermesiyle yanma odasındaki sıcaklık ve basınç, enjektörlerden püskürtülen yakıtı hiç gecikme olmadan yakacak duruma gelir (Bilginperk, 1984). Bu yanma işlemi, basınç en yüksek noktaya erişinceye kadar devam eder. Daha sonra birçok noktada meydana gelen yanmanın ardından, silindir içerisinde yanmamış olarak kalan yakıt, ısınmış olan havayla karışarak belirli oranda yanar (Dağ, 2013). Kontrollü yanma esnasında meydana gelen bu süreçlerin tümü, enjektör iğnesinin yerine oturmasıyla ve yakıt püskürtmesinin durmasıyla sona erer (Küçükşahin, 1990). Bu süreç şekil 3.1.1’de C ile D arasına denk gelir.

3.1.4. Art yanma

Pistonun üst ölü noktadan alt ölü noktaya geçmesiyle motorda genişleme zamanı başlar. Genişleme zamanıyla beraber silindir hacminin artması beraberinde silindir iç basıncını düşürür. Meydana gelen bu durumlar esnasında daha önce silindir içinde yanma fırsatı bulmayan yakıt, genişleme zamanında oksijen buldukça yanar ve meydana gelen bu gecikmiş yanmaya art yanma denir (Bilginperk, 1984). Art yanma bir diğer değişle; kontrollü yanmanın sona ermesiyle egzoz supabının açıldığı ana kadar meydana gelen yanma olaylarına denir (Uslu, 2015). Art yanmanın uzun sürmesi piston kafasının, silindir gömleğinin yüzeylerini ve silindir kapağının aşırı ısınmasına neden olur. Bunu yanı sıra, piston ve segman yuvalarına kurumlu yapışkan atıkların birikmesine neden olur (Küçükşahin, 1990). Bu nedenle motorun sağlıklı çalışabilmesi için art yanma süresini mümkün oldukça kısa tutulmalıdır. Şekil 3.1.1’de D-E arası art yanma kısmına tekabül eder.

3.2. Dizel Yakıtının Fiziksel Ve Kimyasal Özellikleri

Halk arasında motorin olarak adlandırılan dizel yakıtı, ham petrolün 200 °C ve 380 °C arasında damıtılarak içerisinde hidrokarbonların yanı sıra %1 oranında kükürt %0,02 oranında kül ve çok az miktarda azot ve su ihtiva eden özgül ağırlığı 0,89 kg/dm³ olan bir yakıttır (Bilginperk, 2003). İçerdiği karbon atomu sayısı 8 ile 16 arasında

değişmekte olup kapalı formülü $C_{12.226}H_{23.29}S_{0.0107}$ şeklindedir (Bilginperk, 2003; Aydın, 2010).

Günümüzde üç çeşit dizel yakıtı kullanılmaktadır. Bunlardan ilki olan Nu. 1-D dizel yakıtı (motorin), farklı hızlarda çalışan dizel motorlarında kullanılır ve petrolün damıtılmasıyla elde edilir (Bilginperk, 2003). İkinci motorin olan Nu. 2-D yakıtı, petrolün damıtılması ve kraking ürünlerinden elde edilir (Bilginperk, 2003). Buharlaşması Nu.1-D yakıtından düşük olup düşük hızlı ağır hizmet motorlarında kullanılır. Üçüncüsü ve sonuncu olan Nu. 3-D yakıtı kraking, damıtma ve atıklardan oluşur (Bilginperk, 2003). Bu yakıt, düşük hızlı veya orta hızlı araçlarda kullanılır (Bilginperk, 2003). Tablo 3.2.1.'de günümüzde kullanılan dizel yakıtların standardı verilmiştir.

Tablo 3.6. EN 590 motorin yakıtı standartlar (Örs, 2014)

Özellik	Birim	En az (sınır)	En çok (sınır)	Deney yöntemi
Setan sayısı	-	51	-	EN ISO 5165
Setan indeksi	-	46	-	EN ISO 4260
Yoğunluk, 15°C'de	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675
Polisiklik aromatik Hidrokarbonlar	%(m/m)	-	11	EN ISO 12185
Kükürt	mg/kg	-	10	EN 12916
Parlama noktası	°C	55	-	EN ISO 20846
Karbon kalıntısı %10 damıtma kalıntısında	%(m/m)	-	0.3	EN ISO 20884
Kül	%(m/m)	-	0.01	EN 22719
Su	mg/kg	-	200	EN ISO 10370
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN ISO 6245
Bakır şerit krozyonu, 50°C 3 saat	derece	-	-	EN ISO 12937
Oksidason kararlılığı	g/ m ³	-	25	EN 12662
Yağlama özelliği, düzeltilmiş aşınma hızı	-	-	-	EN ISO 2160
Viskozite	mm ² /s	2	4.5	EN ISO 12756-1
250°C'de elde edilen damıtma	%(v/v)	-	<65	EN ISO 3104
350°C'de elde edilen damıtma	%(v/v)	85	-	-
%95'in (v/v) elde edildiği sıcaklık	°C	-	360	-
Yağ asidi metil esteri	%(v/v)	-	5	EN 14078

3.2.1. Viskozite

Dinamik viskozite, herhangi bir sıvaya uygulanan kayma gerilmesinin kayma hızına oranıdır (Acaroğlu, 2007). Diğer bir deyişle dinamik viskozite, çoğu zaman dinamik viskozite katsayısı veya sadece viskozite diye adlandırılır (Acaroğlu, 2007). Bundan dolayı dinamik viskozite, çoğu zaman bir sıvının deformasyona ve akmaya karşı gösterdiği değer şeklinde de tanımlanır (Acaroğlu, 2007). Kinematik viskozite ise, herhangi bir akışkanın yer çekimi altında akma eğilimine karşı gösterdiği iç dirençtir (Acaroğlu, 2007; Öztürk 2007).

Viskozite ölçümünü için farklı araçlar kullanılsa da bu ölçümlerde en sık tercih edilen Saybolt vizkozimetresidir. Viskozite, ölçüldüğü sıcaklıkla ifade edilip; ölçülen yakıtın akma zamanı arttıkça viskozite kalın akma süresi kısaltıldıkça viskozite incelmektedir. Dizel yakıtların kullanılabilirliğini sağlayan en önemli etmenlerden biri ise yakıt viskozitesidir. Yüksek ya da kalın viskoziteli yakıtlar, motorda pompalama işini zorlaştırmasının yanı sıra yakıt pompalaması işlemi esnasında yakıtı küçük taneciklere ayırtıramayacağından silindir içerisinde heterojen bir karışımın olmasına neden olacaktır. Meydana gelen bu durum yakıtın tutuşma gecikmesini ve is miktarını artıracaktır (Özbakış, 2012). Ayrıca bu işlem motorun yanma verimini düşüp yanmamış hidrokarbon miktarını da artıracaktır (Özbakış, 2012). Viskozitenin düşük olma durumu ise, yakıtta iyi atomizasyon sağlamakla birlikte sızdırmazlık ve farklı bölgelerde kaçak sorunları oluşturacağı için bu da pompa elemanlarında aşınmaya neden olur (Özbakış, 2012).

3.2.2. Özgöl ağırlık

Özgöl ağırlık, birim hacmin ağırlığı veya belirli bir hacimdeki yakıt ağırlığının aynı hacimdeki su ağırlığına oranıdır. Özgöl yakıt, ham petrolün cinsine göre değişmekte kg/litre veya L/galon birimleriyle ifade edilmektedir. Dizel motorlarında kullanılan motorinin özgöl ağırlığı 60°F (15,5°C) de 0,835-0,934 gr/cm³ arasındadır (Bilginperk, 1984).

3.2.3. Uçuculuk noktası

Sıvı yakıtların alev cephesine yakınlştırılması durumunda yakıtın, sıvı halden gaz fazına geçme sıcaklığına denir. Uçuculuk, tüm sıvı yakıtlar için olup her yakıtın uçuculuk kabiliyeti farklılık gösterebilmektedir. Dizel yakıtların uçuculuğu, damıtım sıcaklığının %90'ı olup bu damıtım sıcaklığı, dizel yakıtının bu sıcaklık değeri kadar

ısıtılması durumunda mevcut yakıtın %90 oranında buharlaşması durumuna tekabül eder (Bilginperk, 1984; Nişancı, 2007). Enerji sarfiyatı düşük olan motorlarda, uçuculuğu yüksek olan yakıtların kullanılması egzoz sıcaklığı ve kirli duman oluşumunu azaltmakla birlikte motordaki yakıt tüketimini de azaltır (Bilginperk, 1984; Nişancı, 2007).

3.2.4. Parlama noktası

Yakıtların yanma sıcaklığına varmadan herhangi bir alev cephesine yaklaşması durumunda, yanıcı maddenin kendi içerisinde ihtiva ettiği ve yakıtın yanabileceği sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklıkta parladığı görülür. Bu durum yakıtın tamamen yanması durumu değil, yakıtın belirli bir sıcaklığa ulaşması sonucu yakıt yüzeyinin yanıp sönme olayıdır. Parlama noktası, motor performansı için önemli bir gösterge olmamakla birlikte dizel yakıtın güvenli bir şekilde saklanması için büyük önem arz etmektedir. Risk sınıflandırılmasında belirleyici olan parlama noktası, depo talimatları gerekliliğin yanı sıra motorun çalışabilmesi için ön ısıtmaya gerek olup olmadığını belirlemekte kullanılan en önemli özelliklerden biridir. Dizel motorunda kullanılan motorin yakıtının parlama noktası 74 °C, bitkisel kökenli yağların 300 °C' den fazla biyodizel yakıtlarda ise parlama noktası 220 °C dolaylarındadır (Acaroğlu, 2007; Nişancı, 2007).

Yakıtların güvenli bir şekilde taşınması ve depolanması için emniyet sıcaklığı 65 ile 150 °C arasında tutulmalı ve 36 °C'nin altına düşmemelidir (Bilginperk, 1984; Ejder, 2007). Motorin yakıtı için minimum değer, US ve bazı Avrupa devletlerinde 38 °C ile 56 °C arasında değişmektedir (Ejder, 2007).

3.2.5. Donma noktası

Sıvı yakıtlar düşük sıcaklıklara maruz kaldığında belirli bir sıcaklıktan sonra kristalleşip katılaşmaya başlarlar. Sıcaklık değerinin fazla düşmesiyle tamamen donmaya başlayan yakıt, katı kristal şeklini alarak yakıt sistemini tıkar ve motoru çalışamaz hale getirir. Bu nedenden dolayı soğuk havalarda motorun daha sağlıklı çalışabilmesi için sıvı yakıtın donma noktası çevre sıcaklığının donma noktasından en az 5 °C düşük olmalıdır (Bilginperk, 1984; Ejder, 2007). Başka bir deyişle tarif edilirse eğer; donma noktası, yakıtların soğuk hava koşullarında kullanılma kabiliyetidir (Bilginperk, 1984; Ejder, 2007).

3.2.6. Su ve tortu miktarı

Yanma yakıtı içerisinde mümkün mertebe su ve tortu istenmez. Çünkü yakıtın içerisindeki su ve tortu miktarı arttıkça yanma kötüleşir. Yanma yakıtlarının içerisinde su miktarının artması, yanma işlemini olumsuz yönde etkileyeceğinden ısı veriminin düşmesine neden olur. Esasında su içermeyen bitkisel yağlar, üretilme ve depolanma aşamasında suyla karışabilir (Acaroğlu, 2007; Şahin, 2014). Bu durum motorda kirletici emisyonları artıracığı gibi yanma verimini de düşürür. Ayrıca, yakıtın içerisindeki su ve tortu miktarının artması başta yakıt pompası ve enjektör sisteminin yanı sıra motorun diğer aksamalarında da korozyon ve aşınmaya neden olur. Yakıtlarda, su ve tortu miktarı %5'in altında olmalıdır (Bilginperk, 1984; Ejder, 2007).

Tortu; kum, küçük taş parçacıkları, toprak veya karbon kalıntısı şeklinde gösterilebilir. Artık yağ birikintisi veya yağların içerisindeki hidrokarbonların oksijenle tepkimeye girmesi sonucu da oluşabilir (Acaroğlu, 2007). Yakıtın içerisindeki tortu miktarının artması yanmayı kötüleştireceğinden bu durum, silindir içerisindeki tortu miktarını artıracak ve motor aksamalarında aşınmaya neden olacaktır.

3.2.7. Buharlaşma noktası

Dizel motorlarda kullanılan yakıtın başlangıç (ilk) hareketi için düşük sıcaklıklarda buharlaşabilen yakıtlar tercih edilmektedir. Arıtma yöntemlerinden etkilenen yakıtın buharlaşma özelliği arttıkça kendi kendine tutuşabilme özelliği kötüleşeceğinden, yanma sırasında is oluşum miktarını arttıracaktır (Akdemir ve ark., 2011). Dizel yakıtın maksimum %90 artıma noktası aşırı soğuk ülkelerde 315 °C ile sınırlıyken tropikal ve ekvatorial bölgelerde 379 °C'ye kadar yükselmektedir (Ejder, 2007).

3.2.8. Ateşleme noktası

Dizel motorlarında kullanılan yakıtların, yanma odası içerisinde kendiliğinden yanma kabiliyetine ateşlenme noktası denir. Ateşleme noktası yüksek olan yakıtların tutuşması kolay verimleri yüksek olmaktadır. Yüksek ateşleme noktasına sahip olan yakıtlar, düşük sıcaklıkta yandığı için motor kolay çalışır ve yanma esnasında yakıtın vuruntu meyillini azaltmakla kalmayıp emisyon dumanlarını da azaltır. Dizel yakıtlarında ateşleme noktası, setan sayısı (SS) ve dizel indeksiyle (DI) ifade edilir (Bilginperk, 1984; Ejder, 2007). Setan sayısı ve dizel indeksi, dizel yakıtlar için belirleyici olan en önemli parametrelerdir.

3.2.9. Setan sayısı

Dizel motor yakıtlarında istenen setan sayısı, yakıtın kendi kendine tutuşma özelliğini artıran bir parametredir. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yakıtın kendi kendine tutuşma meylinin ölçüsü olarak kullanılır. Dizel motorlarda kullanılan yakıtların motor tasarım gereği hiçbir ateşlemeye gerek duymadan yanması istendiği için, kendi kendine tutuşabilme kabiliyeti olan yakıtlar istenmektedir. Her ne kadar setan sayısı yakıtının kendi kendisine yanması şeklinde tarif edilse bile, hiçbir alev kıvılcımı ya da alev cephesi olmadan yanabildiği için bu temelde tarif edilmektedir. Mevcut hiçbir yakıt ya da yanıcı özelliği olan bir madde kendi halinde yanamadığı gibi bu yanıcı maddelerin yanması için belirli dış bir müdahale istemektedir. Benzinli motorlarda yakıtın yanması için buji tarafından sağlanan alev kıvılcımı istenirken dizel yakıtlarda ise, yakıtın tutuşabilmesi içinde yüksek basınçlarda sıkıştırılarak ısınmış hava istenmektedir.

Yakıtlardaki setan sayısı, mevcut yakıtın yoğunluğu ve aromatik içeriğiyle doğrudan ilişkilidir. Yakıtın içerisindeki aroma içeriği arttıkça yoğunluk artacağından yakıtın içerisindeki setan sayısı da düşer (Doğan, 2012). Bu durum, dizel yakıtlarında yanmayı kötüleştireceğinden motor veriminin düşmesine de neden olacaktır. Bu nedenle dizel yakıtlarında aroma içeriği mümkün mertebe azaltılmalıdır. Yakıtların içerisindeki parafin miktarının artması yakıtının setan sayısını artırır (Doğan, 2012). Fakat bu durum sonucunda, yakıtın bulutlanma ve akma noktası kötüleşecek yakıt jelimsi bir faza geçerek yanmayı kötüleştirecektir (Doğan, 2012). Dizel yakıtlarda setan sayısının artması tutuşma gecikmesini kısıltacağından, yakıtın daha kolay yanmasını sağlayacak motorun daha gürültüsüz çalışmasına katkı sağlayarak soğuk havalarda yanmayı kolaylaştırıp emisyon değerlerini de iyileştirecektir (Doğan, 2012). Setan sayısının istenilen değerden daha yüksek olması, yakıtın püskürtme esnasında istenilen noktaya varmadan önce yanmasına sebep olacaktır. Bu durum, enjektör iğnesi yakınlarında gerçekleşeceği için enjektör iğnesinin aşırı ısınmasına neden olacak, meydana gelen bu ısınma yakıtta kraking işlemine neden olacağı için silindir içerisinde karbonlaşmaya sebebiyet verecektir. Bu da yanma verimini düşürüp zararlı duman oluşumunu artıracaktır. Tutuşma gecikmesini belirleyen setan sayısı, dizel yakıtlarla karşılaştırıldığında biyodizel yakıtında daha yüksek olması sebebiyle dizel yakıtına nazaran yanma daha sorunsuzdur (Özgün, 2014).

Yakıtın setan sayısı düşük olması durumunda, tutuşma gecikmesi artacak yakıtın yanmaya başlama süresinin uzamasına neden olacaktır. Uzayan tutuşma süresi boyunca,

yakıt havayla daha fazla süre bir arada kalacağından, yakıtın homojen karışma durumunu da beraberinde getirecektir. Bu sürenin daha da artması durumunda, yanma odası içerisinde bazı noktalarda fakir yakıt karışımı gözleneceği için yanma kötüleşecek zararlı HC (hidrokarbon) miktarı artacaktır (Doğan, 2012).

Sonuç olarak, dizel yakıtlarında isten setan sayısı ne çok düşük olmalı nede çok yüksek olmalıdır. Setan sayısının istenilen değerden düşük veya yüksek olması, yanma performansını direkt etkileyeceği için setan sayısının istenilen değerde olmasına dikkat edilmelidir. Dizel yakıtların sorunsuz çalışabilmesi için setan sayısının 40 ve 70 arasında olmasına özen gösterilmelidir (Bilginperk, 1984; Ejder, 2007).

3.2.10. Dizel indeksi

Setan sayısının ölçümü uğraştırıcı ve meşakkatli bir iş olduğu için bunların yerine ölçümü daha kolay olan ve yanı norma denk gelen dizel indeksi adı veren yöntem kullanılır. Dizel indeksi; $DI = \frac{AN(^{\circ}F) \cdot API}{100}$ bağıntısıyla bulunur (Bilginperk, 1984; Akdemir ve ark., 2011; Aydın, 2011). AN noktası, anilin noktası olup API kavramı da American Petroleum Institute'dır. Yakıtın dizel indeksi arttıkça yanma özelliğinin iyileştiği ve yama veriminin arttığı görülmüştür (Akdemir ve ark., 2011). Ayrıca dizel indeksinin artması yatkının tutuşma gecikmesini azaltacağı için dizel vuruntusunu da azaltır (Vapur, 2014).

3.2.11. Anilin noktası

Anilin, petrolün daha kaliteli hale gelmesi için kendisinden ayrıştırılan C_nH_{2n+2} formülüne sahip olan, Latince ismi 'Parafin afinis' olan parafini sıcaklığın artırılması durumunda çözebilen aromatik hidrokarbonları daima eritebilen bir çözücüdür. Anilin motorinle karıştırılıp ısıtıldıktan sonra motorin anilin içinde tamamen çözünür (Aydın, 2011). Meydana gelen bu çözelti soğutulduktan sonra iki tabakadan biri olan parafinin ayrıştığı görülür. İşte bu noktadaki sıcaklığa anilin noktası denir (Bilginperk, 1984; Akdemir ve ark., 2011; Aydın, 2011).

