



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POTASYUM PERMANGANAT (KMnO_4) KATKILI ATIK
BİTKİSEL YAĞLARDAN ELDE EDİLEN BİYİYAKIT İLE
DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ BİR ARAŞTIRMA
MOTORUNDA KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Deniz SÜTCÜ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Selman AYDIN

AĞUSTOS-2021
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Deniz SÜTCÜ tarafından hazırlanan “**Potasyum Permanganat (KMnO₄) Katkılı Atık Bitkisel Yağlardan Elde Edilen Biyoyakıt ile Dizel yakıt Karışımlarının Bir Araştırma Motorunda Kullanılması**” adlı tez çalışması 24/08/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ

.....

Danışman

Doç. Dr. Selman AYDIN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Doç. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL

Lisansüstü Eğitim Enstitü Müdürü

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

Deniz SÜTCÜ

24.08.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POTASYUM PERMANGANAT (KMnO_4) KATKILI ATIK BİTKİSEL YAĞLARDAN ELDE EDİLEN BİYODYAKIT İLE DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ BİR ARAŞTIRMA MOTORUNDA KULLANILMASI

Deniz SÜTCÜ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selman AYDIN

2021, 71 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zerrakki IŞIK
Doç. Dr. Üyesi Selman AYDIN

Bu çalışmada, referans dizel yakıtı ve atık bitkisel yağlardan elde edilmiş biyodizel yakıtı belirli oranlarda karıştırıldıktan sonra hazırlanan yakıtların ikisine fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla 100 ml yakıtta 1,51 mg miktarında potasyum permanganat çözeltisi (KMnO_4) katkı olarak eklenmiştir. Bu yakıtlar B0 (dizel yakıt), B12 (%12bitkisel biyodizel ve %88 dizel yakıtı), B24 (%24bitkisel biyodizel ve %76 dizel yakıtı), PMB12 (%12bitkisel biyodizel, %88 dizel yakıtı ve KMnO_4 katkısı) ve PMB24 (%24 bitkisel biyodizel, %76 dizel yakıtı ve KMnO_4 katkısı) biçiminde hazırlandıktan sonra fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Deney yakıtlarına katılan katkı maddesi (KMnO_4) PMB12 yakıtının setan indeksini PMB24 yakıtında ise ısı değeri artış sağlamıştır. Deney yakıtları Edyy Current dinometreli bir dizel motorda %0, %10, %15 ve %20 yüklerde test edilmiş ve motor yanma ile emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Deney verileri incelendiğinde; test yakıtlarının silindir gaz basınçları tüm yükler için yakın değerde olup motor yükünün artmasıyla karışım yakıtların gaz basıncının arttığı ve KMnO_4 katkılı karışımli yakıtlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama gaz sıcaklığı, basınç artış oranı, net ısı salınımı ve kümülatif ısı salınımı gibi verilerde biyodizel karışımli ve KMnO_4 katkılı yakıtların dizel yakıtı göre daha yüksek değerde olduğu görülmüştür. Özgül yakıt tüketim değerinin %0-0kg yük için karışımli yakıtların dizel yakıtı göre %22,64 oranında artmış, %20-10kg yükte ise %9,37 oranında artış olmuştur. Ortalama efektif basınç değeri de dizel yakıtta en yüksek 373,05 kPa, karışımli yakıtta da 372,57 kPa olarak yakın değerlerde ölçülmüştür. Emisyon verileri incelendiğinde ise NO_x emisyon değerlerinin karışımli yakıtlarda dizel yakıtına göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atık bitkisel biyodyakıt, Dizel motor, KMnO_4 katkısı, Performans, Yanma

ABSTRACT

MS THESIS

USE OF DIESEL FUEL BLEND WITH BIOFUEL FROM WASTE VEGETABLE OILS WITH POTASSIUM PERMANGANATE (KMnO₄) AS ADDITIVE IN A RESEARCH ENGINE

Deniz SÜTCÜ

**INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES
OF BATMAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN AUTOMOTIVE ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selman AYDIN

2021, 71 Pages

Jury

Assist. Prof. Mustafa Kemal BALKİ

Assist. Prof. Mehmet Zerraki IŞIK

Assoc. Prof. Selman AYDIN

In this study, 1,51mg potassium permanganate solution (KMnO₄) was added to 100 ml of fuel in order to improve the physical and chemical properties of the two prepared fuels after mixing the reference diesel fuel and the biodiesel fuel obtained from waste vegetable oils in certain proportions. These fuels are B0 (diesel fuel), B12 (12% vegetable biodiesel and 88% diesel fuel), B24 (24% vegetable biodiesel and 76% diesel fuel), PMB12 (12% vegetable biodiesel, 88% diesel fuel and KMnO₄ additive) and PMB24 (After it was prepared in the form of 24% vegetable biodiesel, 76% diesel fuel and KMnO₄ additive), its physical and chemical properties were determined. The additive (KMnO₄) added to the experimental fuels increased the cetane index of PMB12 fuel and the heating value of PMB24 fuel. Experimental fuels were tested in a diesel engine with Edy Current dynamometer at 0%, 10%, 15% and 20% loads and engine combustion and emission characteristics were investigated. When the experimental data are examined; Cylinder gas pressures of the test fuels are close for all loads, and it has been observed that the gas pressure of the mixed fuels increases with the increase of the engine load and is higher than the mixed fuels with KMnO₄ additives. In data such as average gas temperature, pressure increase rate, net heat release and cumulative heat release, it was seen that biodiesel blended and KMnO₄ added fuels had higher values than diesel fuel. The specific fuel consumption value of the blended fuels increased by 22.64% for 0-0kg load, compared to diesel fuel, while there was an increase of 9.37% at 20-10kg load. The average effective pressure value was measured as 373.05 kPa in diesel fuel and 372.57 kPa in mixed fuel. When the emission data were examined, it was observed that the NO_x emission values were higher in blended fuels than in diesel fuel.

Keywords: Combustion, Diesel engine, KMnO₄ additive, Performance, Waste vegetable biofuel

ÖNSÖZ

Tez çalışma sürecimde, her aşamada katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen, daimî bir şekilde bana yol gösteren hocam sayın Doç. Dr. Selman AYDIN' a teşekkür eder, deney yakıtlarımın analizlerinde yardımcı olan Batman Üniversitesi Rafineri ve Petro-Kimya Bölüm Başkanı Doç. Dr. Fevzi YAŞAR' a da teşekkürlerimi sunarım.