3.2.12. Kükürt miktarı

Kükürt (S), yakıtın içerisinde istenmeyen bir madde olup ham petrol içerisinde bulunur. Yakıtlarda damıtma yoluyla arındırılan kükürt, yakıt içerisinde düşük bir miktar kalmaktadır. Geride yakıt içerisinde kalan bu kükürt, oksijenle tepkimeye girip kükürt dioksit (SO_2) ve kükürt trioksidi (SO_3) oluşturur (Aydın, 2011). Daha sonra medya

gelen kükürt trioksit yanma ürünlerinden olan su buharıyla birleşerek motorda aşıntıya neden olabilecek sülfirik asidi meydana getirir (Aydın, 2011). Oluşan bu asitler motor aksamalarında korozyon oluşumunun yanı sıra segmanların ve silindir cidarların aşınmasına neden olur (Haşimoğlu, 2005).

3.2.13. Kül miktarı

Yakıtların yanması sonucu ürün kısmında meydana gelen atıklara kül denir. Küçük katı parçacıklardan oluşan küller, yakıtın içerisindeki suda ve motorun yağlama yağında çözülebilmektedir. Yanma sonucunda meydana gelen kül miktarı, az miktar yakıtın içerisinde bulunan tüm yabancı maddelerin yanmasıyla ölçülür (Haşimoğlu, 2005). Dizel yakıtı için önemli bir etmen olan kül, enjeksiyon sisteminin bir parçası olan enjektör deliklerinin ve yakıt filtresinin aşınmasına sebep olur (Haşimoğlu, 2005).

3.2.14. Karbon atıkları

Herhangi bir yakıtın, havasız bir ortamda ısıtılması sonucu geriye kalan karbon taneciklerine kül denir. Karbon artığı, yakıtın tam yanmama şartlarında karbon ve is oluşturma özelliğine denir (Bilginperk, 1984). Yakıtın karbon artığı yüzdesi arttıkça, yakıtının tamamı yanamayacağı için is oluşumu artar. Bu durum, enjektör memesinde karbon artığının birikmesine ve enjektör deliğinin tıkanıp işlenemez hale gelmesine neden olur (Bilginperk, 1984).

3.2.15. Yoğunluk

Yoğunluk sıcaklıkla az dahi olsa değişebilen, yakıt ve yağ türüne göre farklılık gösteren, bu yakıt ve yağların tanınabilirliği için son derece önemli olan bir parametredir. Teknik verilerde ölçüm sıcaklığı 20 °C belirlenmiş olsa da ticari zeminde yoğunlukla 15 °C olarak hesaplanır (Acaroğlu, 2007). Motorine göre daha yoğun olan biyodizel yakıtı, yoğunluğu karbon zinciri arttıkça azalan içerdiği çift bağ miktarına göre ters özellik gösteren belirleyici bir etmendir (Altınsoy, 2007).

3.2.16. Yağlayıcılık özelliği

Motorun mekanik sisteminin tam çalışabilmesi için yağlama sisteminin sorunsuz çalışması son derece önemlidir. Bu yüzden gerek motor yağlama yağının gerekse de yakıtın kendi içerisindeki yağlama özelliğinin artırılması için belirli katkı maddelerinin kullanılması gerekmektedir. Motorin yakıtının içerisindeki kükürt (S) miktarının düşürülmesi bu yakıtın yağlayıcılık özelliğini azaltmıştır (Gülüm, 2014). Biyodizel ve

biyodizel karışımı yakıtların viskozitesi standart dizel yakıtına göre daha yüksek olduğu için yağlayıcılığı daha yüksektir (Gülüm, 2014).

3.2.17. Oksidasyon kararlılığı

Hem dizel hem de biyodizel yakıtları için büyük sorun olan oksidasyon kararlılığı malzemenin özelliğine, sıcaklığına, tepkimenin süresine bağlı olup biyodizel yakıtlarda daha kararsız bir görüntü sergiler (Acaroğlu, 2007; Şahin, 2014). İyi işleyen kararlılık maddesi içeren biyodizel yakıtlar kendi içerisinde de farklılık gösterir. Karbonlar arasındaki çift bağ sınırlarını iyot sayısı ölçer ve aynı madde içeriğinin kararsızlık durumunu da iyot numarası belirler (Acaroğlu, 2007).

3.2.18. Soğuk akış özelliği

Dizel motorlarda kullanılan yakıtlar için en önemli testlerden biri, soğuk filtre tıkanma noktasıdır. Bu özellik dizel motorunda kullanılan yakıt için hayati olup, kullanılan yakıtın soğuk havalarda vereceği tepkiyi göstermektedir. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN), IP309/80, DIN EN 116 standartlarına göre belirlenir (Acaroğlu, 2007). Biyodizel yakıtının ve biyodizel yakıtı karışımlarının bulutlanma ve akma noktası dizel yakıtından daha yüksek olduğu için soğuk kış şartlarında daha olumsuz bir etki ortaya koyar (Arslan, 2015). Anti jel karışımlarıyla değiştirilebilen bulutlanma ve akma noktası, biyodizel ve dizel karışımlarının +4 °C üzerinde karıştırılmalı ve soğu filtre tıkanma noktasının DIN normunda maksimum olarak 15 Nisan ile 30 Eylül arasında 0 °C, 1 Ekim ile 15 Kasım arasında -10 °C, 16 Kasım ile 28 Şubat arasında -20 °C ve 1 Mart ile 14 Nisan arasında -10 °C olduğuna dikkat edilmelidir (Acaroğlu, 2007; Arslan, 2015).

4. BİYODİZEL

Biyodizel veya diğer bir deyişle biyomotorin, asidik oranı düşük tüm bitkisel ve hayvansal yağlardan transesterifikasyon, piroliz, seyrelte ve mikro emülsiyon yöntemlerle viskozitesi düşürülerek elde edilebilen yenilenebilir, biyobozunabilir, biyokütle kökenli, kolayca bulunabilir, yağ asitlerinin mono alkil esterleri olarak tanımlanabilen, dizel yakıt özelliklerine paralel özellikler gösteren, dizel motorunda hiçbir teknik değişikliğe gidilmeden yakılabilen çevreci ve ekolojik bir alternatif yakıt çeşididir (Efe ve ark., 2018; Mohsin ve ark., 2014). Biyodizel yakıtı, yenilenemeyen petrol kökenli yakıtlara alternatif olma düşüncesiyle üretilmiş ve bu konuda çok detaylı

çalışmalar yapılmıştır. Şekil 4.1 biyodizel üretimini ve kullanımının önemini ortaya koymaktadır



Şekil 4.1. Türkiye’de bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasının önemini ortaya koyan tarihsel bir not (Anonim, Nisan 2018).

Türkiye’de biyodizelin kullanımının artması veya geliştirilmesi çabaları, Avrupa ve dünya devletlerine paralel olsa da özellikle son 15 yılda ciddi bir gelişim sağlanmıştır. Bu gelişim ve üretim sürecinin sıklaşması Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK) tarafından 4.12.2003 yılında 5015 sayılı petrol piyasası kanununa ve 10.9.2004 tarihli 25579 sayılı Resmî Gazete ’de yayımlanan petrol piyasasında uygulanacak teknik kriterler hakkında yönetmeliğe dayanılarak hazırlanmış olan bu yasa, motorin türlerine yerli tarım ürünlerinden veya bitkisel atık yağdan elde edilen biyodizelin harmanlanmasına ilişkin usul ve esasları kapsamaktadır. Hazırlanan bu tebliğde enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, kaynak çeşitliliğinin arttırılması, bitkisel atık yağların etkin olarak geri kazanımının sağlanması, çevre kirliliğinin azaltılması ve Avrupa Birliğinin (AB) yenilenebilir enerji politikalarına uyum sağlanması amacıyla hazırlanmıştır. Akaryakıt statüsüne geçen biyodizelden Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) alınmamış ‘dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından, bir takvim yılı içerisinde, ithal edilen ve kara tankeri dolum üniteleri hariç rafinericiden temin edilen motorininin toplamına, en

az %0,5 (V/V) oranında yerli tarım ürünlerinden veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biyodizelin harmanlanmış olması zorunludur' kararı getirilmiştir. Bu karardan yaklaşık iki yıl sonra EPDK, 5 Ocak 2006 yılında biyodizel üreticilerini lisans kapsamına almış ve bundan iki sonra da petrol piyasasında haksız rekabet oluşturuyor gerekçesiyle gelir vergisi kanununda değişikliğe gitmiş ve biyodizele ÖTV vergisi getirilmiştir. 8 Aralık 2006 yılında Resmî Gazetede yayınlanan kararla; yerelden (yerli tarım ürünlerinden) üretilen biyodizelin %2'lik oranında dizel yakıtına karıştırılması öngörülmüş ve bu durum da ÖTV dışında tutulmuştur.

En çok bitkisel yağlardan elde edilen biyodizelin ana bileşeni trigliserit olup trialkilgliserol şeklinde tanımlanmaktadır (Acaroğlu, 2007). Trigliseritler, gliserollerin uzun yağ asidi zinciriyle bağlı esterlerdir. Erime derecesi yapılarını oluşturan yağ asidi komponentleri tarafından belirlenmektedir. Genellikle doymuş yağ asitlerinin miktarına ve zincir unluğuna paralel olarak yağların erime derecesi yükselmekte ve yapılarına bağlı olarak vücut sıcaklığında farklı fiziksel haller göstermektedir. Hayvansal ve bitkisel yağların ve bunlardan oluşan esterlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini yağ asidi profili belirlemektedir (Acaroğlu, 2007). Bundan dolayı yüksek miktarlarda metil palmitat ve metil stearat içeren bir karışımın katılma noktası bu maddeleri daha az içeren karışımların katılma noktasından daha fazladır (Acaroğlu, 2007).

Hayvansal ve bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde esas alınan kaideler mevcut yağın; biyodizele dönüştürülmesi düşünülen yağın bulunabilirliği, maliyeti ve aynı maddenin kendi içerisinde ihtiva ettiği serbest yağ asidi oranıdır. Dünya geneline baktığımızda üretilen biyodizelin yüksek çoğunluğu bitkisel yağ kökenli olup bu durum Türkiye'de paralellik gösterse de mevcut duruma alternatif olabilecek tek tür atık hayvansal yağ ürünleridir. Türkiye şartlarını göz önüne aldığımızda bulunabilirliği kolay ve maliyet açısından düşük sayılabilecek alternatif yağ çeşidi de mezbahanede kesilen büyük veya küçükbaş hayvanlardan elde edilen atık yağın yanı sıra rendering tesislerinde elde edilen tavuk yağıdır. Bu kesim tesislerinde hayvanlar kesildikten sonra hedeflenen işlemde sonra geriye kalan atık (deri, kan, boynuz, tüy, kemik, tüm iç organlar vb..) kısımlar belirli proseslerden geçirilerek hayvan yemi ve yağ elde edilir. Ucuz ve kolay bulunabilen bu yağın tek dezavantajı da içerdiği serbest yağ asidi (SYA) oranının bitkisel yağlara göre fazla yüksek olmasıdır.

Biyodizel üretiminde belirleyici olan en önemli parametre olan serbest yağ asidinin artması demek biyodizel üretiminin zorlaşması demektir. Yağın içerisindeki asidik oranın artması biyodizel oluşumunun aksine tepkimede sabunlaşmaya neden olur. Bu yüzden başta hayvansal yağlar olmak üzere bitkisel yağlardan bile biyodizel üretilmeye çalışılırken kullanılan yağın serbest yağ asidi oranı belirlenmeli, bu oranın yüksek olması durumunda istenilen standart aralığında çekildikten sonra biyodizel üretim işlemine geçilmelidir.

Alkali katalizörler, yüksek oranda serbest yağ asidi içeren yağlarla tepkimeye girdiğinde sabun oluşumuna neden olur (Alptekin ve Çanakçı, 2011). Bu durum, tekime sonunda meydana gelen suyun, esterin ve gliserin maddesinin ayrışmamasına neden olur. Serbest asit oranı %1 veya üzerinde olan yağlarda, yağın asidik oranı düşürülmek için alkali katalizör yerine asidik katalizörle tepkimeye sokulup yüksek yağ asitlerini mono esterlere dönüşümü sağlanarak mevcut yağ asidi oranı düşürülür (Alptekin ve Çanakçı, 2011). Yağın içerisindeki serbest yağ oranı düşürüldükten sonra transesterifikasyon reaksiyonu için trigliserin miktarına göre katalizör ve alkol oranı belirlenir ve tepkime başlatılır. Bazı ya da asit katalizörlerle gerçekleştirilebilecek bu tepkimler ürünler tarafında oluşabilecek ve dezavantajı yüksek olan su oluşuna göre katalizör maddesi seçilmelidir. Çünkü tepkime sırasında suyun fazla olması reaksiyonu olumsuz etkileyecek ve ön iyileştirmede istenilen sonuç alınamayacaktır. Tepkime esnasında istenmeyen bu durum, reaksiyonu durdurur ve biyodizel oluşumunu engeller.

Biyodizel üretiminde kullanılacak yağların serbest yağ asitleri kadar bu yağların yoğunluğu, viskozitesi, parlama noktası, setan sayısı, ısı değeri ve yakıtın toksit etkisi önemlidir. Avrupa Birliği ve Amerika’da belirli kriterlere göre saptanan bu değerler EN-14212 ve ASTM-D-6551 olarak adlandırılmış ve kabul edilmiştir. Türkiye ise, Türk Standartları Enstitüsü’nün belirlediği (TSE) EN-14212 değerlerini kabul etmiş ve bu değerleri yasallaştırmıştır. Tablo 4.1’de biyodizel yakıtının standartları verilmiştir.

Tablo 4.1. Avrupa ve Amerika’da kabul edilen biyodizel standartları (Anonim, 21 Nisan 2018)

Biyodizel standartları		Avrupa EN 14214	ASTM6751
Yoğunluk 15°C	g/cm ³	0.86-0.90	
Viskozite 40°C	mm ² /s	3.5-5.0	1.9-6.0
Damıtma	% @ °C		90%,360°C
Alevlenme noktası (Fp)	°C	101 min	93 min
Bulutlanma noktası	°C		
Sülfür	mg/kg	10 max	15 max
Carbon kalıntısı(10%dist.residue)	%mass	0.3 max	
Sülfatlı kül	%mass	0.02 max	0.02 max
Oksitli kül	%mass		
Su	mg/kg	500 max	Şartname
Toplam kirlenme	mg/kg	24 max	
Oksidasyon kararlılığı	hrs;110°C	8 hours min	3 hours min
Setan sayısı		51 min	47 min
Asit değeri	mgKOH /g	0.5 max	0.5 max
Metanol	%mass	0.20 max	0.2 max or Fp <130°C
Ester içeriği	%mass	96.5 min	
Monoglisericid	%mass	0.7 max	
Diglisericit	%mass	0.2 max	
Triglisericid	%mass	0.2 max	
Serbest gliserol	%mass	0.02 max	0.02 max
Toplam gliserol	%mass	0.25 max	0.24 max
İyot değeri		120 max	
Linolenik asit ME	%mass	12 max	
C (x: 4) ve daha büyük doymamış esterler	%mass	1 max	
Fosfor	mg/kg	4 max	10 max
Alkaliklik	mg/kg		
Gp I metalleri (Na, K)	mg/kg	5 max	5 max
GpII metalleri (Ca, Mg)	mg/kg	5 max	5 max
PAH	%mass		
Yağlama / aşınım	µm at 60°C		

4.2. Biyodizel Üretim Metotları

Asidik oranı ve viskozitesi düşük olmak koşulluyla tüm yağlardan biyodizel yakıtı elde edilebilir. Yüksek viskozite değerlerine sahip olan yağların viskozite değerleri ısı ve kimyasal yöntemlerle düşürülebilir (Aksoy, 2010). Isıl yöntem hareketli motor parçalarında oluşturabilecek problemler nedeniyle tercih edilmeyip yerine kimyasal yöntem tercih edilmektedir (Aksoy, 2010). Kimyasal yöntemlerde dört başlık altında incelenebilir.

4.2.1. Seyreltme yöntemi

Yüksek viskoziteli yağların, viskozitenin düşürülmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle, bitkisel ve hayvansal veya tüm atık yağların içerisine dizel yakıtının yanı sıra bir başka çözücüyle karıştırılarak viskozitenin inceltme işlemidir (Aksoy, 2010). Bu yöntemle dizel yakıtı kullanımı da azaltılmakta ve yakıt maliyeti dizel yakıta göre azaltılmaktadır.

4.2.2. Mikro-emülsiyon yöntemi

Mikro-emülsiyon yönteminde metanol ve etanol gibi kısa zincirli alifatik alkoller kullanılarak birbirine karışmayan iki sıvının mikro-emülsiyon duruma getirilerek viskozite değerinin düşürülmesi olayıdır (Aksoy, 2010). Bu yöntemde kullanılan alkollerin setan sayısının düşük olması bu işlemde oluşturulan mikro-emülsiyon yakıtının da setan sayısının düşük olmasına neden olur. Meydana gelen bu durum, düşük sıcaklıklarda elde edilen yakıtın ayrışmasına neden olmaktadır (Aksoy, 2010).

4.2.3. Piroliz yöntemi

Piroliz yöntemi, çok yüksek sıcaklıklarda yüksek moleküllü bileşiklerin parçalanarak daha düşük moleküllü bileşikler elde etme yöntemidir (Aksoy, 2010). Maliyetli olan bu yöntem kullanılarak yağların viskozitesi düşürülmektedir. Bitkisel yağların piroliz ürünleri iki yöntemle elde edilir. Birinci yöntem, bitkisel yağları kapalı bir kaptaki ısı ile parçalamak diğeri ise standart ASTM (Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu) destilasyonu yöntemi kullanılarak bitkisel yağları ısı parçalama etkisinde tutmaktır (Aksoy, 2010).

4.2.4. Transesterifikasyon yöntemi

Transesterifikasyon, hayvansal ve bitkisel yağların alkollerle tepkimesi sonucu biyodizel meydana getirme durumudur (Aksoy, 2010). Bu yöntemde genellikle tercih edilen metanol ve etanol alkolleridir. Ancak metanolün polar olması, trigliseritlerle kolay reaksiyona girmesi ve en kısa zincirli alkol olması nedeniyle etanole göre daha fazla tercih edilir (Aksoy, 2010). Biyodizel üretiminde kullanılan bu yöntem, biyoyakıtlar için problem olan yüksek kinematik viskoziteyi düşürmede etkili olan bir yöntemdir (Aksoy, 2010). Biyodizel elde etme reaksiyonu sonucunda yan ürün olarak mono gliseridler ve digliserid reaktan fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur.

5. MATERYAL VE METOD

5.1. Deney Yakıtlarının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bu çalışmada, motor deneyleri için Batman'da bir akaryakıt istasyonunda temin edilen dizel yakıtı referans yakıt kabul edilmiş atık hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel ise ticari bir firma tarafından temin edilmiştir. Temin edilen dizel yakıtına hacimsel olarak %8, %15, %35 oranında atık hayvansal yağlardan temin ettiğimiz biyodizel yakıtı ile karıştırılarak DY (Dizel yakıtı), HB8 (%8 hayvansal biyodizel ve %92 dizel yakıtı), HB15 (%15 hayvansal biyodizel ve %85 dizel yakıtı), HB35 (%35 hayvansal biyodizel ve %65 dizel yakıtı), KHB15 (%15 hayvansal biyodizel, %85 dizel yakıtı ve FeCl_3 katkısı) ve KHB35 (%35 hayvansal biyodizel, %65 dizel yakıtı ve FeCl_3 katkısı) yakıtları elde edilmiştir. Daha sonra İstanbul'da bulunan Balmumcu kimya fabrikasından sıvı şekilde demir klorür (FeCl_3) temin edilmiş ve 100 milli litre başına 1.59 milli gram olmak üzere hazırlanan test yakıtlarının ikisine fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla demir klorür (FeCl_3) katkısı eklenmiştir. Deney yakıtların analizleri Batman Üniversitesi Petrokimya laboratuvarında ve standart prosedürlere uygun yapılmıştır. Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal belirlenmeden önce, demir klorür (FeCl_3) eklenmiş yakıtlar manyetik bir karıştırıcıyla 30 dakika karıştırılmış ve belirli bir süre bekletildikten sonra analiz aşamasına geçilmiştir. Hazırlana deney yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Deney yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Yakıtlar/ Parametreler	DY	HB8	HB15	HB35	KHB15	KHB35
Flash point (°C)	62,5	63,5	64,4	67,5	67,5	98,5
Viskozite (mm ² /sn)	3,347	3,543	3,723	4,263	3,755	4,334
Yoğunluk (g/cm ³)	0,832	0,836	0,840	0,844	0,841	0,845
Isıl değer (kJ/kg)	43337	41500	41350	39700	41450	40000
Setan indexi	52,25	53,32	54,16	55,54	54,18	55,54

5.2. Motor Parametrelerinin Hesaplanması ve Deneysel Metot

Bu deneysel çalışma, Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü deney atölyesinde tek silindirli, 4 stroklu, su soğutmalı, sıkıştırma oranı değişebilen direkt püskürtmeli Kirlaskor TV-1 dizel motorunda sabit 1550 dev/dk'da ve farklı yüklerde (4 kg, 8 kg, 12 kg) yapılmıştır. Eddy Current dinamometre yük miktarı 0-50 kg arasında olduğu için test deneyleri motorun yüklenmesine %8, %16 ve %24 olarak karşılık gelmektedir. Yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlendikten sonra ilk önce dizel yakıtı ile yanma ve performans değerleri alınmıştır. Alınan değerlerinin doğruluğu test etmek için motor katalog değerleri ile literatürde bu motorla yapılmış değerler karşılaştırılmıştır. Değerlerin doğruluğu tespit edildikten sonra sırasıyla DY, HB8, HB15, HB35, KHB15 ve KHB35 yakıtlarıyla testler yapılmıştır. Daha sonra test yakıtlarından alınan bu değerler dizel yakıtının değerleriyle grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu deneyler her yakıtı için 4 kg (%8), 8 kg (%16) ve 12 kg (%24) yüklerinde test edilmiştir. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2.Deney motorunun teknik özellikleri

Motor İsmi	Kirlaskor TV-1
Motor Gücü (Kw)	3,5
Motor Hacmi (cc)	661
Silindir Çapı (mm)	87
Strok Uzunluğu (mm)	110
Sıkıştırma Oranı	17:1
Püskürtme Avansı	ÜÖN'den önce, 0-25 derece arası
Srok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Soğutma Tipi	Su Soğutmalı
Dinamometre Tipi	Eddy Current
Dinamometre Soğutma tipi	Su Soğutmalı
Yük Göstergesi	Dijital, 0-50 kg

Motor efektif gücü (P_e), özgül yakıt tüketimi (b_e) başta olmak üzere deney esnasında istenilen tüm parametreler, bilgisayarda kurulan ICEngineSoft_9.0 programı tarafından direkt hesaplanmaktadır. Daha sonra bu değerlerin doğruluğu gözden geçirilip saptanan veriler formüllerle tekrar hesaplanmaktadır. Yakıt tüketimi, kütleli olarak dijital

kronometre ile 1 gr hassasiyetli elektronik bir teraziyle ölçülmüştür. Birim zamandaki yakıt tüketimi, belirlenen zaman içerisinde yakıt kütlesinin değişimiyle elektronik teraziyle tartılarak hesaplanmıştır. Motor performansının hesaplanması için ortaya çıkan çıkış gücü ile yakıtların ısıl değerleri ve yakıt tüketimi hesaplanarak efektif verim, ortalama efektif basınç ve özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır.

Özgül yakıt tüketiminin hesaplanması aşağıdaki denklemde (5.1) gösterilmiştir.

$$\text{ÖYT (b}_e\text{)} = \dot{m}_y \times 3600 / P_e \text{ (gr/kWh)} \quad (5.1)$$

ÖYT= özgül yakıt tüketimi, $\dot{m}_y$ = kütleli yakıt debisi (g/s) , P_e = motor gücü (kW)

Test yakıtların Efektif Termik Verim hesaplanması denklem (5.2)'de verilmiştir.

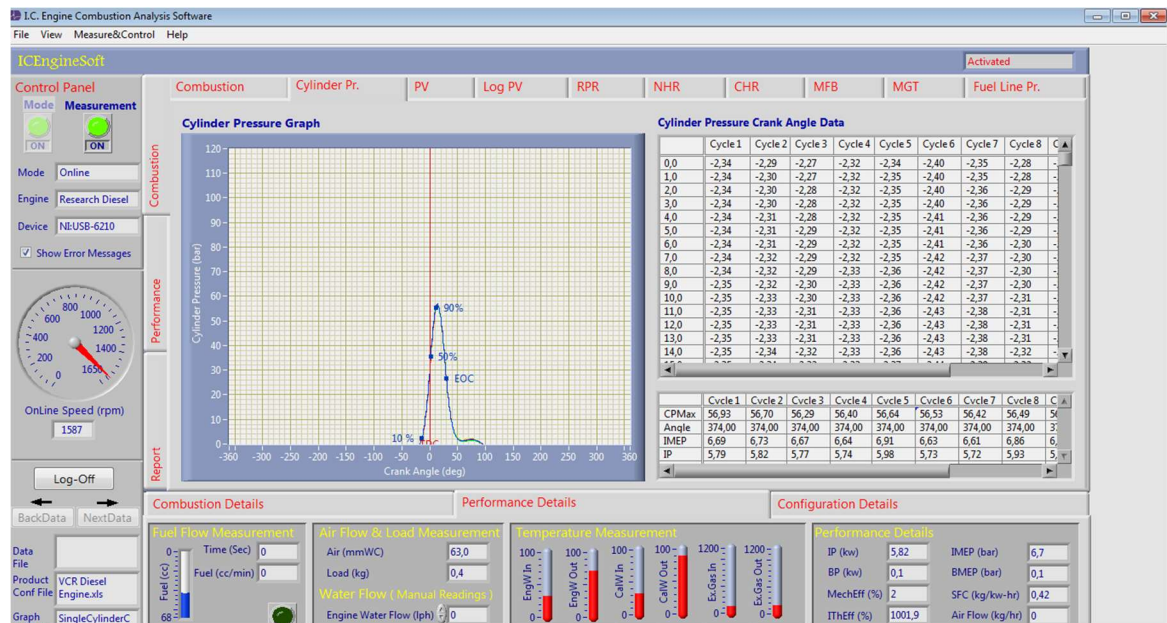
$$\text{ETV} = 3,6 \times 10^6 / b_e \times H_u \quad (5.2)$$

$$P_{me} = P_e / V_h \times n \times i \text{ (kPa)} \quad (5.3)$$

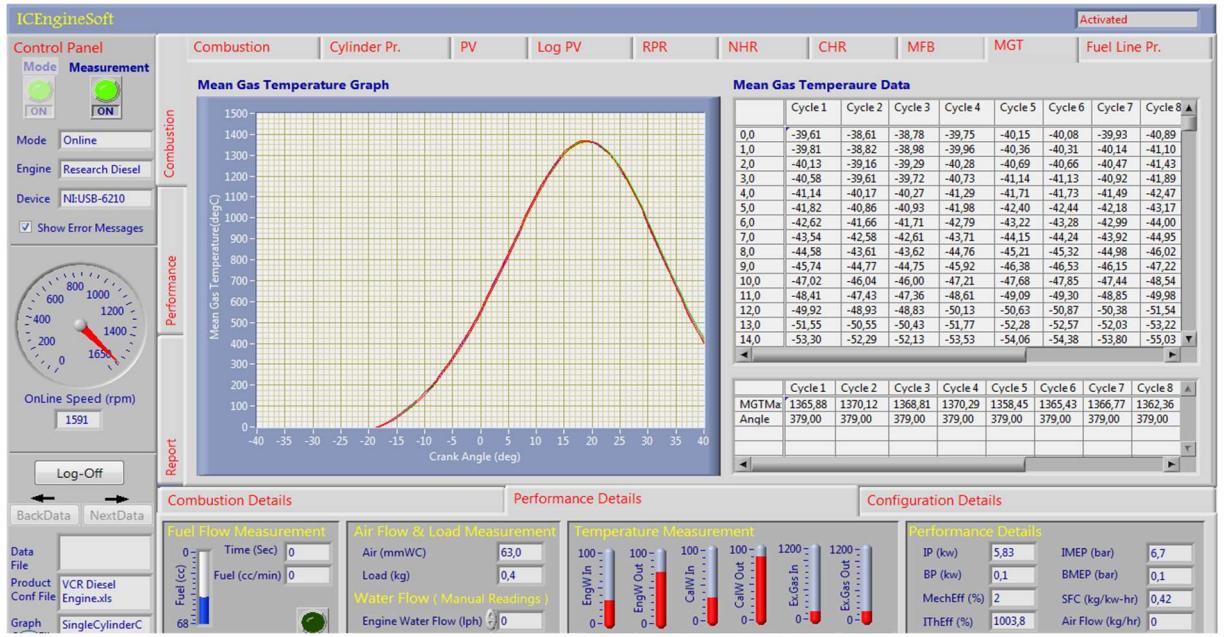
P_{me} = ortalama efektif basınç, toplam strok hacmi (m^3), n = devir sayısı (dev/dk)

i = çevirim/devir (dört zamanlı motor için $1/2$)

ETV= efektif termik verim, b_e = özgül yakıt tüketimi (gr/kWh), H_u = yakıtın ısı değeri (kJ/kg). Yanma ve performans verilerinin alındığı ICEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüleri Şekil 5.1 ve 5.2'de verilmiştir. Şekil 5.3 ve 5.4'te sırasıyla deney test düzeneğinin fotoğrafı ve deney düzeneğinin şematik görünüşü verilmiştir. Şekil 5.3'te ise hazırlanan yakıtlar ve $FeCl_3$ katlı yakıtların görüntü verilmiştir.



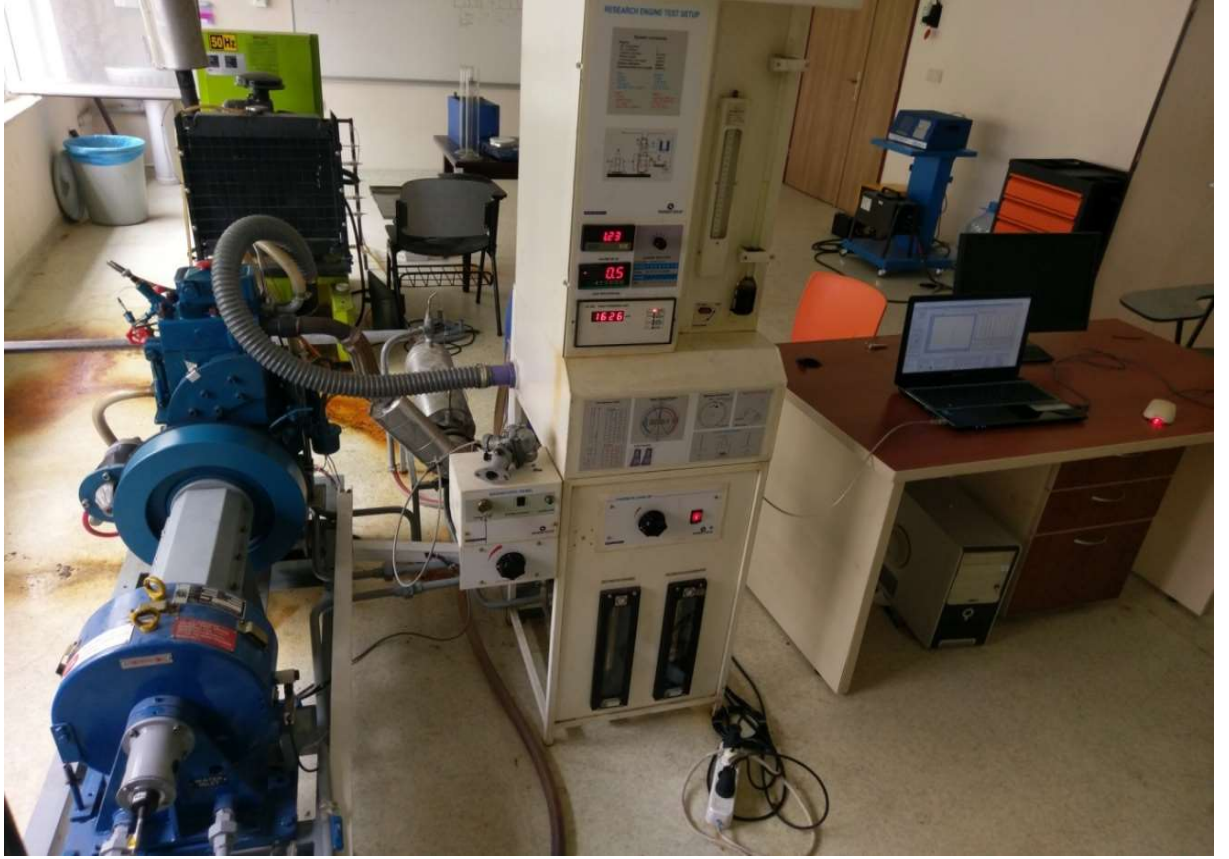
Şekil 5.1. Test yakıtları verilerinin alındığı ICEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü



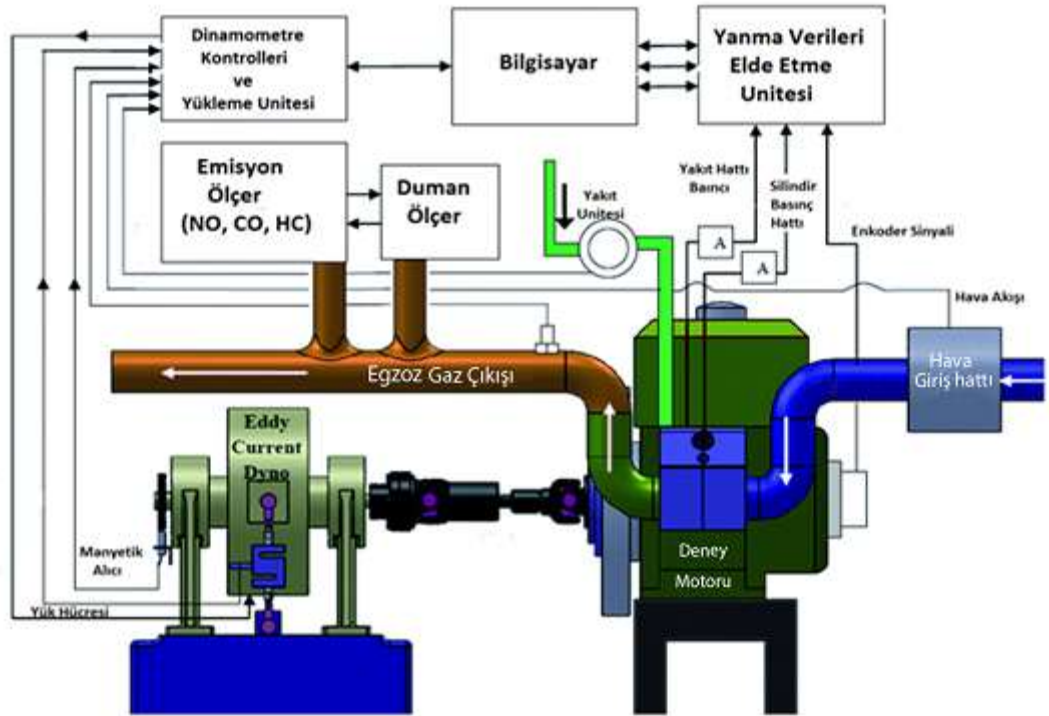
Şekil 5.2. Test yakıtları verilerinin alındığı ICEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü



Şekil 5.3. Deney yakıtlarının görüntüsü



Şekil 5.4. Deney düzeneğinin görüntüsü



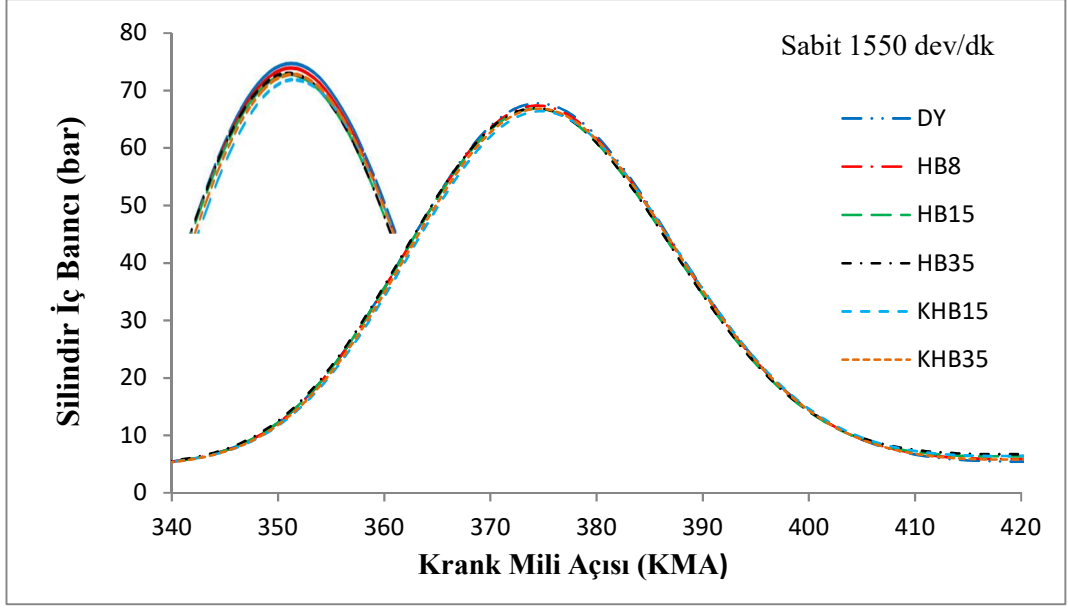
Şekil 5.5. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü

6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

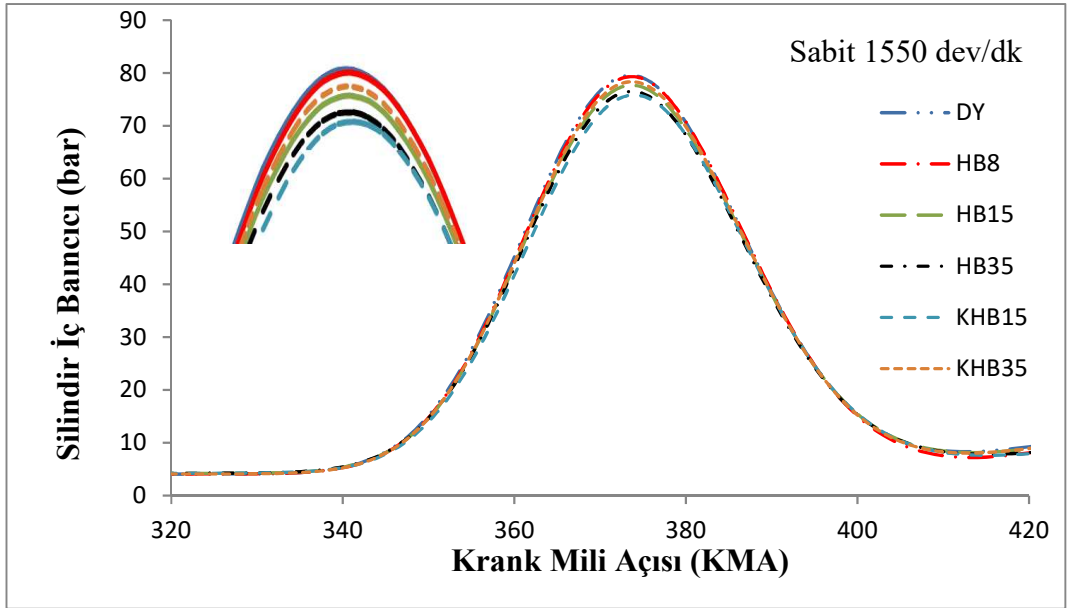
Deneyisel çalışmanın bu bölümünde, dizel yakıtının ve atık hayvansal yağlardan elde edilmiş biyodizel yakıtının %8, %15 ve %35 oranlarında karıştırıldıktan sonra 100 milli litre yakıt içerirse 1,59 milli gram oranında demir klorür (FeCl_3) katkısı eklenmiş sabit motor devrinde (1550 dev/dk) ve farklı yüklerde bir dizel araştırma motorunda test edilmiştir. Daha sonra deney motorundan elde edilen yanma ve performans değerleri grafiksel olarak karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