Deniz SÜTCÜ
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT.....	II
ÖNSÖZ	III
SİMGELER.....	VI
KISALTMALAR	VII
TABLO LİSTESİ.....	VIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	6
3. DİZEL YAKITI	18
3.1. Dizel Yakıtının Sınıflandırılması.....	18
3.2. Dizel Yakıtında Olması İstenen Özellikler	20
3.2.1. Viskozite	20
3.2.2. Akma Noktası	20
3.2.3. Özgül ağırlık	21
3.2.4. Isıl Değer.....	21
3.2.5. Uçuculuk noktası	21
3.2.6. Bulutlanma Noktası	21
3.2.7. Tutuşma Noktası	22
3.2.8. Koroziyel Özellik	22
3.2.9. Parlama noktası.....	22
3.2.10. Kükürt miktarı.....	22
3.2.11. Kül miktarı	23
3.2.12. Soğuk akış özelliği.....	23
3.2.13. Setan sayısı	23
4. BİYODİZEL.....	25
4.1. Biyodizel ve Dizel Standartları.....	25
4.2. Bitkisel Yağların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri	25
4.3. Dünyada Biyodizelin Gelişimi.....	27
4.4. Biyodizelin Türkiye’deki Gelişimi	28
4.5. Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi	30
4.5.1. Seyreltme yöntemi	32

4.5.2. Piroliz (Ayrıştırma) yöntemi.....	32
4.5.3. Mikro emülsiyon oluşturma yöntemi.....	33
4.5.4. Transesterifikasyon (Yeniden Esterleşme) yöntemi	33
5. MATERYAL VE METOD	37
5.1. Deney Yakıtlarıyla İlgili Kimyasal ve Fiziksel Parametreler	37
5.2. Motor Parametrelerinin Hesaplanması ve Deneysel Metot	37
6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	45
6.1. Silindir Gaz Basınç Parametresi	45
6. 2. Ortalama Gaz Sıcaklığı Parametresi	48
6. 3. Silindir Basıncı Artış Oranı Parametresi	50
6. 4. Net Isı Salınımı Parametresini	53
6. 5. Kümülatif Isı Salınımı Parametresi.....	56
6.6. Özgül Yakıt Tüketimi Parametresi	58
6. 7. Motor Momenti Parametresi	60
6.8. Efektif Verim Parametresi	61
6.9. Ortalama Efektif Basınç Parametresi.....	62
6.10. CO Emisyon Parametresi.....	63
6.11. CO ₂ Emisyon Parametresi	64
6.12. HC Emisyon Parametresi.....	65
6.13. NO _x Emisyon Parametresi.....	66
6.14. O ₂ Emisyon Parametresi	67
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
KAYNAKÇA.....	75
ÖZGEÇMİŞ	82

SİMGELER

BP	: Motor çıkış gücü
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
HC	: Hidrokarbon
Hu	: Alt ısı değer
KOH	: Potasyum hidroksit
KMnO ₄	: Potasyum permanganat
NaOH	: Sodyum hidroksit
Nm	: Newtonmetre
NO	: Azot monoksit
NO _x	: Azot oksit
O ₂	: Oksijen gazı
Pe	: Efektif güç
Pme	: Ortalama efektif verim
Q	: Hacimsel debi
SO _x	: Kükürt oksit

KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu (American Standards Institute)
AB	: Avrupa Birliği
B0	: Dizel yakıt
B	: Atık bitkisel biyodizel
d/dk	: Devir/dakika
EN14214	: Avrupa birliği biyodizel standardı
ETV	: Efektif termik verim
EPDK	: Enerji piyasaları denetleme kurulu
kg	: Kilogram
KMA	: Krank milli açısı
ms	: Milli saniye
ÖTV	: Özel tüketim vergisi
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi
PM	: Partikül madde
ppm	: Milyonda bir parçacık miktarı
PMB	: Katkılı bitkisel biyodizel
TS	: Türk standartları
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TÜİK	: Türkiye istatistik kurumu
v/g	: Varil/gram
YAME	: Yağ asidi metil esteri

TABLO LİSTESİ

Tablo 3. 1. Dizel yakıtı çeşitlerinin bazı fiziksel özellikleri	19
Tablo 3. 2. EN 590 motorin yakıtı standartlar	19
Tablo 4. 1. Bitkisel yağların kimyasal yakıt özellikleri ve dizel yakıt ile karşılaştırılması	26
Tablo 4. 2. Biyodizel ve Dizelin Yakıt Özellikleri	26
Tablo 4. 3. Dünyadaki Biyodizel Üretim Miktarı	28
Tablo 5. 1. Deney yakıtlarıyla ilgili kimyasal ve fiziksel parametreler	37
Tablo 5. 2. Deney motorunun teknik özellikleri	38
Tablo 5. 3. Capalec Cap 3200 Kombi marka egzoz gaz analiz cihazı teknik özellikleri	44
Tablo 6. 1. Tüm yüklerdeki maksimum silindir gaz basınç değerleri.....	48

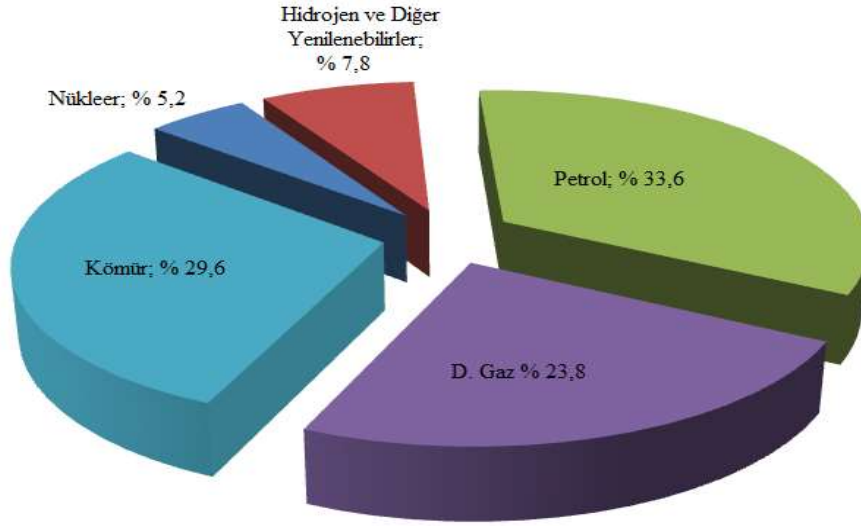
ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. 1. Dünya’da birincil enerjilerin kullanım payları	1
Şekil 4. 1. Türkiye’de biyodizel üretiminin mevcut durumu.	29
Şekil 4. 2. Biyodizel üretim aşamaları.....	31
Şekil 4. 3. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi	32
Şekil 4. 4. Yağ Asidi Metil Esteri Oluşum Reaksiyonu	33
Şekil 5. 1. Testler sonucunda elde edilen yanma ve performans verilerinin alındığı ICEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü.....	40
Şekil 5. 2. Testler sonucunda elde edilen yanma ve performans verilerinin alındığı ICEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü.....	40
Şekil 5. 3. Testler sonucunda elde edilen yanma ve performans verilerinin alındığı ICEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü.....	41
Şekil 5. 4. Deney test düzeneğinin görüntüsü	41
Şekil 5. 5. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü.....	42
Şekil 5. 6. Yakıtların hazırlanma ve analiz görüntüsü.....	42
Şekil 5. 7. KMnO4 katkılı deney yakıtlarının görüntüsü	43
Şekil 5. 8. Capalec Cap 3200 Kombi marka egzoz gaz analiz cihaz görüntüsü.....	43
Şekil 6. 1. Test yakıtlarının %0 yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi.....	46
Şekil 6. 2. Test yakıtlarının %10yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi.....	46
Şekil 6. 3. Test yakıtlarının %15yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi.....	47
Şekil 6. 4. Test yakıtlarının %20 yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi.....	47
Şekil 6. 5. Test yakıtlarının %0 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklığı değişimi.....	49
Şekil 6. 6. Test yakıtlarının %10 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklığı değişimi	49
Şekil 6. 7. Test yakıtlarının %15 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklığı değişimi	50
Şekil 6. 8. Test yakıtlarının %20 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklığı değişimi	50
Şekil 6. 9. Test yakıtlarının %0 yükteki krank açısına bağlı olarak basınç artış oranı değişimi.....	52
Şekil 6. 10. Test yakıtlarının %10 yükteki krank açısına bağlı olarak basınç artış oranı değişimi.....	52
Şekil 6. 11. Test yakıtlarının %15 yükteki krank açısına bağlı olarak basınç artış oranı değişimi.....	53
Şekil 6. 12. Test yakıtlarının %20 yükteki krank açısına bağlı olarak basınç artış oranı değişimi.....	53
Şekil 6. 13. Test yakıtlarının %0 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi.....	54