6.1. Silindir İç Basınç Parametresinin Değerlendirmesi

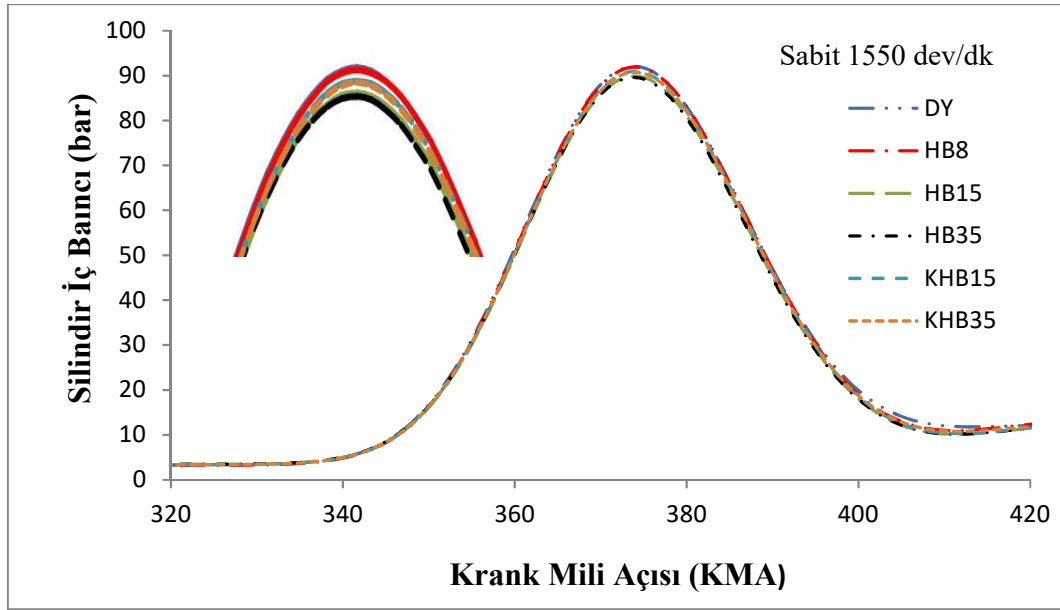
Sabit devir (1550 dev/dk) ve farklı motor yüklerinde (4 kg-%8, 8 kg-%16, 12 kg-%24) bir dizel motorunda test yakıtlarının krank mili açısına göre silindir içi gaz basınçları Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'te verilmiştir. Test yakıtlarından elde edilen grafiklere bakıldığında; tüm test yakıtları için motor yükü artırılmasıyla doğru orantılı olarak silindire gönderilen yakıt miktarı arttığı için tüm yakıtlarda yük artışına bağlı olarak silindir içi gaz basınçları artmıştır. Motor yükünün azalmasıyla da silindir içi gaz basınçları genişleme ve art yanma zamanı altında kalan alanların krank mili açısı cinsinden de azaldığı görülmektedir. 4 kg, 8 kg ve 12 kg yüklerine bağlı olarak tüm test yakıtları için meydana gelen çevirimler farklı olsa da silindir iç basınçları birbirlerine oldukça yakın seyretmiştir. Bu da hayvansal atık yağlardan elde edilen biyodizel ile kullanılan dizel yakıt parametrelerinin uygunluğuna ve dizel motorunda biyodizel yakıtların yanma süreçlerinin benzer olmasına bağlanabilir. Silindir içi gaz basıncı değerleri her üç yükte krank mili açısına göre 360° - 375° arasında meydana gelmiştir. 4 kg ve 8 kg yüklerinde en yüksek silindir basıncı DY yakıtı tarafından meydana gelmiş hemen ardından da çok düşük bir farkla HB8 yakıtı gelmiştir. 4 kg ve 8 kg yüklerinde DY ve HB8 değerleri karşılaştırıldığında; 4 kg yükündeki DY yakıtı silindir içi gaz basıncı 67,74 bar iken HB8 yakıtının silindir gaz basıncı 67,35 bardır. 8 kg'daki gaz basınçları değerleri ise DY yakıtı için 79,51 bar iken HB8 yakıtı için 79,30 bar göstermiştir. 12 kg yükündeki değere bakıldığında ise HB8'in silindir gaz basıncı 91,89 bar'a 92,04 bar farkla DY yakıtından düşük çıkmıştır. Benzer sonuçlar diğer literatür çalışmalarında da elde edilmiştir (Yaşar, 2016). DY yakıtının silindir gaz basıncının diğer test yakıtlara göre daha yüksek olmasının sebebi; dizel yakıtının ısı değerin diğer biyodizel karışimli test yakıtlarına göre daha yüksek olmasına bağlanabilir.



Şekil 6.1 Test yakıtlarının %8 yükteki krank açısına bağlı olarak silindir iç basınç değişimi



Şekil 6.2 Test yakıtlarının %16 yükteki krank açısına bağlı olarak silindir iç basınç değişimi

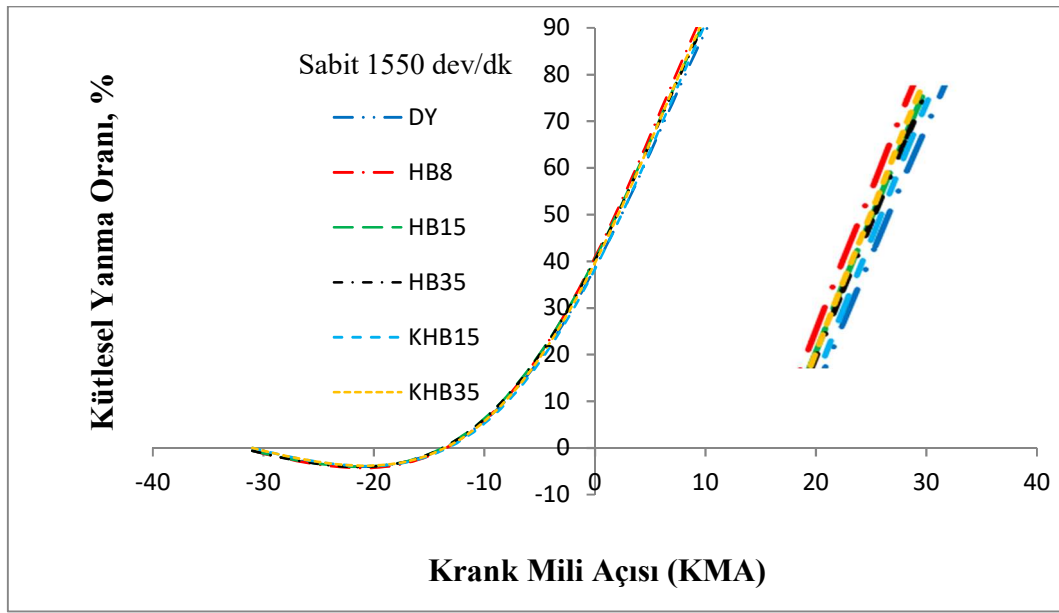


Şekil 6.3 Test yakıtlarının %24 yükteki krank açısına bağlı olarak silindir iç basınç değişimi

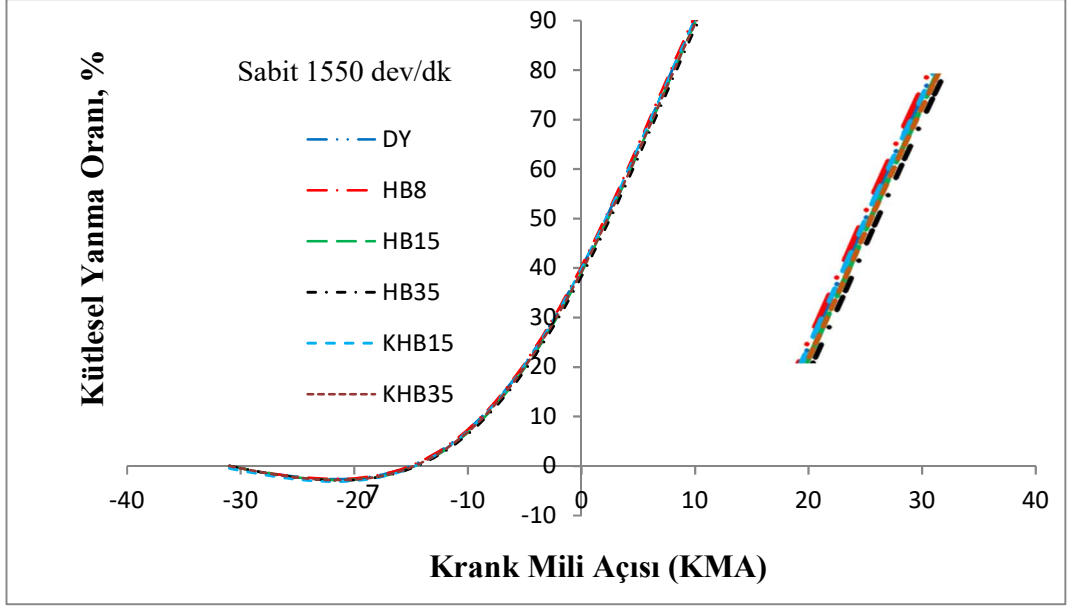
6.2. Kütlesel Yanma Oranı Parametresinin Değerlendirmesi

Sabit 1550 dev/dk'da farklı motor yüklerinde (4 kg-%8, 8 kg-%16, 12 kg-%24) bir dizel motorunda test yakıtlarının krank mili açısına göre kütlesel yanma oranları yüzde cinsinden Şekil 6.4, 6.5 ve 6.6'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde; biyodizel karışımli yakıtların kütlesel yanma oranları benzerlikler gösterse de yük durumuna bağlı olarak değiştiği ve biyodizel katkılı yakıtların dizel yakıtından kısmi olarak farklılık gösterdiği görülmüştür. En düşük yük olan 4 kg'daki yakıtların ÜÖN'dan 10° sonra kütlesel yanma oranlarına bakıldığında DY, HB8, HB15, HB35, KHB15 ve KHB35 yakıtlarının kütlesel yanma oranları sırasıyla 89,25, 94,26, 91,91, 91,56, 90,9 ve 92,76 olduğu belirlenmiştir. 8 kg'da ve ÜÖN'dan 10° sonra ortalama kütlesel yanma oranı değerleri DY yakıtı için 90,38, HB8 yakıtı için 91,08, HB15, HB35, KHB15 ve KHB35 değerleri için sırasıyla 89,54, 88,35, 90,25 ve 89,41 olarak tespit edilmiştir. En yüksek yük olan 12 kg'da ÜÖN'dan 10° sonra kütlesel yanma oranlarına DY yakıtından KHB35 yakıtına doğru sırasıyla kütlesel yanma değerlerine bakıldığında yüzdelik olarak; 74,15, 81,28, 82,18, 82,19, 81,06 ve 83,04 çıktığı tespit edilmiştir. Kütlesel yanma oranı değerleri karşılaştırıldığında en düşük yük ve orta yükte en yüksek kütlesel yanma oranı HB8 yakıtında görülmüştür. Motor yükünün artmasıyla 12 kg yükteki kütlesel yanma oranına bakıldığında ise demir klorür katkı maddesi içeren KBH35 yakıtın en fazla olduğu ve DY yakıtının da kütlesel yanma oranının ne düşük olduğu tespit edilmiştir.

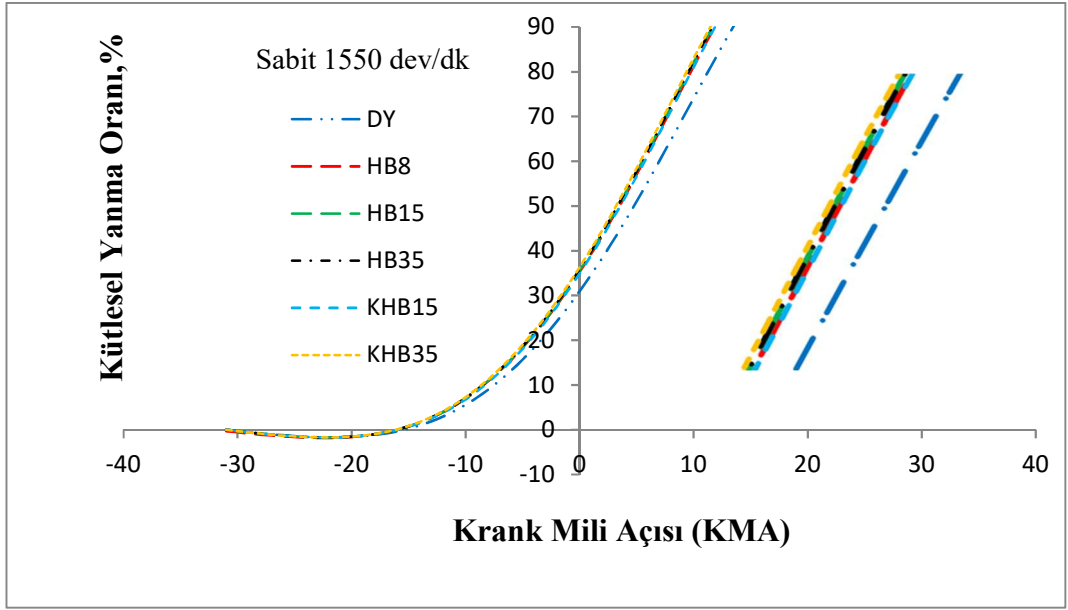
Grafiklerde görüldüğü ve yapılan çalışmalarda belirtildiği gibi biyodizel katkıli yakıtlarının yüksek setan sayısı, yüksek viskozite, yoğunluk ve yüksek oksijen miktarlarına bağlı olarak tutuşma gecikmesinin daha kısa olduğu ve buna bağlı olarak da biyodizel karışimli yakıtların DY yakıtından daha erken yanma başladığı ve bu karışımların ısı değerleri dizel yakıtına göre daha düşük olması sebebiyle aynı yükte dizel yakıtıyla aynı gücü vermeleri için kütleli olarak daha fazla yakıt tükettiği belirlenmiştir (Hosamani, 2018; Sezer,2016).



Şekil 6.4 Test yakıtlarının %8 yükteki krank açısına bağlı olarak kütleli yanma oranları değişimi



Şekil 6.5 Test yakıtlarının %16 yükteki krank açısına bağlı olarak kütleli yanma oranları değişimi

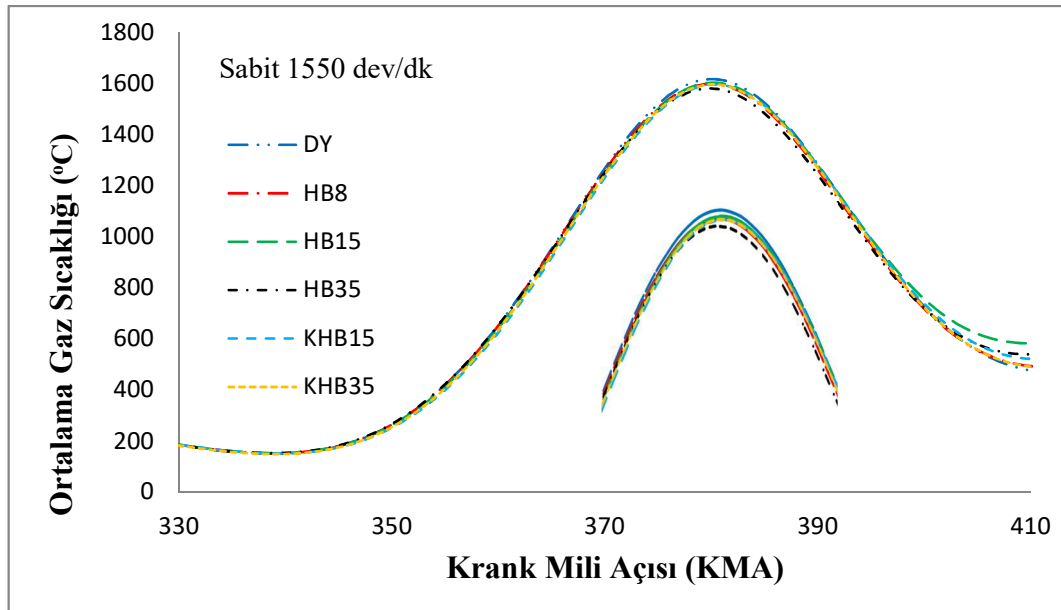


Şekil 6.6 Test yakıtlarının %24 yükteki krank açısına bağlı olarak kütleli yanma oranları değişimi

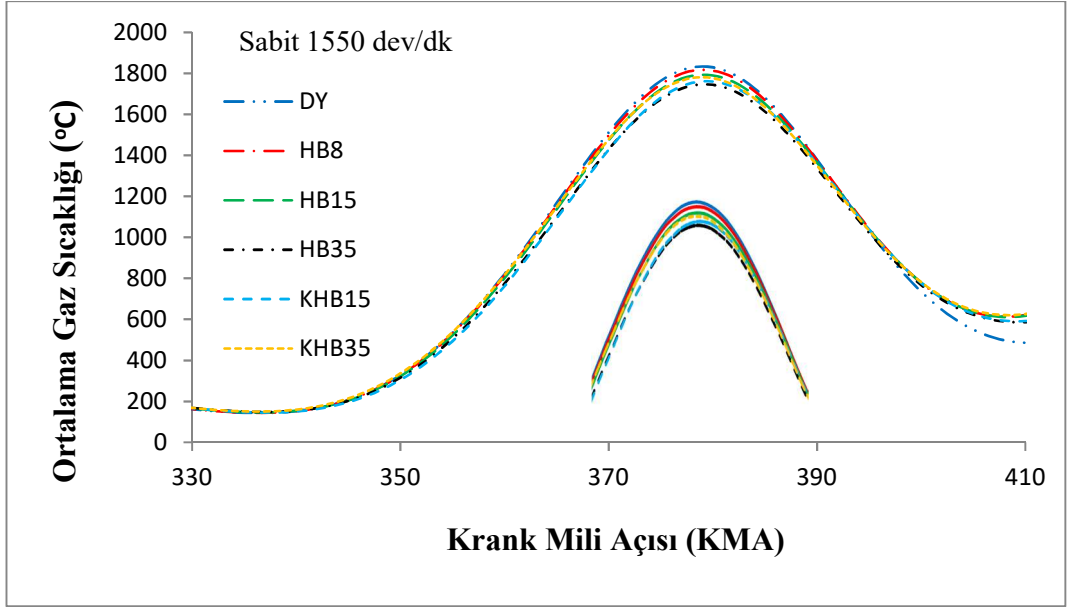
6. 3. Ortalama Gaz Sıcaklığı Parametresinin Değerlendirilmesi

Şekil 6.7, 6.8 ve 6.9'da test yakıtlarının krank mili açısına göre ortalama gaz sıcaklıkları °C cinsinden verilmiştir. Deney sonuçlarında elde ettiğimiz veriler incelendiğinde tüm test yakıtlarının 379 KMA'da 4 kg'daki en yüksek ortalama gaz sıcaklıkları DY, HB8, HB15, HB35, KHB15 ve KHB35 yakıtları için sırasıyla 1618.09°C, 1599,5°C, 1603,92°C, 1581,41°C, 1596,62°C, 1597,33°C olduğu tespit edilmiştir. 4 kg'daki yükte en yüksek gaz sıcaklığını DY yakıtı verirken en düşük gaz sıcaklığını da %2,26 farkla

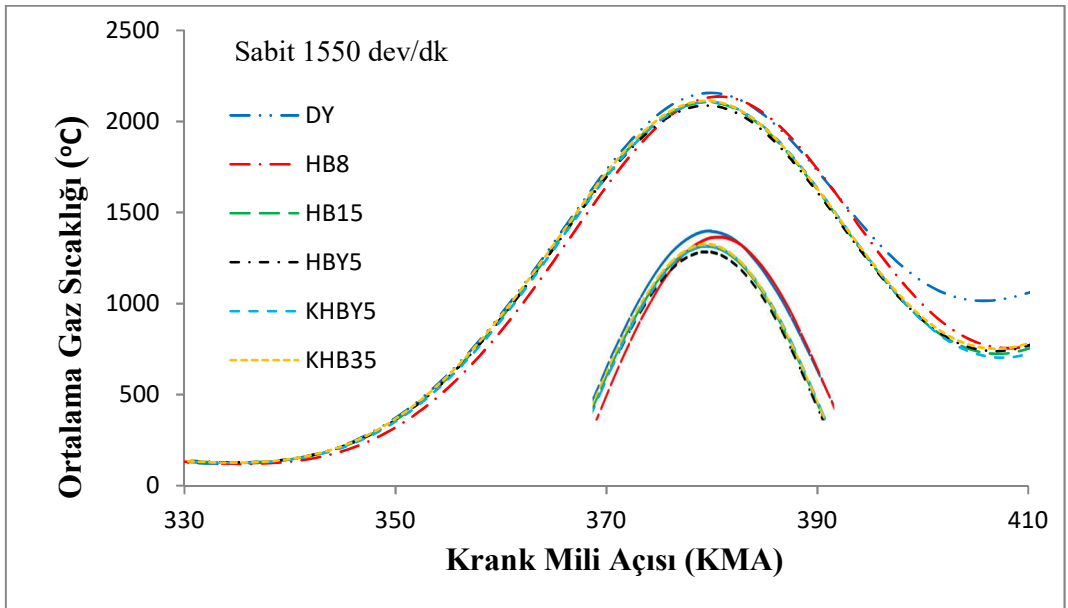
HB35 yakıtı vermiştir. Aynı test yakıtlarının 8 kg yükünde en yüksek sıcaklık değerlerine bakıldığında ise DY' yakıtından KHB35 yakıtına doğru sırasıyla 1833,82°C, 1817,17°C, 1793,47°C, 1746,45°C, 1761,19°C, 1781,58°C değerleri 378 KMA'da olduğu görülmüştür. 8 kg'daki en yüksek gaz sıcaklığını DY vermişken en düşük gaz sıcaklığını da %3,89 farkla HB35 vermiştir. 12 kg'daki en yüksek ortalama gaz sıcaklıklarına bakıldığında ise DY, HB8, HB15, HB35, KHB15 ve KHB35 yakıtları için sırasıyla 2153,09°C, 2122,79°C, 2104,78°C, 2086,19°C, 2104,92°C, 2112,6°C değerleri 379 KMA'da vermiştir. Bu yükteki en yüksek ortalama gaz sıcaklığını DY yakıtı verirken en düşük sıcaklığı da %3,1 farkla HB35 yakıtı vermiştir. Grafıklara bakıldığında, tüm yakıtlar için motor yükünün artmasıyla beraber silindir iç sıcaklıkları artmış ve buna bağlı olarak silindir içindeki ortalama gaz sıcaklığı da artmıştır. Tüm yakıtlar ve tüm yüklerde dizel yakıtının, ortalama gaz sıcaklığının daha fazla olmasının sebebi; dizel yakıtının alt ısıl değerinin biyodizel karışımli yakıtların ısıl değerinden daha yüksek olmasına bağlanabilir (Singh, 2017).



Şekil 6.7 Test yakıtlarının %8 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklıkları değişimi



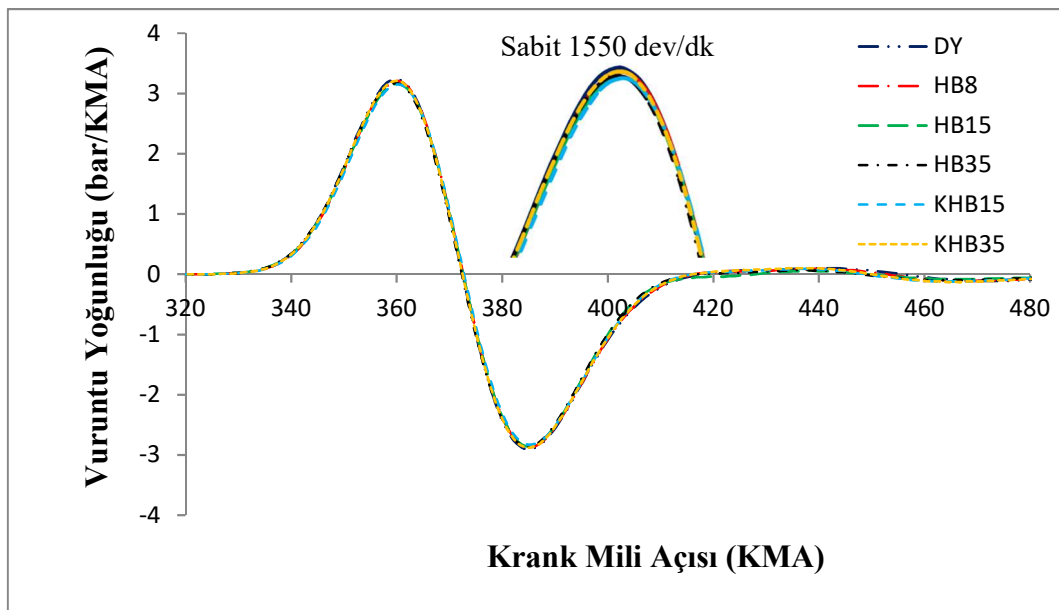
Şekil 6.8 Test yakıtlarının %16 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklıkları değişimi



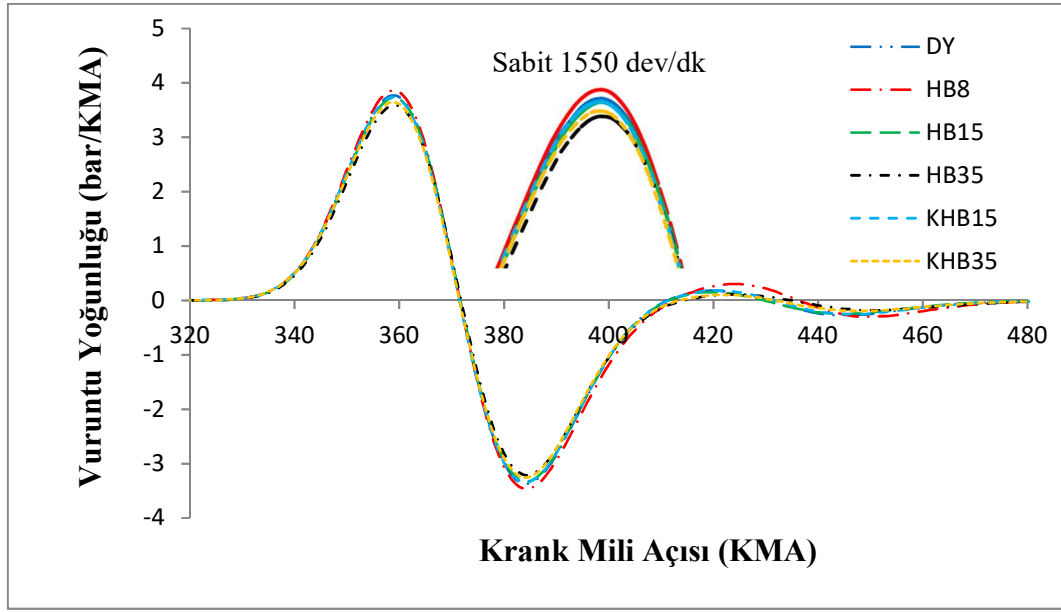
Şekil 6.9 Test yakıtlarının %24 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklıkları değişimi

6. 4. Vuruntu Yoğunluğu Parametresinin Değerlendirilmesi

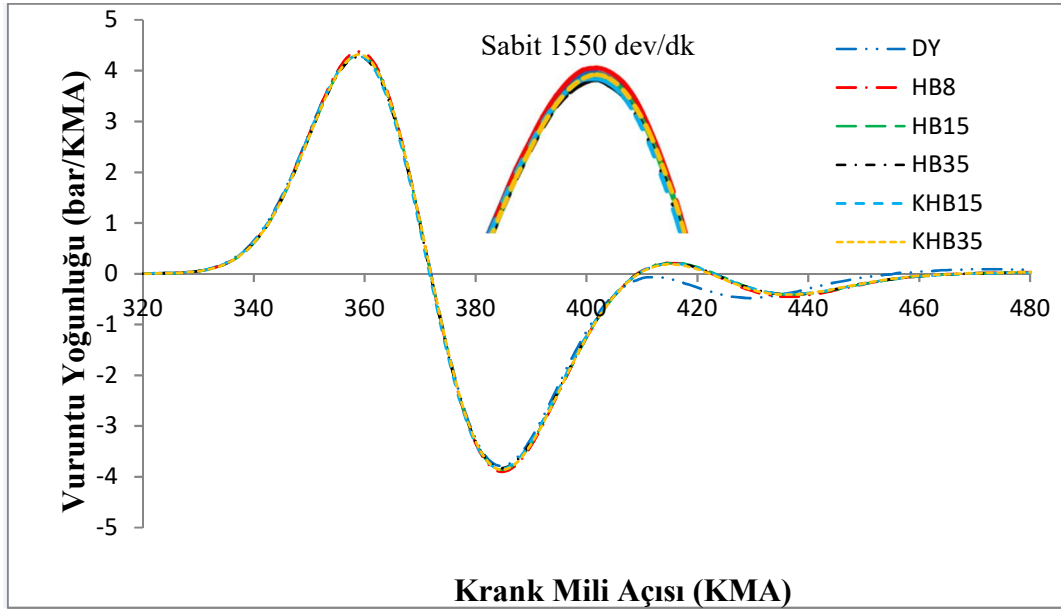
Sabit devir ve farklı motor yüklerinde test yakıtlarının dizel motorunda krank mili açısına göre vuruntu yoğunlukları bar/KMA cinsinden Şekil 6.10, 6.11 ve 6.12’de verilmiştir. 359 KMA’da deney sonuçlarında elde ettiğimiz veriler incelendiğinde 4 kg’daki DY, HB8, HB15, HB35, KHB15 ve KHB35 yakıtlarının en yüksek vuruntu yoğunluğu bar/KMA açısı cinsinden sırasıyla 3,24, 3,21, 3,16, 3,17, 3,15 ve 3,20 değerlerinde olup test yakıtları içerisinde en yüksek vuruntu yoğunluğu DY yakıtında tespit edilmiştir. Dizel yakıtından sonra ise gelen KHB15 yakıtından %2,77 oranında daha fazladır. Test yakıtlarının 8 kg’daki en yüksek vuruntu yoğunluklarına bakıldığında 359 KMA’da DY’den başlayarak KHB35 yakıtına doğru sırasıyla 3,74, 3,83, 3,7, 3,57, 3,70 ve 3,61 değerlerinde olduğu tespit edilmiştir. 8 kg yükteki en düşük vuruntu yoğunluğunu HB35 yakıtı vermişken %6,78 oranındaki fazlalıkla en çok HB8 yakıtı vermiştir. 358 KMA’da 12 kg’daki vuruntu yoğunluğu verilerine bakıldığında ise vuruntu yoğunlukları DY, HB8, HB15, HB35, KHB15 ve KHB35 yakıtlarına göre sırasıyla 4,34, 4,38, 4,31, 4,28, 4,29 ve 4,32 değerleri tespit edilmiş ve bu yükte de en yüksek değeri HB8 yakıtı vermiştir. Her üç yükte elde edilen veriler incelendiğinde, vuruntu yoğunluğu değerleri birbirlerine göre yakın çıktığı ve grafiklerinde paralel seyrettiği görülmüştür. Biyodizel yakıt karışımlarının vuruntu yoğunluklarının dizel yakıtından küçük bir farkla fazla olmasının sebebi; biyodizel yakıtlarının dizel yakıtına göre daha erken tutuşmasına ve bu yakıtların kontrolsüz yanmasına bağlanabilir (Hosamani, 2018; Singh ,2017).



Şekil 6.10 Test yakıtlarının %8 yükteki krank açısına bağlı olarak vuruntu yoğunlukları değişimi



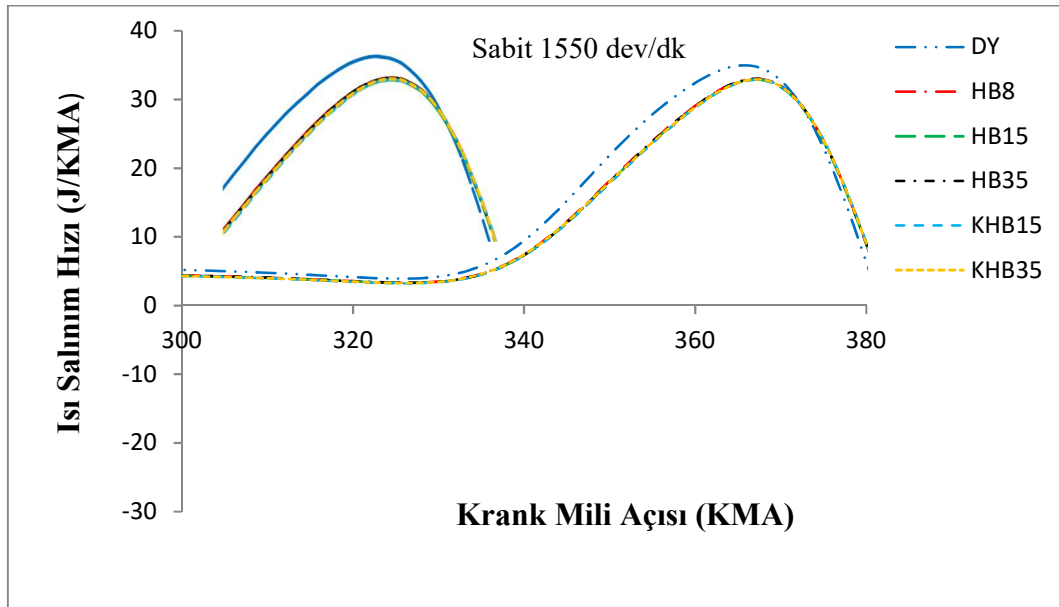
Şekil 6.11 Test yakıtlarının %16 yükteki krank açısına bağlı olarak vuruntu yoğunlukları değişimi



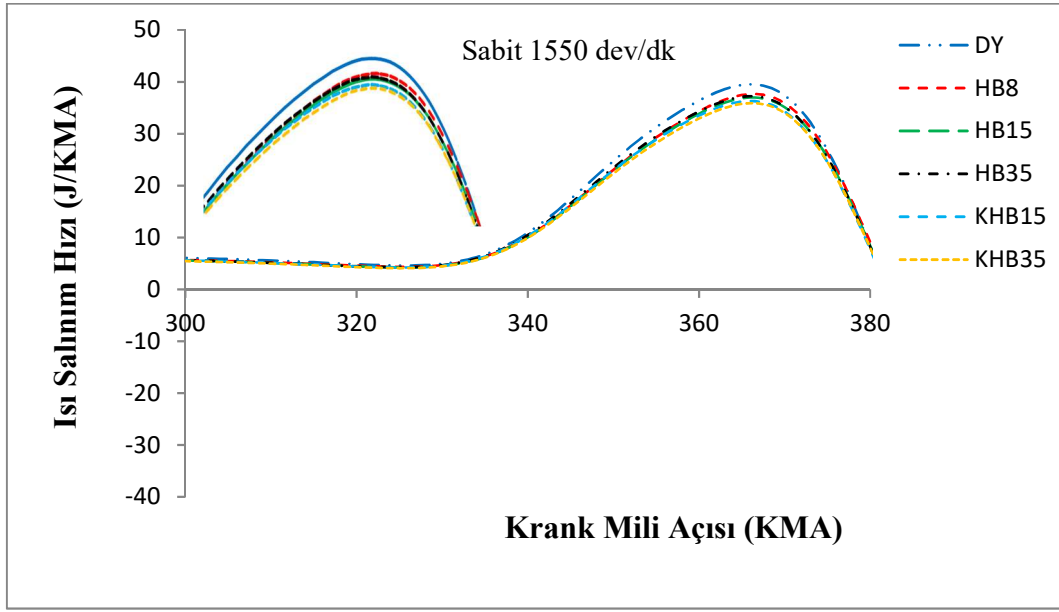
Şekil 6.12 Test yakıtlarının %24 kg yükteki krank açısına bağlı olarak vuruntu yoğunlukları değişimi

6. 5. Isı Salınım Hızı Parametresinin Değerlendirilmesi

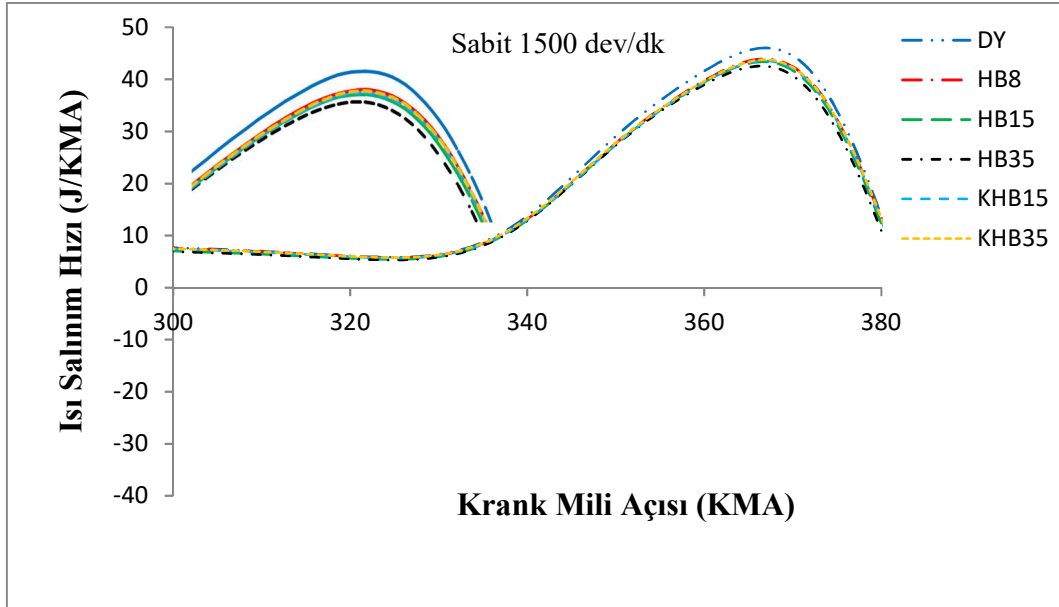
Şekil 6.13, 6.14 ve 6.15'te test yakıtlarının 4 kg, 8 kg ve 12 kg yüklerinde ısı salınım hızları J/KMA açısı cinsinden değişimleri verilmiştir. 4, 8 ve 12 kg yüklerde yapılan testlerde en yüksek ısı salınım hızı üst ölü noktadan 6-7° sonra meydana gelmiştir. 4 kg yükte yapılan testlerde en yüksek ısı salınım hızı 366° 'de 34,99 J/KMA ile DY yakıtı vermişken en düşük ısı salınım hızını da 366°'de 32,75 J/KMA ile KHB15 yakıtı vermiştir. Test yakıtlarının 8 kg yükte yapılan ısı salınım hızlarına bakıldığında, en yüksek ısı salınım hızını üst ölü noktadan 6° sonra 39,54 J/KMA ile DY yakıtı vermişken en düşük ısı salınım hızını da 366°'de 35,9 J/KMA ile KHB35 yakıtı vermiştir. Tüm yakıtlar için 12 kg yükte yapılan ısı salınım hızlarına bakıldığında ise en yüksek ısı salınım hızını 367°'de 46,05 J/KMA ile DY yakıtı vermiştir. 12 kg yükte en düşük ısı salınım hızını 42,53 J/KMA ile HB35 yakıtı vermiştir. DY yakıtının tüm yüklerde ısı salınım hızının biyodizel katkılı yakıtlardan daha yüksek olmasının sebebi; dizel yakıtının ısı değeri diğer test yakıtlarına göre daha yüksek olmasına bağlanabilir.