Şekil 6. 14. Test yakıtlarının %10 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi.....	55
Şekil 6. 15. Test yakıtlarının %15 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi.....	55
Şekil 6. 16. Test yakıtlarının %20 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi.....	56
Şekil 6. 17. Test yakıtlarının %0 yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınım değişimi.....	57
Şekil 6. 18. Test yakıtlarının %10 yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınım değişimi.....	57
Şekil 6. 19. Test yakıtlarının %15 yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınım değişimi.....	58
Şekil 6. 20. Test yakıtlarının %20 yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınım değişimi.....	58
Şekil 6. 21. Test yakıtlarının motor yüküne bağlı özgül yakıt tüketimleri çizgi grafiği	59
Şekil 6. 22. Test yakıtlarının motor yüküne bağlı özgül yakıt tüketimleri sütun grafiği	60
Şekil 6. 23. Test yakıtlarının değişen yük durumlarına göre motor momentlerinin değişimi.....	61
Şekil 6. 24. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen efektif verim değişimleri	62
Şekil 6. 25. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen ortalama efektif basınç değişimleri	63
Şekil 6. 26. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen CO emisyon değişimleri	64
Şekil 6. 27. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen CO ₂ emisyon değişimleri	65
Şekil 6. 28. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen HC emisyon değişimleri	66
Şekil 6. 29. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen NOX emisyon değişimleri	67
Şekil 6. 30. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen O ₂ emisyon değişimleri	68

1.GİRİŞ

İnsanların yaşam kaynaklarından biri olan enerji aynı zamanda ülkelerin ekonomik kalkınmada ihtiyaç duyduğu en temel öğedir. Fakat dünyadaki enerji kaynakları ülkeler arasında eşit dağılmadığından neredeyse bütün toplumlar arasında enerji sorunu yaşanmış ve yaşanmaya da devam etmektedir. Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri ve gelişme istekleri arttıkça enerji kullanımı ve enerji ihtiyacı da artmaktadır. Bu ihtiyaçlar daha çok ulaşım, barınma sanayi, güvenlik ve diğer sektörlerde olmaktadır. İnsanlık için vazgeçilmez unsurlardan biri olan enerji ekonomik kalkınmanın da temelini oluşturmakta olup dünya nüfusunun artmasıyla ulaşılması zor ve daha önemli hale gelmiştir (Özdemir ve ark., 2016).



Şekil 1. 1. Dünya’da birincil enerjilerin kullanım payları (Türkyılmaz ve Özgiresun, 2012)

Şekil 1’de görüldüğü üzere son yıllarda dünyada tüketilen enerji kaynaklarına bakıldığında; %33,6 petrol, %29,6 kömür, %23,8 doğal gaz, %5,2 nükleer ve %7,8 hidrojen ve diğer yenilenebilir enerji olduğu görülmektedir (Türkyılmaz ve Özgiresun, 2012). Bu değerler baz alındığında tüm dünya ülkelerince kullanılan enerji miktarının %84’ü fosil kaynaklı (petrol, kömür ve doğal gaz) yakıtlardan elde edilmektedir. Küresel olarak tüketilen bu enerji bölümlerinin Türkiye için değerlendirilmesinde ne kadar az olduğu görülebilmektedir. 2016 Dünya Enerji İstatistikleri Raporuna göre Türkiye’nin 2015 birincil enerji kaynaklarının kullanımı %7 artmış olmasına rağmen, dünya enerjisinin yalnızca %1’ni tüketmekte olup kullanılan enerji çeşidi dikkate alındığında ise yine aynı yıldaki petrol tüketimini %12,5 arttırmış olmasına rağmen

dünya petrolünün sadece %0,9'lük bir kısmını, doğal gazda %1,3, kömürde %4,7 ve yenilenebilir enerjide ise küresel bazda %1'ni harcamaktadır (Anonim, 2018).

Dünya primer enerji tüketimi içerisinde en büyük paya sahip olan fosil kökenli petrol yakıtlarının son yıllardaki üretim miktarı artış göstermiştir. 2014 yılında 88,7 milyon v/g olan petrol üretimi, 2015'te 2,8 milyon artarak 91,2 milyon v/g'e yükselmiştir(Anonim, 2018). 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. Petrollerin rezerv ömrü, tespit edilmiş ve çıkarılması mümkün olan petrol rezervlerinin hali hazırda üretilmiş petrol rezervlerine bölünmesiyle elde edilebilir(Anonim, 2018). Geçtiğimiz 25 yılda dünya enerji talebi ortalama %2 artmıştır. Dünya primer enerji tüketimi miktarı 12000 milyar ton eşdeğer petrol (TEP)'dir. Bu değer 2030 yılında 16500 milyar TEP'e ulaşacağı tahmin edilmektedir(Fidan, S.,M., ve Alkan, E., 2014).

Bu güne geldiğimizde bir taraftan petrol ürünlerinin kullanılmasına devam edilirken bir yandan da rezerv arama çalışmaları devam etmektedir. 2013 yılındaki petrol rezervi 53,5 yıl olarak hesaplanırken, 2014 yılında rezerv çalışmalarının artmasıyla ve teknolojik gelişmelerle bu rezerv 56,8 yıl olarak öngörülmektedir(Anonim, 2018). Ayrıca yapılan araştırmalara göre; petrolün 41, doğalgazın 62, kömürün ise 218 yıl ömrü kaldığı belirlenmiş olup bu bağlamda fosil yakıtların yenilemez olduğu ve rezervlerin günün birinde tükeneceği bilinmektedir (Alptekin, E. ve Çanakçı, M, 2006).

Mevcut durumda Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı %70 civarındadır. Bu oran Türkiye ve benzer birçok ülkenin enerjinin büyük bir kısmını satın aldığını göstermektedir. Bu sebeple enerjinin ülkemiz için maliyeti ve değeri yüksek olup enerji tasarrufu da önem arz etmektedir. Ayrıca ülkeler arasında olan bu ihracat ve ithalat durumu siyasi ve politik sebeplerle sürekli değişmekte olup maliyetleri de etkilemektedir. Verimli enerji kullanımıyla kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılması, mal ve hizmetlerin daha tasarruflu daha az maliyetli bir şekilde üretilmesi ve çevreye verilen zararın azaltılmasını sağlayacaktır. Bugüne geldiğimizde yenilenebilir enerji kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmak için yasal düzenlemeler yapılmakta olup bu bağlamda ana hedef, enerjide dışa bağımlılığı azaltmak ve alternatif enerji kaynakları üretmektir. Özellikle elektrik üretiminde kullanılan petrol türevli

yakıtların kullanımının ve maliyetlerinin azaltılması bir diğer hedeftir (Karagül ve Kavaz, 2017).