Şekil 6.13 Test yakıtlarının %8 yükteki krank açısına bağlı olarak ısı salınım hızlarının değişimi



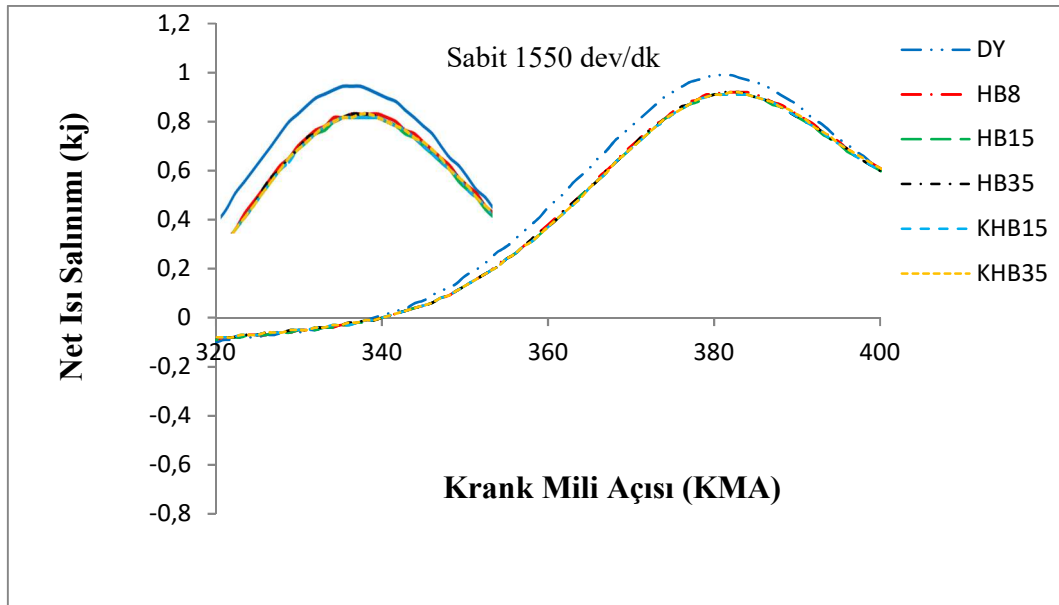
Şekil 6.14 Test yakıtlarının %16 yükteki krank açısına bağlı olarak ısı salınım hızlarının değişimi



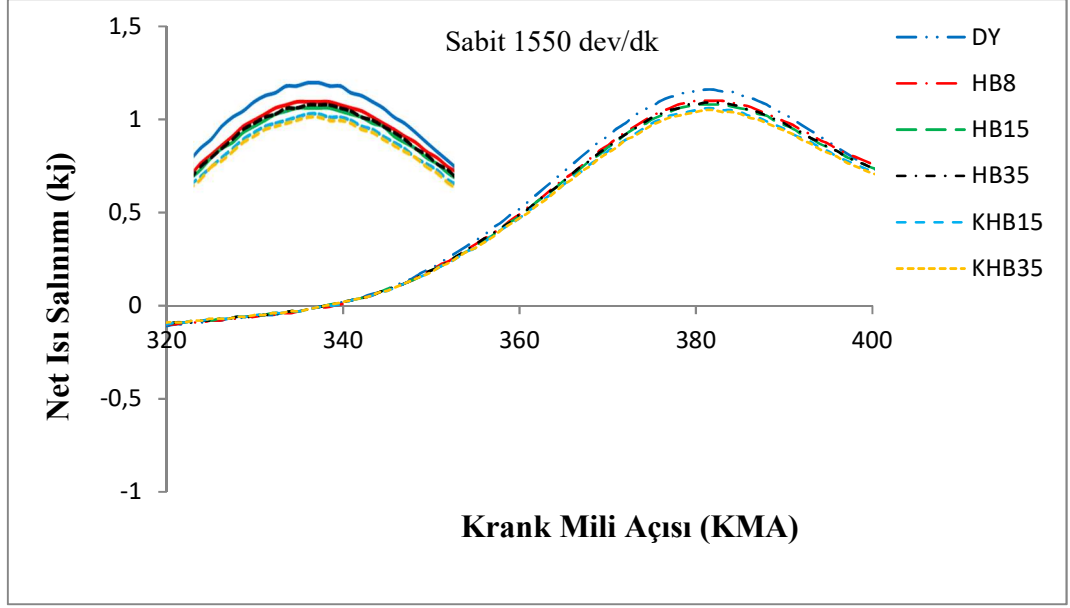
Şekil 6.15 Test yakıtlarının %24 yükteki krank açısına bağlı olarak ısı salınım hızlarının değişimi

6. 6. Net Isı Salınım Hızı Parametresinin Değerlendirilmesi

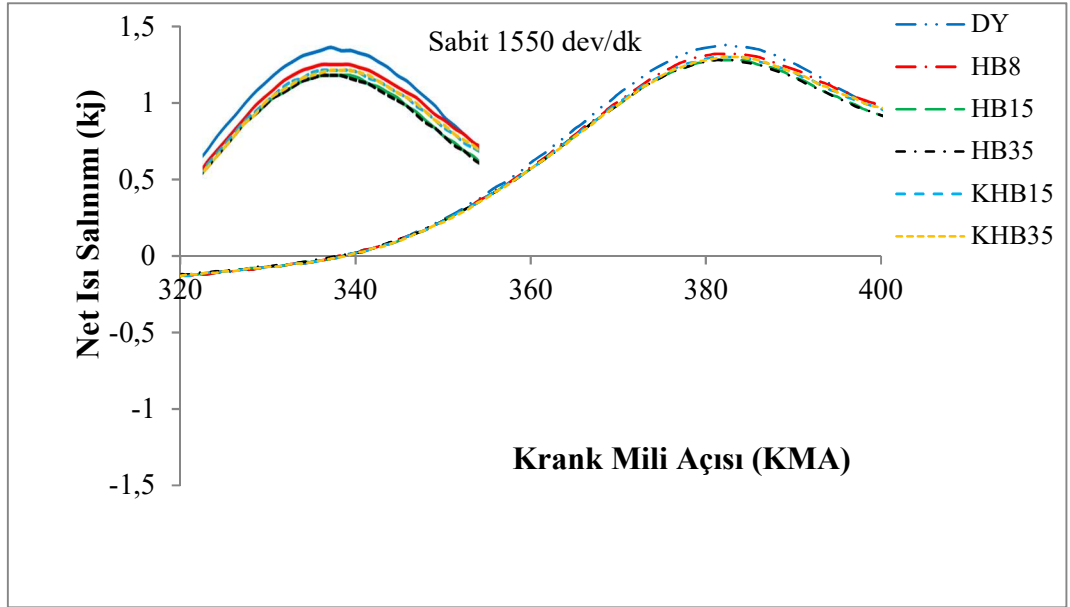
Tüm test yakıtlarının krank mili açısını bağlı olarak 4, 8 ve 12 kg yüklerde yapılan net ısı salınım değişimleri Şekil 6.16, 6.17 ve 6.18’de verilmiştir. Yük miktarı arttıkça tüm yakıtlar için net ısı salınım miktarının arttığı görülmüştür. Tüm test yakıtları için en yüksek net ısı salınım miktarı 360° - 382° arasında gözlemlenmiştir. 4 kg yükteki en yüksek net ısı salınım miktarının 380 KMA’da $0,99$ kJ ile dizel yakıtı vermişken kalan yakıtlar $0,91$ kJ ile aynı değerleri vermiştir. 8 kg yükteki net ısı salınım değerlerine bakıldığında ise en yüksek net ısı salınım değerini $1,16$ kJ ile DY vermiş ve ardından $1,1$ kJ’lük değer ile HB8 yakıtı gelmiştir. 8 kg’daki en düşük net ısı salınımını da $1,05$ kJ ile KHB35 yakıtı vermiştir. Tüm test yakıtlarının 12 kg’da net ısı salınım değerlerine bakıldığında ise $1,38$ kJ ile DY yakıtı en yüksek çıkmış ardından $1,32$ kJ ile HB8 yakıtı gelmiştir. 12 kg yükündeki en düşük net ısı salınım hızını da $1,28$ kJ ile HB35 yakıtı vermiştir. Tüm test yakıtları için yük arttıkça net ısı salınımının artması artan yük miktarına bağlı olarak tüketilen yakıt miktarının artmasına bağlanabilir. Dizel yakıtının net ısı salınımının tüm yüklerde biyodizel katkılı yakıtların net ısı salınımından daha yüksek olmasının sebebi dizel yakıtının ısı değeri daha yüksek olmasına bağlanabilir.



Şekil 6.16 Test yakıtlarının %8 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi



Şekil 6.17 Test yakıtlarının %16 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi

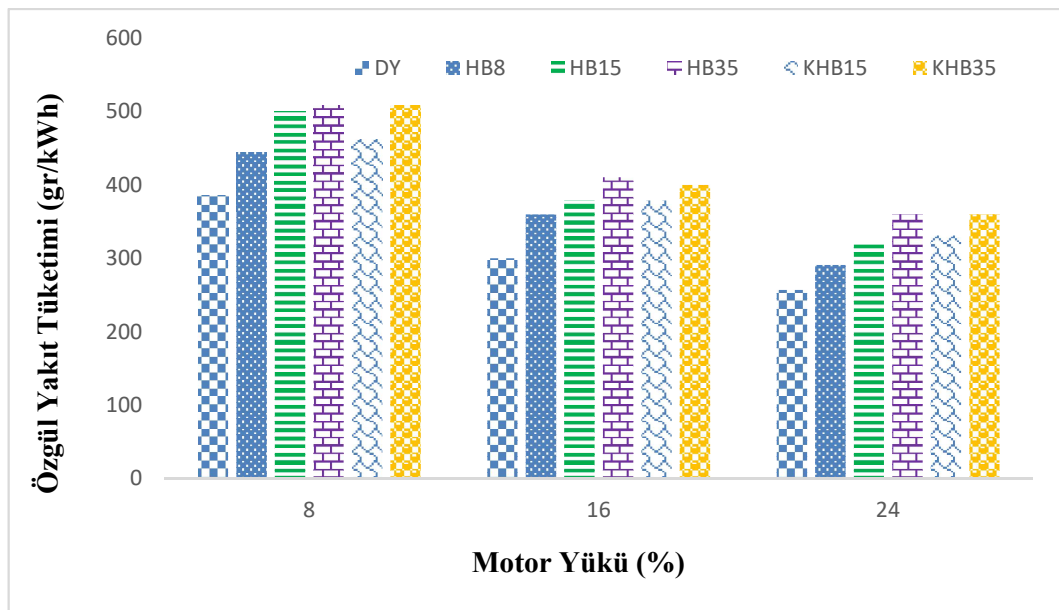


Şekil 6.18 Test yakıtlarının %24 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi

6.7. Özgül Yakıt Tüketimi Parametresinin Değerlendirilmesi

Sabit devirde bir dizel motorunda tüm test yakıtlarının artan yük miktarına bağlı olarak özgül yakıt tüketimleri Şekil 6.19’da gösterilmiştir. Denklem 5.1’den yararlanarak bütün test yakıtların özgül yakıt tüketimi hesaplanmıştır. Test yakıtlarının özgül yakıt tüketimine bakıldığında, yakıtlarının hem birbirlerine göre hem de yük durumuna göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Şekil 6.19’e bakıldığında yük miktarının artmasına

paralel olarak tüm yakıtların, özgül yakıt tüketiminin düştüğü görülmüştür. Motor gücüne bağlı olarak değişen özgül yakıt tüketimi; yük miktarına bağlı olarak motorda elde edilen güç miktarı en düşük iken özgül yakıt tüketimi en fazla, motor gücü en yüksek iken tüketilen özgül yakıt miktarı en az olarak tespit edilmiştir. Meydana gelen bu durum; motor yükünün artmasıyla ısı kayıplarının en düşük seviyede olması, yanmanın iyileşmesine bağlı olarak motor iç sıcaklığının artmasına bağlanabilir (Yaşar, 2016). Tüm test yakıtlarının özgül yakıt tüketimlerine bakıldığında tüm yük durumlarında en düşük özgül yakıt tüketimini DY vermişken en yüksek özgül yakıt tüketimini en düşük yükte HB35 yakıtı vermiştir. En yüksek yükte en düşük özgül yakıt tüketimi tekrar dizel yakıtında vermişken en yüksek özgül yakıtını KHB35 yakıtı vermiştir. Dizel yakıtının, tüm yüklerde biyodizel karışimli yakıtlardan özgül yakıt tüketiminin düşük olmasını sebebi; dizel yakıtının daha yüksek ısıl değere sahip olmasına bağlanabilir.

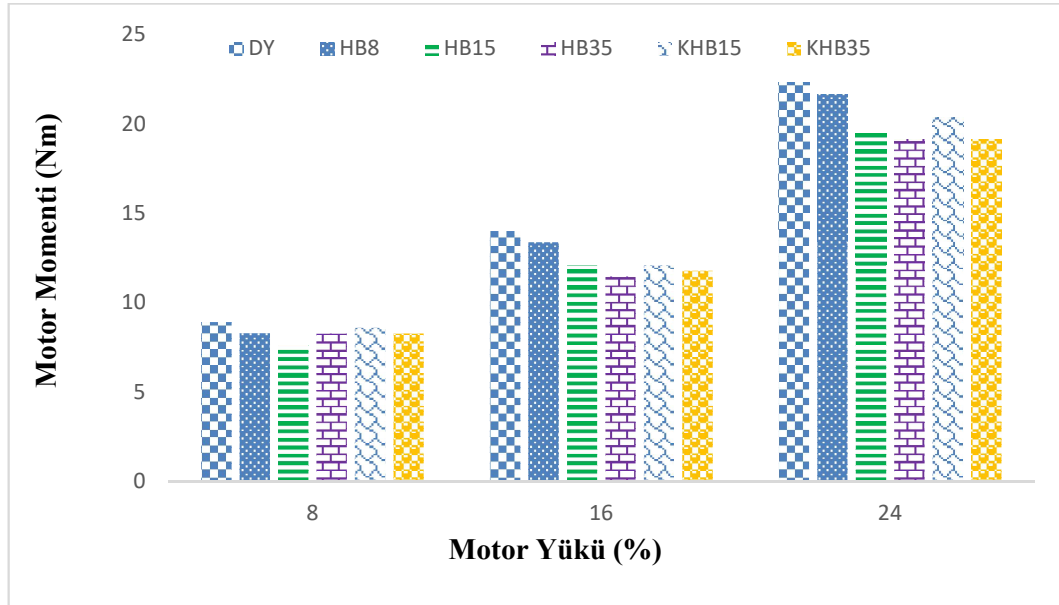


Şekil 6.19 Test yakıtlarının motor yüküne bağlı olarak özgül yakıt tüketimleri değişimi

6. 8. Motor Momenti Parametresinin Değerlendirilmesi

Moment, kuvvetin herhangi bir cismi belirli bir eksen veya nokta etrafında döndürme etkisine denir. Bir dizel motorunda tüm test yakıtlarının farklı yüklere bağlı olarak motor momentleri verilmiştir. Tüm yük durumlarında motor momentine bakıldığında DY yakıtı en yüksek değeri vermiş hemen ardından çok küçük bir farkla HB8 yakıtı gelmiş, en düşük moment değerlerini de HB35 ve KHB35 yakıtları vermiştir. Tüm

yükler için motor yükü arttıkça motor momentinin arttığı, yük azaldıkça momentin azaldığı görülmüştür. Hazırlanan tüm biyodizel yakıt karışımlarının dizel yakıtına göre motor momentlerinin düşük olmasının sebebi; yüksek viskozite ve yoğunluktan dolayı yakıtlarının daha zor atomize olmasına bağlı olarak yanmanın kısmen daha kötü olması ve biyodizel yakıt karışımlarının ısı değerlerinin daha düşük olmasına bağlanabilir (Sekmen ve ark, 2004). HB35 ile KHB35 yakıtların moment değerleri karşılaştırıldığında 4 kg yükte %3,14 oranındaki fazlalıkla KHB35 yakıtının moment değerinin daha fazla çıktığı görülmüştür. Orta yük olan 8 kg'da ise HB35 ve KHB35 yakıtlarının moment değerleri karşılaştırıldığında KHB35 yakıtının moment değeri HB35 yakıtının moment değerinden %2,7 oranında fazla çıkmıştır. 12 kg'daki moment değerlerine bakıldığında ise KHB35 yakıtın moment değeri HB35 yakıtının moment değerine eşit çıkmıştır.

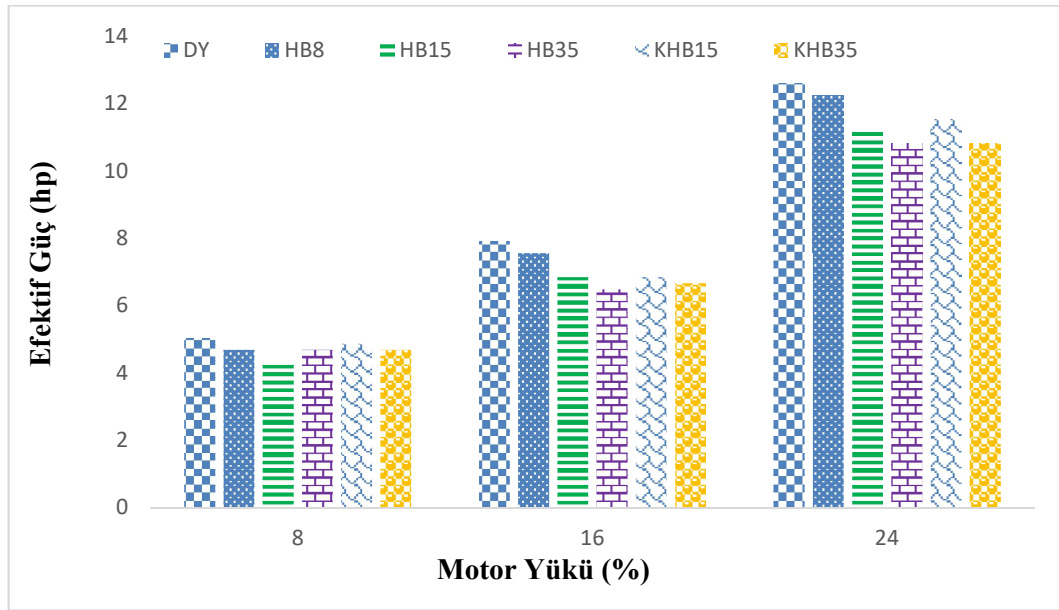


Şekil 6.20 Test yakıtlarının yük durumuna bağlı olarak motor momentleri değişimi

6.9. Efektif Güç Parametresinin Değerlendirilmesi

Etkin güç olarak ta adlandırılan efektif güç, motorlarda krank mili ucundan alınan güce denir. Motor indike gücünden sürtünme kadar az olan güçtür. Şekil 6.21'de tüm test yakıtlarının yüke bağlı olarak efektif güç değişimleri verilmiştir. Şekil 6.21'e bakıldığında yük miktarının artmasına paralel olarak her yakıtın efektif gücünün arttığı görülmüştür. Düşük devirlerde yanma sonucu düşük iş elde edilirken yük miktarının artmasıyla işin artmasına bağlı olarak efektif güçte artmıştır (Sekmen ve ark, 2004). Tüm yüklerde test yakıtları karşılaştırıldığında (DY, HB8, HB15, HB35, KHB15 ve

KHB35) her üç yükte de en yüksek efektif gücü DY yakıtı vermişken, 4kg ve 8kg yüklerde en düşük efektif gücü HB35 ve KHB35 yakıtları vermiştir. Yakıtların efektif güçleri yük durumlarına göre incelendiğinde, test yakıtlarının içerisindeki biyodizel miktarı arttıkça efektif güç değerlerinde azalmalar görülmüştür. Katkılı KHB15 ve KHB35 yakıtları ile katkısız HB15 ve HB35 yakıtları karşılaştırıldığında katkılı yakıtların efektif güç değerleri demir klorür katkısız yakıtlara göre biraz daha yüksek olduğu görülmüştür. Biyodizel katkılı yakıtların efektif güç değerlerinin dizel yakıtına göre daha düşük olmasının sebebi; biyodizel yakıtlı karışımlarının ısı değeri düşük olması, yoğunluklarının yüksek olması ve yüksek viskozitelerinden dolayı püskürtme sırasında iri taneciklerinin yanma esnasında oluşturduğu dezavantajdan dolayı efektif güç değerlerindeki düşmelere bağlanabilir (Sekmen ve ark, 2004). FeCl_3 katkılı yakıtların aynı oranda hazırlanan katkısız yakıtlarla karşılaştırıldığında efektif güçlerinin küçük bir oranda daha yüksek olmasının sebebi de FeCl_3 katkısının yakıtlarının yanmasını iyileştirmesine bağlanabilir.

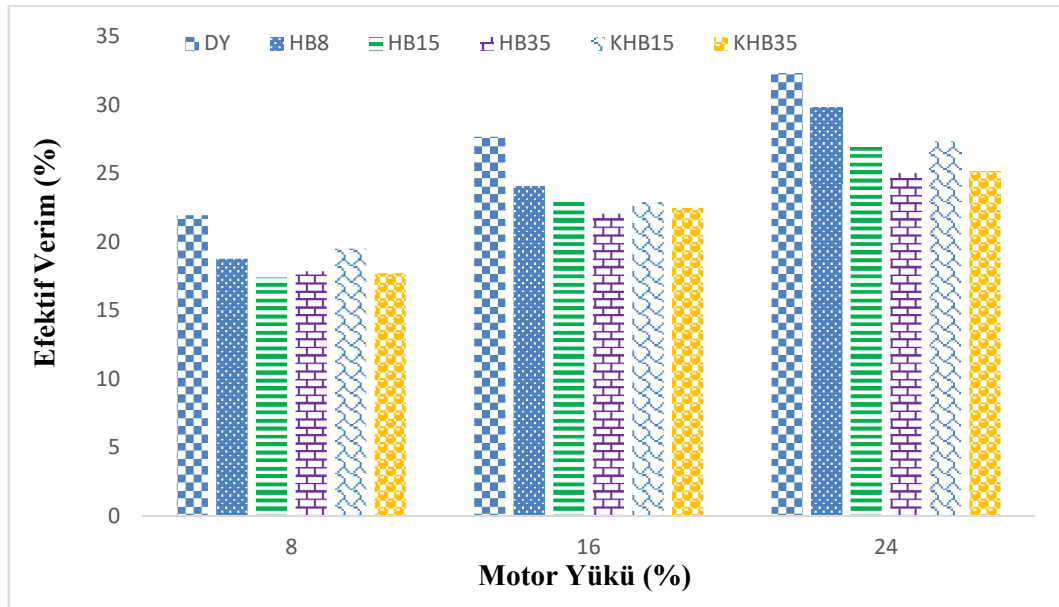


Şekil 6.21 Test yakıtlarının yük durumuna bağlı olarak efektif güç değişimleri

6.10. Efektif Verim Parametresinin Değerlendirilmesi

Efektif verim; motor milinden alınan işin verilen toplam enerjiye oranı şekilde tarif edilebilir. En başta özgül yakıt tüketimi ve ısı değerlerine göre değişebilen efektif verim, Şekil 6.22’de sabit devirde farklı motor yüklerinde (4 kg-%8, 8 kg-%16, 12 kg-%24) test edilen tüm test yakıtlarının yüke bağlı olarak efektif verim değişimleri

verilmiştir. Motor yüküne bağlı olarak değişebilen efektif verim, yük miktarı arttıkça arttığı görülmüştür. Bu durum artan yük miktarına bağlı olarak motor çıkış milinden alınan güç miktarının artmasına bağlanabilir (Yaşar, 2016). Tüm test yakıtları en yüksek efektif verim değerlerini 12 kg'da vermişken en düşük verimleri ise 4 kg'lık yükte vermiştir. Test yakıtları eğrileri incelendiğinde, tüm yüklerde en yüksek verimi DY vermişken en düşük efektif verim değerlerini de değişen yüklere bağlı olarak HB35 ve KHB35 yakıtları vermiştir. 4 kg yükteki efektif verim değerini DY yakıtı %8,17'lik oranında bir fazlalıkla HB8 yakıtını geçerek en yüksek efektif verim değerini vermiştir. 4 kg yükte en düşük efektif verimi de HB35 yakıtı vermiştir. En yüksek yük olan 12 kg'de en yüksek efektif verimi KH8 yakıtını geçerek tekrar DY yakıtı vermiş, en düşük efektif verimi de KHB35 yakıtının %4,56 oranında altında kalan HB35 yakıtı vermiştir.

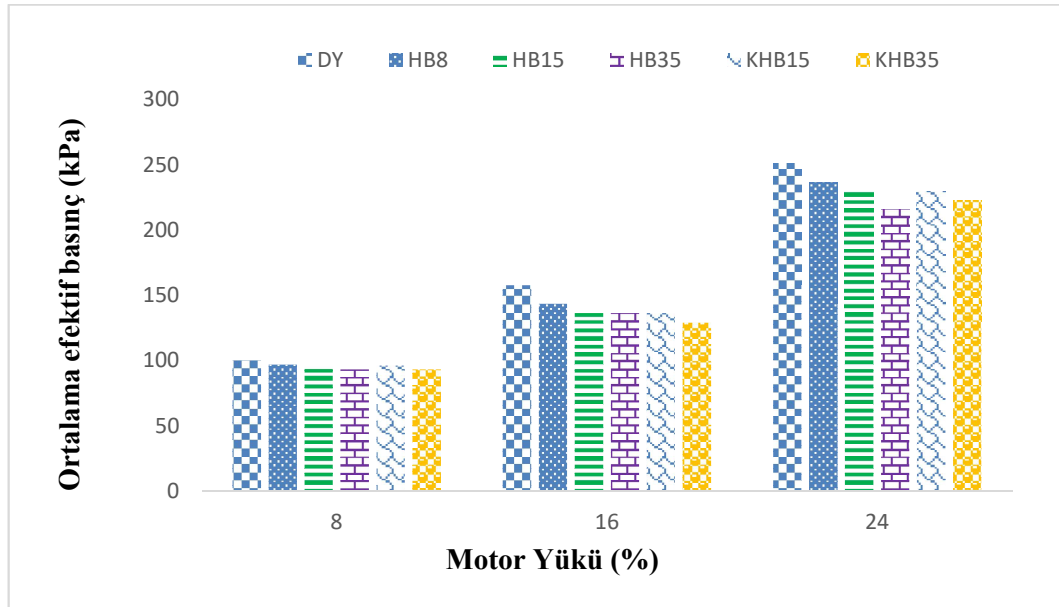


Şekil 6.22 Test yakıtlarının yük durumuna bağlı olarak efektif verim değişimleri

6.11. Ortalama Efektif Basınç Parametresinin Değerlendirilmesi

Ortalama efektif basınç; gerçek motor çevrimine eşdeğer bir gücü elde etmek için bir strok boyunca pistona etki eden sabit basınca denir (İçingür 2003; Yamık, 2003). Ya da bir çevrimde üretilen özgül işin özgül hacim değişimine oranıdır ayrıca bir çevrimde üretilen işin strok hacmine oranı şeklinde de tanımlanabilir (İçingür 2003; Yamık, 2003). Ortalama efektif basıncı, motor torkuyla doğru orantılı olarak değişen bir parametredir. Motor yükünün artmasıyla artan moment ile beraber tüm test yakıtların ortalama efektif basıncının attığı görülmüştür. Sabit devirde farklı motor yüklerinde (4

kg-%8, 8 kg-%16, 12 kg-%24) test edilen tüm test yakıtlarının yüke bağlı olarak ortalama efektif basınç değişimleri Şekil 6.23'te verilmiştir. Yük miktarı arttıkça tüm yakıtlar için ortalama efektif basıncın arttığı görülmüştür. 4 kg yükte en yüksek ortalama efektif basıncını 100,505 kPa ile DY yakıtı vermişken en düşük ortalama efektif basıncını KB35 yakıtı vermiştir. 8 kg ve 12 kg yükte tüm yakıtlar için ortalama efektif basınç değerleri artmışken en yüksek ortalama efektif basınç değerini de DY yakıtı vermiştir. Tüm yük durumlarında dizel yakıtın ortalama efektif basıncının biyodizel katkılı yakıtlardan yüksek olmasının sebebi , dizel yakıtın ısıl değerinin biyodizel karışımli yakıtlarının ısıl değerlerinden daha yüksek olmasına bağlanabilir.



Şekil 6.23 Test yakıtlarının yük durumuna bağlı olarak ortalama efektif basınç değişimi

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji, insanların yaşamlarını sürdürebilmesi için evrende var olan ve aynı zamanda üretilen bir yaşam kaynağıdır. Hem insanların hem de ülkelerin kaderini belirleyen bu enerjinin başında gelen yenilenemeyen fosil yakıtların en önemlisi petrol ve petrol yakıtı türevleridir. Fosil yakıtların tükenmesi insanları yeni ve yenilenebilir enerji arayışına sevk etmiştir. Bu alanda yoğun olarak biyolojik yollarla elde edilen biyoyakıt üretilmiş ve bu yakıtın petrol kökenli yakıtlarla karşılaştırılarak ve karıştırılarak alternatif olup olunamayacağı test edilmiştir. Bu çalışmada, atık hayvansal yağlardan biyodizel yakıtı temin edilmiş ve bu yakıt referans DY yakıtıyla HB8 (%8 hayvansal biyodizel ve %92 dizel yakıtı), HB15 (%15 hayvansal biyodizel ve %85 dizel yakıtı), HB35 (%35 hayvansal biyodizel ve %65 dizel yakıtı), KHB15 (%15 hayvansal biyodizel, %85 dizel yakıtı ve FeCl_3 katkısı) ve KHB35 (%35 hayvansal biyodizel, %65 dizel yakıtı ve FeCl_3 katkısı) yakıtları hazırlanmıştır. Hazırlanan bu yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerine bakıldığında, hayvansal biyodizel katkılı yakıtların dizel yakıtına göre parlama noktası ve viskozitesinin arttığı bununla beraber de bu yakıtların ısı değerlerinin düştüğü görülmüştür. Sıkıştırma oranı değişebilen araştırma motoru ile bu test yakıtlarının yanma ve performans değerlerinden genel olarak çıkarılabilecek sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- ✓ Dizel ve biyodizel yakıtlarıyla hazırlanan test yakıtları, dizel motorunda hiçbir modifikasyon değişikliğine gidilmeden test edilmiştir.
- ✓ DY, HB8, HB15, HB35, KHB15 ve KHB35 yakıtlarının silindir gaz basınçları kıyaslandığında 4 kg, 8 kg ve 12 kg yükte yapılan testlerde dizel yakıtın silindir içi gaz basıncı biyodizel katkılı yakıtların silindir gaz basınçlarından çok küçük bir farkla yüksek çıktığı görülmüştür. Bu yakıtların 373 KMA'daki 12 kg'daki en yüksek silindir gaz basınçlarına bakıldığında ise HB8 yakıtının silindir gaz basıncı DY yakıtından %1,06 oranında daha düşük çıkmıştır. Dizel yakıtının tüm yüklerde silindir gaz basıncının daha yüksek çıkmasının sebebi, dizel yakıtının ısı değerinin biyodizel katkılı yakıtların ısı değerinden daha yüksek olmasına bağlanabilir.
- ✓ Tüm test yakıtların kütleli yanma oranlarına bakıldığında, tüm yüklerde hayvansal biyodizel katkılı yakıtların kütleli yanma oranlarının dizel

yakıtından daha fazla olduğu görölmüştür. Bu da biyodizel katkıli yakıtların, yüksek setan sayısından dolayı DY yakıtından daha erken yanmasına ve biyodizel yakıtların düşük ısıl değeriine bağılı olarak dizel yakıtıyla eşdeğer bir gücü elde etmek için daha fazla miktarda yanmasına bağlanabilir.

- ✓ Test yakıtların ortalama gaz sıcaklıklarına bakıldığında, DY yakıtın tüm yüklerde düşük bir oranla HB (hayvansal biyodizel) katkıli yakıtlardan daha fazla olduğu görölmüştür. Dizel yakıtın ortalama gaz sıcaklığının biyodizel katkıli yakıtlardan fazla olmasının sebebi dizel yakıtının ısıl değeriinin daha yüksek olmasına bağlanabilir.
- ✓ Test yakıtlarının vuruntu yoğunluklarına bakıldığında, 4 kg yükteki en yüksek vuruntu yoğunluğu DY vermiş ardından %0,92'lik farkla HB8 yakıtı gelmiştir. 8 kg yükte ve 359 KMA açısında alınan en yüksek vuruntu yoğunluğu HB8 yakıtında gözlenmiş ardından da %2,34 farkla DY yakıtı gelmiştir. 12 kg yükünde 358 KMA açısından alınan en yüksek vuruntu yoğunluğu DY yakıtına göre %0,91 farkla HB8 yakıtı vermiştir. 8 kg ve 12 kg'de yapılan testlerde HB8 yakıtının DY yakıtından vuruntu yoğunluğunun daha yüksek olmasının sebebi, hayvansal biyodizel katkıli yakıtların yüksek setan sayısından dolayı erken tutuşmasına ve daha kontrolsüz yanmasına bağlanabilir.
- ✓ Tüm test yakıtlarının ısı salınım hızlarına bakıldığında, en yüksek ısı salınım hızının üst ölü noktadan sonra 6 ve 7°' verdiği tespit edilmiştir. 4, 8 ve 12 kg yüklerde yapılan tüm testlerde DY yakıtının ısı salınım hızının biyodizel katkıli yakıtların ısı salınım hızından daha yüksek olduğu görölmüştür. Tüm yüklerde dizel yakıtının ısı salınım hızının biyodizel karışimli yakıtların ısı salınım hızından yüksek olmasının sebebi dizel yakıtının daha yüksek ısıl değere sahip olmasına bağlanabilir.
- ✓ DY, HB8, HB15, HB35, KHB15 ve KHB35 yakıtlarının net ısı salınımları karşılaştırıldığında, tüm test yakıtları için yük miktarı arttıkça net ısı miktarının arttığı tespit edilmiştir. 4, 8 ve 12 kg'lık yüklerde yapılan testlerde her üç yükte de DY yakıtının net ısı salınımının biyodizel katkıli yakıtlardan daha yüksek çıktığı görölmüştür. Bu durum dizel yakıtının ısıl değeriinin biyodizel katkıli yakıtların ısıl değeriilerinden daha yüksek olmasına bağlanabilir.
- ✓ DY, HB8, HB15, HB35, KHB15 ve KHB35 yakıtlar için özgül yakıt tüketimine bakıldığında, 4 kg yükte en düşük özgül yakıt tüketimini DY yakıtı vermişken ardından %13,21 farkla HB8 yakıtı gelmiştir. Aynı yükteki demir klorür katkıli

yakıtların özgül yakıt tüketimine bakıldığında ise HB35 yakıtı ile KHB35 yakıtının özgül yakıt tüketimleri neredeyse aynı iken, HB15 yakıtının özgül yakıt tüketimi %7,69 oranında KHB15 yakıtından fazladır. 8 kg yükteki özgül yakıt değerleri karşılaştırıldığında HB8 yakıtının özgül yakıt tüketimi DY yakıtından %12,6 fazladır. 8 kg yükteki katkılı yakıtların özgül yakıt tüketimine bakıldığında ise HB15 yakıtı ile KHB15 yakıtlarının özgül yakıt tüketimleri aynı iken HB35 yakıtının özgül yakıt tüketimi KHB35 yakıtından %2,56 daha fazladır. Test yakıtlarının 12 kg'daki özgül yakıt tüketimine bakıldığında ise en düşük özgül yakıt tüketimini DY yakıtı vermiş ardından da %11,6 fazla özgül yakıt tüketimiyle HB8 yakıtı gelmiştir. Katkılı yakıtların 12 kg'daki özgül yakıt tüketimine bakıldığında ise HB35 yakıtıyla KHB35 yakıtının özgül yakıt tüketimleri aynıken HB15 yakıtının özgül yakıt tüketimi %3,7 oranında KHB15 yakıtının özgül yakıt tüketiminden daha fazladır. Motorun yük miktarı arttıkça tüm test yakıtları için özgül yakıt tüketimi miktarının düştüğü görülmüş ve DY yakıtın tüm yüklerde özgül yakıt tüketiminin HB katkılı yakıtlardan daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Motor yükünün artması sırasında özgül yakıt tüketiminin azalması motorun iyice ısınmasına, silindir iç sıcaklığının artmasına ve buna bağlı olarak yanmanın iyileşmesine bağlanabilir. Dizel yakıtının özgül yakıt tüketiminin biyodizel katkılı yakıtlardan daha düşük olmasının sebebi de yüksek ısı değer miktarına bağlanabilir. Ayrıca katkılı biyodizel karışımli yakıtların özgül yakıt tüketiminin katkısız yakıtların özgül yakıt tüketiminden daha düşük olmasının sebebi FeCl_3 katkısının yakıtların ısı değerini artırıp yanmayı iyileştirmesine bağlanabilir.