Ulaştırma ve taşıma sektöründe alternatif yakıt kullanımının artmasıyla 2015 yılına kadar petrolün kullanılma oranı %94 iken 2035 yılında bu oranın %89 olacağı değerlendirilmektedir. Fosil kökenli petrol yakıtlarının bitecek olması, ekosistem açısından zararlı olması ve yanma sonrası oluşan egzoz emisyon gazlarının canlı sağlığına olumsuz etkileri sebebiyle alternatif yakıt çalışmaları hız kazanmıştır. Günümüzde benzin ve dizel yakıtına alternatif yakıtlar etanol ve biyodizeldir. Tarım ülkesi olan ülkemizde biyodizel öncelikli bir seçenektir. Ayrıca biyodizel üretimiyle; tarımsal sanayinin güçlenmesi, köyden kente göçün azalması, tarımsal üretimde çeşitlilik, çiftçinin üretiminde süreklilik, yağ bitkileri üretiminin yaygınlaşması ve evsel yağ açığının kapatılması sağlanmakta olup aynı zamanda tarımsal ürün ve atıklardan üretilebilir olmasıyla ekonomiye de katkısı olabilmektedir. 2014 yılı verilerine göre tüm dünyada ve özellikle Avrupa kıtasında da kullanılan biyodizel kapasitesi; AB ülkelerinde 20 milyon tondur. En fazla üretim yapan Almanya 4 milyon ton kurulu ve 2,7 milyon ton üretim kapasitesine sahiptir. Ayrıca Almanya’da biyodizel kullanımının toplam dizel yakıtı kullanımındaki oranı %7-8 civarındadır (Bockey, 2014).

2019 Mayıs itibariyle ülkemizde trafiğe kayıtlı araç sayısı 23 milyonun üzerindedir (TÜİK 2019). Aynı yıl için petrol (dizel+benzin) tüketimi 22 milyon ton olarak gerçekleşmiş ve bu tüketim içerisinde dizel yakıtı %79,54’lük payla 17,5 milyon ton olmuştur. EPDK (2018) verilerine göre biyodizel karışımı yapılarak satılan dizel %7,42 oranında ve toplamda 1,8 milyon ton olarak gerçekleşirken, dizel tüketimi toplamda %79,54 oranına ve 17,4 milyon ton kullanım değerlerine ulaşmıştır. Ancak biyodizel karışım oranının %1-1,5 arasında olduğu dikkate alındığında yalnızca 18-26 bin ton biyodizelin 1 yıl içerisinde tüketildiği görülür ki bu durumda ülkemiz üretim kapasitesi baz alındığında düşük bir orandır (Ulusoy, 2016).

2005 sonunda Avrupa Birliğinin 2003/30/EC Direktifi ile piyasa sunulan fosil yakıtlarına %2 oranında biyoyakıt konulması zorunluluğu getirilmiştir. Bu oranın; 2006 yılında %2,75, 2007 yılında %3,5, 2008 yılında % 4,25, 2009 yılında % 5, 2010 yılında %5,75 ve 2015 yılında % 8 olması hedeflenmektedir (Ulusoy, 2009). Ancak günümüzde biyodizelle ilgili üretim kapasitelerinin tam kullanılamaması, atık yağların toplanmasıyla ilgili yönetmeliklerin ve kontrollerin yetersiz olması ve yasal vergi

düzenlemelerin getirdiği olumsuzluklardan dolayı biyodizel kullanımıyla ilgili istenilen konuma gelinememiştir.

Tüm bu veriler ışığında dizel yakıtın olumsuz özelliklerini azaltabilecek ve yakın yanma özelliklerine sahip olan biyodizel yakıtıyla ilgili araştırmalar yapılmıştır. Biyodizel; yağ bitkisi olarak anılan ayçiçeği, kanola (kolza), pamuk, keten tohumu, soya, yer fıstığı gibi bitkilerin tohumlarından veya atık yemeklik yağlardan ve hayvansal yağlardan elde edilen yağların bir katalizör (asidik, bazik katalizör ile enzimler) eşliğinde alkol (metanol, etanol vb.) ile transesterifikasyon olarak adlandırılan kimyasal reaksiyonuyla elde edilen dizel motorlarında kullanılabilen yakıttır. Biyodizelle ilgili ilk çalışma dizel motorun mucidi Rudolf Diesel'in 1898'de Paris fuarında sergilediği ve yer fıstığı ile çalışmak üzere tasarladığı motora dayanmaktadır. Bu fuarda yer fıstığı yağıyla çalıştırılan motorda herhangi bir zorluk yaşanmamış ve yapılan testlerde özgül yakıt tüketiminin 240 gr/BGh ve yağın ısı değeri 8600 kalori/kg olarak ölçülmüştür (Budak ve ark., 2009). Rudolf Diesel'in, 1911 yılında dizel motor yakıtlarına alternatif olan biyodizel yakıtıyla çalışabileceğini kanıtladıktan sonra 1920'li yıllardan itibaren büyük motorlu araçlarda kullanılmış ve böylece dünyaya yayılmıştır. 1980'lerden sonra dünyada ve Avrupa'nın birçok ülkesinde biyodizel üretimine başlanmış olup yasal normlar getirilmiştir (Anonim, 2018).

Biyodizel üretiminde dört metot uygulanmaktadır. Bunlar; seyreltme, mikro emülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon yöntemleridir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan usul ise transesterifikasyon (alkoliz) metodudur (Fidan ve Alkan, 2014). Bu yöntemde düşük basınç ve sıcaklıkta yaklaşık %97 verimle baz katalizli biyodizel yakıtı elde edilmektedir (Fayemiwo ve ark., 2016). Bu yöntemde trigliserit molekülünün alkol ve baz ile reaksiyona girer ve yağ esterleri ve gliserin oluşur (Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Burada trigliserinin ana yapısını uzun üç zincirli yağ asidi bulunduran gliserin molekülleri oluşturmakta olup yağ asitlerinin bu yapısı hem biyodizel karakteristiğini hem de gliserine bağlı olan yağ özelliğini belirlemektedir (McNutt ve Yang, 2017). Transesterifikasyon yönteminde reaksiyonun hızını ve tamliğini arttırmak için en yaygın olarak katalizörler potasyum hidroksit (KOH) ve sodyum hidroksittir (NaOH). Ayrıca burada asit katalizör kullanmak da mümkün olup asit katalizörler alkali katalizörlere oranla reaksiyon hızı daha yavaş ve daha çok alkol ihtiyacı içermektedir (Alptekin ve Çanakçı, 2006). Bu süreçte kullanılan katalizör eşliğinde trigliserid ve alkol (etanol veya metanol) reaksiyona girer ve sonucunda biyodizel ve gliserin oluşur. Gerekli

dinlendirme işlemi (Ortalama 80 saat) yapıldıktan sonra dibe çöken ağır gliserin ayrıştırılıp kalan yakıt yıkanır ve saf biyodizel elde edilir (McNutt ve Yang, 2017).