- ✓ Tüm test yakıtların moment değerlerine bakıldığında, yük miktarının artmasıyla tüm yakıtların moment değerlerinin arttığı görülmüş ve tüm yakıtlar içerisinde en yüksek değerinin de DY yakıtında elde edildiği görülmüştür. 4 kg'dakien yüksek motor momentini DY yakıtı vermişken %7,18 farkla ardından HB8 yakıtı gelmiştir. 8 ve 12 kg yüklerde ise en yüksek motor momentini veren DY yakıtının ardından sırasıyla %9,09 ve %2,87 farkla HB8 yakıtı gelmiştir. Katkılı yakıtlar karşılaştırıldığında ise 4 kg yükteki HB35 yakıtı ile KHB35 yakıtının moment değerleri aynı iken KHB15 yakıtının moment değeri %11,6 ile HB15 yakıtından fazla çıkmıştır. FeCl_3 yakıtların moment değerlerinin FeCl_3 katkısız yakıtlardan daha yüksek çıktığı görülmüştür. Meydana gelen bu durum FeCl_3 katkısının eklendiği yakıtların ısı değerini arttırarak yanmayı iyileştirmesine

bağlanabilir. DY yakıtının tüm yüklerdeki moment değerinin biyodizel katkılı yakıtları moment değerinden yüksek olmasının sebebi ise, biyodizel katkılı yakıtların yüksek viskozite ve yoğunluklardan dolayı daha zor atomize olduğu ve buna bağlı olarak yanmanın kötüleştiği ve bu yakıtların daha düşük ısı değerlerine sahip olmasına bağlanabilir.

- ✓ Yakıtların efektif güç değerlerine bakıldığında, yükün artmasına paralel olarak tüm test yakıtlarının efektif güç değerlerinin arttığı görülmüş ve biyodizel katkılı yakıtların efektif gücü değerlerinin dizel yakıtın efektif güç değerlerinden daha az olduğu görülmüştür. 4, 8 ve 12 kg yüklerinde en yüksek efektif güç değerlerini DY yakıtı vermişken sırasıyla %7,14, %4,5 ve %2,8 farkla HB8 yakıtı gelmiştir. Katkılı yakıtların efektif değerleri kıyaslandığında ise 8 kg yükte KHB35 değerinin katkısız HB35 yakıtından %2,7 fazla çıktığı görülmüştür. 12 kg yük değerinde ise KHB15 yakıtının efektif güç değerinin katkısız HB15 yakıtından %3,12 oranında fazla çıktığı tespit edilmiştir. Tüm yüklerde DY yakıtının efektif gücünün biyodizel katkılı yakıtların efektif gücünden daha yüksek olmasının sebebi, biyodizel yakıtlarının ısı değerlerinin dizel yakıtından düşük olmasına bağlanabilir. Katkılı biyodizel yakıtların efektif gücünün katkısız biyodizel yakıtların efektif gücünden yüksek olmasının sebebi ise, FeCl_3 katkısının test yakıtlarının ısı değerinin artırmasına ve yanmayı iyileştirmesine bağlanabilir.
- ✓ Test yakıtlarının efektif verim değerlerine bakıldığında, dizel yakıtının efektif veriminin tüm yüklerde biyodizel katkılı yakıtlardan daha yüksek çıktığı ve yükün artmasına paralel olarak tüm yakıtların efektif verimlerinin arttığı görülmüştür. 4 kg yükteki katkılı KHB15 yakıtının efektif verimin katkısız HB15 yakıtından %10,9 oranında yüksek çıktığı görülmüştür. 8 kg'daki efektif verim değerlerine bakıldığında katkılı KHB35 yakıtının efektif verim değerinin katkısız HB35 yakıtından %1,86 oranında fazla çıktığı tespit edilmiştir. Dizel yakıtlarının efektif verimin biyodizel katkılı yakıtlardan daha yüksek olmasının sebebi; dizel yakıtın ısı değerinin biyodizel yakıtının ısı değerinden daha yüksek olmasına bağlanabilir. FeCl_3 katkılı yakıtların katkısız yakıtlardan efektif verimin yüksek çıkması, FeCl_3 katkısının yanmayı iyileştirmesine bağlanabilir. Tüm yakıtların için yük miktarının artmasıyla paralel tüm yakıtlar için efektif veriminin artması ise yük arttıkça motor çıkış gücünün artmasına bağlanabilir.

- ✓ Ortalama efektif basınç değerlerine bakıldığında, DY yakıtın ortalama efektif basıncının tüm yüklerde HB (hayvansal biyodizel) katkılı yakıtlardan daha yük olduğu görülmüş ve arttan yük miktarına bağlı olarak tüm yakıtların ortalama efektif basıncının arttığı görülmüştür. 12 kg yükteki KHB35 yakıtı ile HB35 yakıtlarının ortalama efektif değerleri karşılaştırıldığında KHB35 yakıtının ortalama efektif basıncının HB35 yakıtının ortalama efektif basıncından %3,22 oranında fazla olduğu tespit edilmiştir. Dizel yakıtının tüm yüklerde ortalama efektif basınç diğerinin biyodizel karışımly yakıtlardan daha yüksek olmasının sebebi dizel yakıtının biyodizel katkılı yakıtlardan daha yüksek ısıl değere sahip olmasına bağlanabilir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan hareketle; atık hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel yakıt karışımlarının dizel motorunda kullanılabildiği, biyodizel yakıt karışımlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kullanılan dizel test yakıtının özellikleriyle paralel olması nedeniyle dizel yakıtı alternatif olabileceği görülmektedir. Ayrıca ileriki süreçlerde dizel araçların sınırlandırabileceği ve buna ek olarak gelişmekte olan elektrikli araçların ve ağır yük makinelerin yeterli troku üretememesi göz önüne alındığında biyodizel yakıtlarının bu noktada dizel yakıtına alternatif olabileceği söylenebilir.

KAYNAKÇA

Acaroğlu, M., 2007, Alternatif enerji kaynakları, *Nobel Yayınları*, Ankara, 380-381.

Akay, F. (2017). Atık zeytin yağından elde edilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.

Akdemir, B., Kayışoğlu, B., Sağlam, C., Aktaş, T., Bayhan, Y., Korkmaz, D.D, 2011, Termik motorlar, *Hiperlink Yayınlar*, İstanbul, 106.

Aksoy, L. (2010). Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2(3), 45-52.

Alçelik, N. (2017). Atık yağlardan üretilen biyodizelin tek silindirli bir dizel motorun performans, egzoz emisyonları ve titreşimine olan etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce.

Aldhaidhawi, M., Chiriac, R., &Badescu, V. (2017). Ignition delay, combustion and emission characteristics of Diesel engine fueled with rapeseed biodiesel—A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 178-186.

Alptekin, E., & Çanakcı, M. (2011). Hayvansal kökenli yağlardan biyodizel üretimi. VI *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Kayseri.

Al-Samaraae, R. (2017). Perspective of safflower (*Carthamus tinctorius*) as a potential biodiesel feed stock in Turkey: Characterization, engine performance and emissions analyses of butanol-biodiesel-diesel blends, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erciyes.

Altınsoy, A.S. (2007). Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye'deki kaynakların incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Altun, Ş. (2004). Motorin ve susam yağı karışımlarının dizel motorlarda kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Makine Eğitimi Anabilim Dalı.

Anonim, 2012, Motorlu araçlar teknolojisi- Dizel motorları yakıt sistemleri, *Megep Yayınları*, No:525MT0297, Ankara, 13-14.

Anonim, 2013, Motorlu araçlar teknolojisi-Motor çevrimleri ve yakıtları, *Megep Yayınları*, Ankara, 101-109.

Arslan, M. (2015). Laboratuvar ölçekli biyodizel üretim tesisinin projelendirilerek imal edilmesi ve yabancı zeytinden (*Oleaoleaster*) üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa.

Aydın, A. (2017). Bir dizel motorlu jeneratörde kısmi LPG kullanımının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.

Aydın, H. (2011). Atık taşıt lastiklerinden yakıt üretimi ve dizel motorlarında kullanımının araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

Azi, H. (2017). Bir dizel motorunda hint yağı biyodizeli ve dietil eter kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.

Balcı, A.B. (2017). Biyoetanol ile menengiç biyodizelinin motorinle karışımlarının dizel motorda performans, egzoz emisyonları ve yağlama yağına etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Beycar Kafadar, A. (2015). Yağlardan biyodizel eldesine etki eden faktörlerin araştırılması, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır.

Bilginperk, H., 1984, Dizel motorları temel ders kitabı, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 48-49-244.

Bilginperk, H., Dizel Motorları Temel Ders Kitabı, MEB Yayınları Basımevi, İstanbul, 2003.

Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen A., 1995, *İçten Yanmalı Motorlar*, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, Ankara, 513s.

Chou, C. C., Tzeng, P. S., Wang, G. J., Su, Y. H., Chiang, C. J., & Ku, Y. Y. (2014). Numerical study of a turbo-charge common-rail diesel engine fueled with various biodiesel blends. *Energy Procedia*, 61, 1146-1149.

Çelebi, Y. (2017). Bütanol katkısının bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanımına etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.

Dağ, C. (2013). Biyodizel su karışımlarının dizel motor performansı ve emisyonu üzerine etkilerinin deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Demirtaş, G. (2012). Dizel yakıtı-balık yağı metil esteri karışımı ile çalışan bir motorda püskürtme basınç ve avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.

Deniz, Ç. (2013). Biyodizel dizel karışımlarının bazı fiziksel özelliklerinin biyodizel oranı ile değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.

Doğan, O. (2012). Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.

Efe, Ş., Ceviz, M. A., & Temur, H. (2018). Comparative engine characteristics of biodiesels from hazelnut, corn, soybean, canola and sun flower oils on DI diesel engine. *Renewable Energy*, 119, 142-151.

- Ejder, S.B. (2007). Etanol - dizel, biyodizel - dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Emiroğlu, A. O., Keskin, A., & Şen, M. (2018). Experimental investigation of the effects of turkey rendering fat biodiesel on combustion, performance and exhaust emissions of a diesel engine. *Fuel*, 216, 266-273.
- Fayemiwo, O. M., Senokoane, L., Mtshali, K., & Daramola, M. O. (2016). Influence of operating variables on the transesterification of waste cooking oil to biodiesel over sodium silicate catalyst: A statistical approach.
- Gülüm, M. (2014). Çeşitli üretim parametrelerinin mısır ve fındık yağından üretilen biyodizellerin önemli yakıt özelliklerine etkilerinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Gündüz, İ. (2017). Etanol katkılı atık kızartma yağlarının bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Güner, E. (2013). Yakıt sıcaklığının biyodizel ve dizel yakıtlı motorlarda performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin sabit devir sayısında deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum.
- Haşimoğlu, C. (2005). Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Heywood, J. 1988, Internal Combustion Engine Fundamentals. Macgraw -Hill Book Company, New York.
- Hosamani, B. R., & Katti, V. V. (2018). Experimental analysis of combustion characteristics of CI DI VCR engine using mixture of two biodiesel blend with diesel. *Engineering science and technology, an international journal*, 21(4), 769-777.
- Hoseini, S. S., Najafi, G., Ghobadian, B., Mamat, R., Sidik, N. A. C., & Azmi, W. H. (2017). The effect of combustion management on diesel engine emissions fueled with biodiesel-diesel blends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 307-331.
- Hoseini, S. S., Najafi, G., Ghobadian, B., Rahimi, A., Yusaf, T., Mamat, R., ... & Azmi, W. H. (2017). Effects of biodiesel fuel obtained from *Salvia macrosiphon* oil (ultrasonic-assisted) on performance and emissions of diesel engine. *Energy*, 131, 289-296.
- İçingür, Y., & Yamık, H. (2003). Metil ve etil esterin dizel yakıtı olarak kullanılma imkanlarının deneysel olarak araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 6(2), 459-464.
- İnal, A. (2017). Haşhaş yağından üretilen biyodizelin motor performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- İrgin, A. (2017). Lpg'nin motor silindiri içine doğrudan püskürtülmesinin performans ve emisyonlara etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.

Jiaqiang, E., Pham, M., Zhao, D., Deng, Y., Le, D., Zuo, W., ... & Zhang, Z. (2017). Effect of different technologies on combustion and emissions of the diesel engine fueled with biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 620-647.

Katre, G., Raskar, S., Zinjarde, S., Kumar, V. R., Kulkarni, B. D., & RaviKumar, A. (2018). Optimization of the in situ transesterification step for biodiesel production using biomass of *Yarrowialipolytica* NCIM 3589 grown on waste cooking oil. *Energy*, 142, 944-952.

Küçükşahin, F., 1990, Teknik okullar için dizel motorları, *BETA Basım Yayım Dağıtım*, İstanbul, 103-104.

Madiwale, S., Karthikeyan, A., & Bhojwani, V. (2018). Properties investigation and performance analysis of a diesel engine fuelled with Jatropha, Soybean, Palm and Cotton seed biodiesel using Ethanol as an additive. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 657-664.

McNutt, J., & Yang, J. (2017). Utilization of the residual glycerol from biodiesel production for renewable energy generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 63-76.

Mekaoussi, M. (2017). Evaluation, characterization and engine performance of complementary fuel blends of butanol-biodiesel-diesel blends from aleurites moluccanus as potential alternative fuels for engines, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erciyes.

Mohsin, R., Majid, Z. A., Shihnan, A. H., Nasri, N. S., & Sharer, Z. (2014). Effect of biodiesel blends on engine performance and exhaust emission for diesel dual fuel engine. *Energy Conversion and Management*, 88, 821-828.

Nişancı, S. (2007). Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Örs, İ. (2014). Biyoyakıt kullanan bir dizel motorunun performans, yanma ve emisyon analizi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Özbakış, Y. (2012). Birdizel motorun fazla miktarda hava ile çalıştırılmasının performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.

Özgün, A.K. (2014). tıkkızartma yağı ve nötrale atık kızartma yağından üretilen biyodizel ve karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarının karşılaştırılması olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat.

Öztürk, Ö. (2007). Dizel motorlarda karışimsız olarak kullanılan biyodizellerin motor performansına olan etkilerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Patnaik, P. P., Jena, S. P., Acharya, S. K., & Das, H. C. (2017). Effect of FeCl₃ and diethyl ether as additives on compression ignition engine emissions. *Sustainable Environment Research*, 27(3), 154-161.

Ramalingam, S., Rajendran, S., Ganesan, P., & Govindasamy, M. (2018). Effect of operating parameters and antioxidant additives with biodiesels to improve the performance and reducing the emissions in a compression ignition engine—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 775-788.

Ramesh, D. K., SG, H. K., Namith, V., Jambagi, P. B., & Sharath, S. (2016). Study on effects of Aluminanano particles as additive with Poultrylitter biodiesel on Performance, Combustion and Emission characteristic of Diesel engine.

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H.E., Soruşbay, C., 2008, İçten yanmalı motorlar, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 125-126.

Sakthivel, R., Ramesh, K., Purnachandran, R., & Shameer, P. M. (2017). A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Sekmen, Y., Çınar, C., Erduranlı, P., & Boran, E. (2004). Dizel Motorlarında Enjeksiyon Basıncı ve Maksimum Yakıt Miktarının Motor Performansı ve Duman Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 7(4), 321-326.

Sezer, İ. (2016). Dizel Yakıtı, Biyodizel Yakıtı Ve Karışımlarının İçten Yanmalı Motorlara Etkilerinin Teorik İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(4).

Singh, M., Anjum, F., Yadav, V., Sheikh, M.Y., Mathur, Y.B. (2017). Analysis of Combustion on Compression Ignition Diesel Engine fuelled with blends of Neem Biodiesel. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 04 Issue: 10 Oct -2017.

Sundus, F., Fazal, M. A., & Masjuki, H. H. (2017). Tribology with biodiesel: A study on enhancing biodiesel stability and its fuel properties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 399-412.

Sümer, E. (2017). Propanolün bir dizel motorda aspir biyodizeli kullanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.

Şahin, A. (2014). Hardal yağından elde edilen biyodizelin motor performansına etkileri ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.

Tamilselvan, P., Nallusamy, N., & Rajkumar, S. (2017). A comprehensive review on performance, combustion and emission characteristics of biodiesel fuelled diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1134-1159.

Tan, Y. H., Abdullah, M. O., Nolasco-Hipolito, C., Zauzi, N. S. A., & Abdullah, G. W. (2017). Engine performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol emulsions. *Energy Conversion and Management*, 132, 54-64.

Thapa, S., Indrawan, N., & Bhoi, P. R. (2017). An over view on fuel properties and prospects of Jatropha biodiesel as fuel forengines. *Environmental Technology&Innovation*.

Tosun, Z. (2017). Propanolün bir dizel motorda aspir biyodizeli kullanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.

Tüccar, G., & Uludamar, E. (2017). Emission and engine performance analysis of a diesel engine using hydrogen enriched pomegranate seed oil biodiesel. *International Journal of Hydrogen Energy*.

Uslu, S. (2015). Düşük güçlü bir dizel motorda dietil eter kullanımının motor parametrelerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.

Vapur, D. (2014). Farklı dizel yakıtların sürtünme ve aşınmaya etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.

Yeşilyurt, M.K. (2017). Biyodizel-dizel yakıt karışımlarına farklı alkol ilavelerinin dizel motorlarda performans, yanma ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Bozok Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat.

Yıldız, A. (2017). Atık trafo yağlarının dizel motorlu bir jeneratör setinde alternatif yakıt olarak kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.

Zaharin, M. S. M., Abdullah, N. R., Najafi, G., Sharudin, H., & Yusaf, T. (2017). Effects of physicochemical properties of biodiesel fuel blends with alcohol on diesel engine performance and exhaust emissions: A review. *Renewable and Sustainable energy reviews*, 79, 475-493.

http://www.albiyobir.org.tr/trde_b.htm (Erişim Tarihi: 21 Nisan 2018)

http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FTP_HAM_PETROL-DOGAL_GAZ_SEKTOR_RAPORU_2015.pdf

(Erişim tarihi: 10 Nisan 2018)

<http://www.epdk.org.tr/TR/Dokumanlar/Petrol/YayinlarRaporlar/Aylik> (Erişim tarihi: 10 Nisan 2018)

http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1051 (Erişim tarihi: 9 Nisan 2018)

<http://www.yenienerji.com/rapor/2016-bp-dunya-enerji-istatistikleri-raporu-yayinlandi>

<https://www.biofuelsystems.com/standards.html> (Erişim Tarihi: 21 Nisan 2018)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ahmet BEYTEKİN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Batman/08.31.1991
e-mail : ahmetbeytekin.072@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	Bitirme Yılı
Üniversite	: Fırat Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü	2016
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği ABD	-

UZMANLIK ALANI

İçten Yanmalı Motorlar, Alternatif Yakıtlar

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Beytekin, A., Aydın, S., Sayin, C., Seraç, M.R. (2018) Use of Soybean Biodiesel Fuel in a Diesel Engine Generator Set, *International Engineering and Technology Symposium*, Batman/Türkiye.

Beytekin, A., Aydın, S., Sayin, C., Seraç, M.R. (2018) Pollutants From Diesel Engines And Reduction Methods Of Nitrogen Oxide (NOx) Emissions, *International Engineering and Technology Symposium*, Batman/Türkiye.

SERTİFİKALAR :

28 Mayıs 2014- Unıacadeny Institute- Entegre Yönetim Sistemi (Iso) S. Nr: Ud500918

28 Mayıs 2014- Unıacadeny Institute- İş Sağlığı Ve Güvenliği (Iso) S. Nr:Ue500918

28 Mayıs 2014- Unıacadeny Institute- Kalite Yönetim Sistemi (Iso) S. Nr:Ub500918

28 Mayıs 2014- Unıacadeny Institute- Çevre Yönetim Sistemi (Iso) S. Nr:Uf500918

28 Mayıs 2014- Unıacadeny Institute- Kişisel Gelişim, Stres Yönetimi,

Motivasyon, Stres Yönetimi, Zaman Yönetim, Beden Dili, Npl S. Nr:Up500918