Biyodizel yakıtının üretiminde karşılaşılan en büyük nedenlerden biri viskozite olup transesterifikasyon yöntemiyle yakıtın viskozitesi yaklaşık 10 kat azalmaktadır. Ayrıca molekül ağırlığı üçte bir oranına inmekte olup yoğunluk oranı ise biraz düşmektedir. Uçucululukta da iyileşme meydana gelip böylelikle biyodizel yakıtının özellikleri dizel yakıtıninkine yaklaşmaktadır. Biyodizel yakıtı gelecekte daha yaygın kullanılabilir, yenilenebilir, doğaya zarar vermeyen ve toksin olmayan bir yakıt olup yüksek setan sayısı, yağlayıcı özellikleri, düşük emisyonlar ve parlama noktası bakımından dizel yakına göre daha avantajlı bir yakıttır. Ancak soğuk akış özellikleri, düşük buharlaşma, viskoziteden dolayı filtre ve bağlantılarda tıkanıklık, oksitlenmeye karşı hassasiyet ve daha fazla NO_x salınımı biyodizel yakıtında karşılaşılan olumsuz özelliklerdir (Alptekin ve Çanakçı, 2006).

Bu tez çalışmasında dizel yakıt ile atık bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel belirli oranlarda karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımlardan ikisine 100 ml' ye karşılık 1,51 mg olacak şekilde potasyum permanganat (KMnO_4) çözeltisi katkı olarak eklenmiştir. Hazırlanmış olan yakıt karışımlarıyla, sabit (maksimum tork devri) 1500 d/dk' da ve farklı yüklerde (0kg-%0, 5kg-%10, 7,5kg-%15 ve 10kg-%20) sıvı soğutmalı ve direkt püskürtmeli bir dizel deney motorunda testler yapılmış olup yanma, performans ve emisyon değerleri alınarak grafiklerle karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Dizel motorlarında kullanılan biyodizel yakıtlarının test edilmesiyle ilgili çalışmalara bu bölümde yer verilmiştir. Biyodizel yakıtlarının test edilmesi sonucu elde edilen performans, yanma ve emisyon çalışmalarına yer verilmiş olup aynı test motoruyla yapılan çalışmalar da analiz edilerek bu bölüme eklenmiştir.

Gerpen ve ark., (2007), bitkisel kaynaklı yağların bazı ülkelere ikinci dünya savaşı sırasında acil durum yakıtı olarak kullanılmıştır. Yine savaş yılları esnasında Ohio State Üniversitesinde pamuk yağı ve mısır yağı üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Laureillard ve ark., (1988), Brüksel Üniversitesi'nden, G. Chavanne tarafından yapılan 422.87 patent numaralı çalışma şuan biyodizel olarak tanımlanan sıvı yakıt ile ilgili ilk çalışmadır. Bu çalışmada biyodizelden "*Palm Yağı Etil Esteri*" olarak söz edilmiştir. Söz konusu çalışmada biyodizel transesterifikasyon yöntemi ile elde edilmiş olup katalizör olarak asit katalizörü kullanılmıştır. Leuven-Brüksel arasında çalışan ticari araçlarda test edilen bu yakıtın dizel yakıtlara göre tek farkı viskozite olarak değerlendirilmiştir. Viskozite değerinin yüksek olmasından dolayı yapılan çalışmalar ayçiçek yağı üzerinde yoğunlaşmıştır. 1988 yılında basılan bir makalede "*Biodiesel*" ismi geçmiş olup tüm dünyada yaygın olarak kullanılmıştır

Alibaş, K., Ulusoy (1995), yapılan bir çalışmada bitkisel yağlardan elde edilen biyoyakıtların dizel motorlarda kullanımı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre dizel motorlarda değişiklik yapmadan %75 dizel yakıt ve %25 bitkisel yağ karışımının doğrudan kullanılabileceği belirlenmiştir. Bu bağlamda Türkiye'nin petrol rezervlerinin sınırlı olmasından dolayı 1,7 milyon hektarlık (*ha.*) alanın Güneydoğu Anadolu (*GAP*) Projesi ile sulu tarıma açılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Böylece yağlı tohum bitkisi üretiminde %70'in üzerinde artış olacağı tahmin edilmektedir.

Karabektaş, M. (2002), ayçiçeği yağı, kolza yağı, kullanılmış yağlar ve soya yağından üretilmiş olan dizel yakıtı deneysel olarak bir dizel motorda test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda %100 saf halde kullanılan biyodizel yakıtının motor enjektörlerinde tıkanıklık oluşturması, aşırı motor birikintisi meydana gelmesi, yağlayıcılık özelliğinin düşmesi ve motor silindirinde aşındırması gibi durumları gözlenmiştir

Dorado ve ark., (2003), yaptıkları bir çalışmada biyodizel yakıtını atık zeytinyağı metil esterleri ile üretmiştir. Ürettikleri yakıtı bir dizel motorda kullanarak egzoz emisyon

miktarlarını ölçmüşlerdir. Zeytinyağı metil esteri ile kükürt dioksit (SO_2), CO_2 , azot oksit (NO) ve CO emisyonlarında azalma tespit edilmiş olup azot dioksit (NO_2) emisyonlarında artış görülmüştür.

Ulusoy ve ark., (2004), atık kızartma yağlarını kullanarak elde edilen biyodizel yakıtı 1900 cc hacime sahip doblo marka bir araç üzerinde test edilmiştir. 46 kW motor gücüne sahip olan doblo, biyodizel kullanımında farklı hızlarda emisyon değerlerinde %2,03 - %3,35 oranında azalma olduğu görülmüştür. Ayrıca CxHy emisyon değerinde %30,6 – %63,33 oranında azalma meydana geldiğini saptanmıştır.

Canakci ve Gerpen (2001), yaptıkları bir çalışmada bitkisel ve hayvansal kaynaklardan elde edilen biyodizel üretimi sırasında kullanılan katalizör miktarının ve alkol çeşidinin ester oluşumuna etkilerini irdilemişlerdir. Kullanılan sodyum hidroksit (NaOH), potasyum hidroksit (KOH) oranla daha az miktarda gliserin oluşturduğunu ve daha fazla miktarda YAME sağlandığını tespit etmişlerdir.

Behçet ve ark.,(2012), bitkisel atık yağlar ve hayvansal yağlar (hamsi balık yağı) kullanarak biyodizel yakıtı elde etmiş olup bu yakıtı tek silindirli dizel motorda test etmişlerdir. Sonuçlarda biyodizel yakıtının emisyon değerleri normal dizel yakıtına göre daha düşük çıktığı bildirilmiştir.

Kannan G.R ve ark., (2011), dizel ve biyodizel yakıt karışımlarına belirli oranlarda FeCl_3 katkısı eklemiş ve tek silindirli, su soğutmalı, sabit 1500 dev/dk'da bir TV1-KIRLOSKAR dizel motorunda test etmişlerdir. Cerium (Ce), Cerium-Demir (Ce-Fe), Platinum (Pt), Platinum-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 olup yakıtın içerisine litre başına 20 milli gram eklenerek test yakıtları hazırlanmıştır. Test yakıtlarından elde edilen sonuçlara göre; özgül yakıt tüketiminin %8,6 düştüğü ve efektif verimin %6,3 olarak arttığı tespit edilmiştir. Maksimum silindir basıncının krank açısına göre 360° ile 380° meydana geldiği görülmüştür. Test sonucu yapılan ölçümlerde biyodizel yakıt karışımlarının standart dizel değerleriyle kıyaslandığında, azot oksit (NO), karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO_2) gibi emisyon değerlerinde azalmalar olduğu tespit edilmiştir.

AlokRanjan ve ark., (2018), atık kızartma yağlarından elde ettiği biyodizel yakıtı, metanol ile normal dizeli belirli oranlarda karıştırdıktan sonra katkı maddesi olarak magnezyum oksit (MnO) eklemiştir. Hazırlanan bu yakıtlar tek silindirli, su soğutmalı bir dizel motorda test edilmiş olup test sonuçlarına göre magnezyum oksit harmanlı yakıtların emisyon değerleri standart dizel ve biyodizel karışımli yakıtların değerlerine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Maksimum silindir basıncının krank açısına göre yaklaşık 380° derecede olduğu belirlenmiş ve ısı salınım hızının da magnezyum oksitsiz yakıtlara göre azaldığı efektif verim ve özgül yakıt tüketiminin de arttığı tespit edilmiştir.

Arpa ve ark. (2010), atık sıvı yağını alternatif yakıt olarak dört zamanlı hava soğutmalı atmosferik tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda 2000 d/dk ve 10 kW maksimum güçte incelemiştir. Yapılan araştırmaların sonucunda verimlilikte marjinal bir artış olduğunu gözlemlemiş olup atık sıvı yağı için elde edilen efektif basınç ve egzoz gazı sıcaklığının dizel yakıtına oranla ortalama bir değer olduğunu belirtmişlerdir. Özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtı nazaran daha düşük olduğu tespit edilmiştir. CO, NO_x ve SO₂ emisyonları yaklaşık olarak %14,7, %12,7, %22,5 oranda artış gözlenirken oksijen oranında yaklaşık %11,4 azalma olduğu tespit edilmiştir.

Ulusoy ve ark., (2004), atık gıda yağlarından elde ettikleri biyodizeli dizel motora sahip bir araçta şasi dinamometresi kullanarak çeşitli testler yapmışlardır. Bu testler sonucunda biyodizel kullanımı ile tekerlek gücünde %2,03, tekerlek momentinde %3,35 azalma görülmüştür. İvmelenmede 40 km/h'tan 100 km/h'a %7,32 oranında azalma olmuştur. Emisyon ölçümlerinde ise CO %8,59, HC %30,66, PM %63,33 oranında azalmıştır. CO₂ %2,62, NO_x %5,03 artmıştır. Buna karşın özgül yakıt tüketiminin %2,43 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Encinar ve ark.,(2005), SYA içeriği %1,15 olan atık kızartma yağından metil ester ürettikleri çalışmalarında, molar alkol oranı (3:1, 4:1, 5:1, 6:1 ve 9:1), baz katalizör türü (KOH, NaOH, CH₃ONa ve CH₃OK (potasyum metoksit) ve miktarı (%0,5-1,0- 1,25 ve 1,50), reaksiyon sıcaklığı (25, 45 ve 65 °C) ve süresi gibi çeşitli reaksiyon değerlerinin ürün miktarı ve üretilen yakıtın özelliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 3:1 molar metanol oranında (%1 KOH ve 65 °C) iki saat süre sonunda ortaya çıkan ürün miktarı yaklaşık %70 civarındayken, alkol oranının artmasıyla ürün miktarı da artmıştır. En yüksek ürün miktarı 6:1 oranda elde edilmiştir. 6:1'in altındaki oranlarda reaksiyonların

tam olmadığı ve 9:1 oranında ise fazla alkolün gliserol ayrıştırmasını zorlaştırdığı ve bu nedenle ürün miktarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Katalizör türünün etkisini incelemek amacıyla KOH, NaOH, CH₃OK ve CH₃ONa % 1'lik oranda (65 °C ve 6:1 molar metanol:yağ oranında) kullanılmışlardır. Potasyum katalizörlerinin sodyum katalizörlerine nazaran daha etkili olduğu ve hidroksit katalizörlerin metoksit katalizörlerden daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Tepkime sonundaki ürün miktarı için KOH' un en iyi sonuçları vermesi üzerine bu katalizör için en iyi yüzdeyi belirleyebilmek için KOH miktarı %0,5-%1,0-%1,25 ve %1,50 şeklinde değiştirilmiş olup en yüksek ürün miktarı %1 KOH için elde edilmiştir. Diğer KOH yüzdelerinde düşük dönüşüm elde edilmesi %0,5 için reaksiyonun tam gerçekleşmemesine, %1,25 ve %1,50 oranlarında ise fazla katalizörün sabunlaşmaya yol açtığı şeklinde değerlendirilmiştir.

Çetinkaya ve ark., (2005), atık kullanılmış yağlardan üretilen biyodizel ile 4 zamanlı, 4 silindirli, F9Q732 kodlu ve 75 kW gücündeki dizel motoruna sahip Renault Megane marka otomobil ile kış şartlarında motor performans ve 7500 km yol performans deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler ile 2 numaralı dizel yakıtın değerleri kıyaslanmıştır. Biyodizelin yakıt kalitesinin ve özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla viskozite ve akma noktası düşüren katkı maddeleri kullanılmıştır. Biyodizelin kullanımı ile 2 numaralı dizel yakıtı değerlerine göre motor tork ve gücünde azalma görülmüştür. 2 numaralı dizel yakıtı değerlerine göre bütün motor devirlerinde biyodizel ile daha düşük egzoz gazı sıcaklıkları ölçülmüş olup biyodizelin silindir içerisinde daha iyi bir yanma performansına sahip olması bunun sebebi olarak değerlendirilmiştir. Viskozitesi düşürülmesine rağmen biyodizel kullanımı ile enjektörlerde karbon birikintisi ve katalitik konvertörde tıkanma problemleri ile karşılaşıldığı belirtilmiştir.

Koçak (2005), hazırlamış olduğu fındık yağı metil esterinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirledikten sonra dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilirliğini test etmiştir. 4 silindirli direkt püskürtmeli ve turbo şarjlı bir dizel motorda 1750-4500 d/dk arasında fındık yağı metil esteri tam yük testine tabi tutulmuştur. Test sonuçlarına bakıldığında fındık yağı metil esteri ile elde edilen motor performans değerlerinin dizel yakıt değerlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Motor gücü ve torku değerlerinde ortalama azalma oranı sırasıyla %1,16 ve %1,61 olarak ölçülmüştür. Fındık yağı metil esterinin dizel yakıtına göre ısı değeri düşük olması ve yoğunluğun yüksek

olmasından dolayı özgül yakıt tüketiminde ortalama %11,8 artış görüldüğü bildirilmiştir.

Usta ve ark., (2006), yaptıkları çalışmada kullanılmış ayçiçeği yağından esterleştirme yöntemiyle biyodizel üretmişleridir. Bu biyodizel yakıtı dizel yakıtı ile farklı oranlarda karıştırılmış olup 4 zamanlı, 4 silindirli indirekt püskürtmeli bir dizel motorunda güç, özgül yakıt tüketimi, termik verim, yağlama yağı sıcaklığı, egzoz gazı sıcaklığı, CO, NO_x, SO₂ ve duman emisyonları bakımından test edilmiştir. Biyodizel yakıtının ısı değeri dizel yakıtından düşük olmasına karşın motor gücünde ve torkunda belirgin bir değişim gözlemlenememiştir. Biyodizel karışım oranının fazlalaşmasıyla özgül yakıt tüketiminde artış görülmüş olup bunun yanı sıra CO, SO₂ ve duman emisyonlarında azalma ve NO_x emisyonunda artış tespit edilmiştir.

Groboski ve McCormick (1998), ilki yüksek setan sayılı %20 ve ikincisi yükseltilmiş olmak üzere %20 biyodizel içeren yakıtlar hazırlamışlardır. Bu yakıtlar ile yaptıkları testler sonucunda setan sayısı yükseltilmiş %20'lik yakıtın daha düşük CO emisyon değeri olduğunu ölçmüşlerdir.

Bayrakçeken ve ark., (2008), soya yağından elde ettikleri biyodizeli motor performans ve emisyonlarını incelenmek üzere tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Biyodizel yakıtında motor momenti ve gücünde %4,2 ve %3'lük bir azalma görülürken, özgül yakıt tüketiminde ise %12,8'lik bir artış gözlemlenmiştir. Biyodizel yakıtı ile CO, HC ve NO_x emisyonlarında dizel yakıtına göre %4,1, %4,47 ve %9,23 artış olurken, duman emisyonlarında ise %19,5'lik bir azalma olduğu bildirilmiştir.

Karabektaş ve Ergen (2007), yaptıkları çalışmada soya yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretmişlerdir. Hazırladıkları bu yakıtı performans karakteristikleri ve egzoz emisyonları yönünden dizel yakıtıyla karşılaştırmışlardır. Yapılan test sonuçlarına göre biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre efektif güç ve motor momentinde ortalama %3,07 oranında azalma, özgül yakıt tüketiminde ise ortalama %8 oranında artış gözlenmiştir. Egzoz emisyonlarında ise dizel yakıtına göre CO ve duman emisyonlarında azalma, NO_x ve CO₂ emisyonlarında ise sırasıyla %29,51 ve %7,61 oranında artışın olduğu görülmüştür.

Çelikten ve Aslan (2008), yaptıkları çalışmada, kanola ve soya yağı metil esterlerinin motor performans ve emisyon parametrelerini 4 zamanlı ve 4 silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda incelemiştir. Yapılan deney çalışmasının sonucunda en yüksek motor performansı dizel yakıtı ile sağlanmış olup kanola ve soya yağı metil esterlerinin performansları sıralanmıştır. Kanola yağı metil esteri en düşük duman ve CO emisyon değerini vermiş olup NO_x emisyon değerinde de kanola ve soya metil esterleri kullanımı ile artış olduğu gözlenmiştir.

Keskin ve ark., (2007), yaptıkları çalışmada tall yağından biyodizel üretimi gerçekleştirmiştir. Üretilen bu biyodizel dizel yakıtı ile %90 oranındaki karıştırılmış olup (B90 yakıtı) bu yakıtın motor performansına ve emisyonlarına etkisini tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda incelenmişlerdir. Dizel yakıtı değerlerine kıyasla B90 yakıtında moment ve güç değerlerinde sırasıyla %2,99 ve %2,94 civarında azalma görülürken, motorun özgül yakıt tüketimi değerlerinde ortalama %7,63 oranında artış gözlenmiştir. B90 yakıtı kullanımı ile CO emisyonu değerlerinde %35,44'e kadar, duman emisyonlarında ise %13,27'ye kadar varan azalmalar tespit edilmiş olup NO_x emisyonlarında ise %13,29 civarında artışın olduğu gözlenmiştir.

Aydın ve ark., (2017), yaptıkları çalışmada atık yağlardan elde edilen biyodizeli bir dizel motorda test etmişlerdir. Bu deneyde B100 (%100 Biyodizel) ve D100 (%100 Dizel) yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları karşılaştırılmıştır. Sabit hızda ve farklı devirlerde yapılan testlerde biyodizel kullanımıyla dizel yakıtı göre fren özgül yakıt tüketiminde %3 artış, fren özgül enerji tüketiminde %5 azalma görülmüştür. Ayrıca NO_x, CO, ve is emisyonlarında dizel yakıtına göre sırasıyla %17, %33, %31 azalma, HC emisyon oranında ise %31 artma gözlenmiştir.

Radu ve Mircea (1997), yaptıkları çalışmalarında direkt püskürtmeli, 3 silindirli ve 17/1 sıkıştırma oranlı dizel motorda ayçiçek yağı ve dizel yakıtı karışımlarıyla %20, %40 ve tam yükte maksimum güç, moment ve yakıt sarfıyatı deneylerini gerçekleştirmiştir. Yapılan testlere göre bitkisel yağ ve dizel karışımlarının; düşük yanma ısı ve yüksek viskoziteye sahip olduğu ve ham olarak kullanılan bitkisel yağ yakıtlarına göre; güç, moment ve yakıt sarfıyatı açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Akay (2017), transesterifikasyon yöntemi kullanarak atık zeytin yağından biyodizel elde etmiş ve elde ettiği biyodizeli %30 oranında dizel yakıtına karıştırmıştır. Hazırlanan bu karışımı tek silindirli dizel motorunda yakmış olup yanma, emisyon ve performans

değerlerini dizel yakıtın yanma değerleriyle karşılaştırmıştır. Test motoru 2200 d/dk sabit devirde ve 3,25 Nm, 7,5 Nm, 11,25 Nm ve 18,75 Nm gibi farklı yüklerde çalıştırılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre, atık zeytin yağından elde edilen biyodizelin ısı verimi normal dizel yakıtın ısı veriminden %1 ile %5 aralığında daha düşük olduğu görülmüştür. CO₂ miktarı 11,25 Nm’ de dizel yakıtı göre %41 daha fazla çıkmıştır. Tüm farklı yüklerde is oranı %37,5 oranında azalmış ve NO_x miktarı da dizel yakıtına göre en yüksek yükte (18,75 Nm) %9,5 oranında arttığı görülmüştür.

Gündüz (2017), atık kızartma yağlarından biyodizel elde etmiş olup biyodizeli saf ve %5-%10 ve %15 oranında etanol ekleyerek karışımlar hazırlamıştır. Daha sonra bu karışımların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemiştir. Bu karışımlarla bir dizel motorda farklı devirlerde sırasıyla testler yapılmış olup emisyon ve performans değerleri dizel yakıtıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda, biyodizel ve biyodizel+etil alkol yakıtının moment değerlerini dizel yakıtın moment değerlerinden daha düşük olduğu görülmüş olup bunun sebebini de dizel yakıtının ısı değerinin biyodizel yakıtın ısı değerinden daha yüksek oluşu, parlama noktası ve viskozitenin diğer yakıt türlerinden daha düşük olmasına bağlanmıştır. Biyodizel yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak biyodizel ve biyodizel+etil alkol yakıtlarının NO_x oranı dizel yakıtına göre daha fazla HC oranı ise biyodizel yakıtlarında daha düşük olduğu görülmüştür. Biyodizel karışimli yakıtların CO₂ oranı, dizel yakıtına göre daha fazla olduğu tespit edilmiş olup en düşük CO₂ oranı da biyodizel +%15 etil alkol’de görülmüştür. CO ise CO₂’in aksine azaldığı belirlenmiştir.

Alçelik (2017), dizel yakıtı içerisine belirli hacimlerde (%0,5,%15,%30,%50 ve %100) atık bitkisel yağlardan elde ettiği biyodizeli karıştırmış olup 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 motor torku değişimini ve egzoz emisyon değişimlerini test etmek istemiştir. Tek silindirli dizel motor 3250 d/dk ‘da optimum çalışma sıcaklığına gelene kadar normal dizel yakıtıyla çalıştırılmış olup yakıt karışım oranları hazırlandıktan sonra sırayla test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucuna göre en yüksek moment değeri saf dizelde elde edilmiş olup en düşük moment değeri ise %100 biyodizel yakıtının yanması sonucu elde edilmiştir. Tüm karışım oranları için en yüksek tork değeri 2225 d/dk ‘da en düşük tork değeri de 1250 d/dk ‘da elde edilmiştir. Tüm devirler için dizel yakıtı içerisinde biyodizel yakıtının karışım oranı arttıkça tork

değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun sebebi dizel yakıtının ısıl değerinin biyodizel yakıtın ısıl değerine göre daha yüksek olmasıdır. Buna ek olarak torkun azalması, yanma sonucu mekanik kayıplarının artması ve volümetrik verimin düşmesi de biyodizelin ısıl değerinin düşük olmasına bağlanmıştır. Elde edilen karışımlar 2250 d/dk 'da yakıldığında saf dizelde (B0) elde edilen tork oranı 20,01 Nm, %5 biyodizelle yapılan karışımda B5 19,17Nm, B15 karışımıyla 19,17 Nm, B30 ile 16,02 Nm, B50'de 14,6 ve B100'de 11,64 Nm tork değeri ölçülmüştür. Yanma sonucu meydana gelen güç değişimlerine bakıldığında da en yüksek güç 3250 d/dk'da en düşük güçte 1250 d/dk'da tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketiminde ise 1250 d/dk' da en çok, 2750 d/dk' da ise en az olduğu görülmüştür.

Yanma sonucu emisyon değerleri incelendiğinde, oksijen gazı (O_2) oranı biyodizel miktarının artmasıyla artmaktadır, bunun sebebi biyodizelin içerisindeki oksijen miktarının saf dizel yakıtının içerisindeki oksijen miktarından daha fazla olmasıdır. Motorun volumetrik veriminin düşük devirlerde yüksek olması sebebiyle, oksijen gazı (O_2) miktarı en düşük devir olan 1250 d/dk' da gözlemlenmiştir. Tüm yakıtların en yüksek devirde yanması durumunda, oksijen gazı en düşük saf dizelde, en fazla da %100 biyodizelin yanması sonucu ortaya çıkmıştır. B0 yakıtının CO emisyonları, tüm devirlerde yakıtların yanması durumunda hazırlanan diğer yakıt karışımlarından daha fazla çıkmıştır. Yanma esnasında açığa çıkan CO miktarı 2750 d/dk'ya kadar artmış daha sonra da azalmış olup bu düşüşün ana nedeni ise, devir sayısına bağlı olarak yakıtın homojen karışması ve yanmanın iyileşmesine bağlanmıştır. Azot oksit (NO_x) ve karbondioksit (CO_2) emisyon değerlerine bakıldığında, B100 yakıtının içerisindeki NO_x miktarı tüm test yakıtlarında B0'a göre daha fazla olmuştur. Azot oksit (NO_x) değeri B100 yakıtı için 1750 d/dk'ya kadar artmış olup daha sonra da azalmıştır. En düşük azot oksit miktarı B0 ve B30 için 2250 d/dk 'da B5 ve B50 için ise 3250 d/dk 'da ölçülmüştür. Tüm karışımlar için yapılan testlerde CO_2 oranının motor devrinin artışına bağlı olarak artış gösterdiği görülmüştür. B0'a bağlı olarak elde edilen CO değeri motor devrinin 2250 d/dk' ya kadar diğer yakıt oranlarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yanmamış hidrokarbon (HC) emisyon değerine bakıldığında ise yakıtın içerisindeki B100 oranına bağlı olarak hidrokarbonların azaldığı görülmüştür. Motor devrinin azalmasıyla tüm yakıt karışımlarında HC miktarının azaldığı görülmüş olup yakıt karışım türbülans miktarının artmasıyla yanma kalitesi artacağı için HC emisyonları azalma olduğu değerlendirilmiştir.

Behera ve Murugan (2013), sabit devir 1500 d/dk' da tek silindirli dört zamanlı hava soğutmalı direk enjeksiyonlu bir dizel motorunda dizel yakıt ile ATY-DY karışımının yanma performansı, emisyon özellikleri incelenmiştir. Dizel ile karşılaştırıldığında ATY40 test edilen karışımlar arasında en iyi sonuçların alındığı karışım olduğu, ATY ve karışımlarının ateşleme gecikmesi, tüm çalışma referanslarında dizel yakıtı oranla yaklaşık $1-3^{\circ}$ kam açısı daha kısadır. Karışımlardaki NO_x , HC ve CO emisyonları tam yükte dizel yakıtın yanma değerlerine göre yüksek olduğu, duman değerlerinde ise azalma olduğu tespit edilmiştir.

İnal (2017), haşhaş yağından transesterifikasyon yöntemiyle tek aşamalı alkali katalizör kullanılarak biyodizel elde edilmiştir. Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen bu biyodizel yakıtına hacimsel olarak %10 ve %90 oranında dizel yakıtı eklenmiş olup elde edilen yakıtlar test edilerek motor performansına ve egzoz emisyon değerlerine etkileri araştırılmıştır. Dizel yakıtına nazaran biyodizel yakıtının kullanımıyla özgül yakıt tüketiminde %8,53 oranında artış gerçekleşmiş olup motor moment ve gücü sırasıyla %2,38 ve %2,41 oranında azaltmıştır. Emisyon değerlerinde ise NO_x ve is değerlerinde %6,2 ve %9,18 oranında azalma olduğu bildirilmiştir.

Tosun (2017), aspir yağından elde edilen biyodizele belirli bir oranda propanal karıştırılmış olup elde edilen bu karışım bir dizel motorda yakılarak motor performans ve emisyon değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan test sonuçlarına bakıldığında hem biyodizelin hemde biyodizel+propanal olarak hazırlanan yakıt karışımlarının yakılmasıyla elde edilen performans parametreleri ve emisyonlarda salınan kirletici atıklar dizel yakıtına paralel sonuçlar vermektedir. Ancak NO_2 oranında azalmalar gözlenmiş olup dizel motorunda yanma sonucu yükün artmasıyla beraber silindir içerisindeki ortalama gaz sıcaklığında, ısı salınım değerlerinde, silindir gaz basıncında ve toplam ısı atılımında artışlar olduğu bildirilmiştir.

Çelebi (2017), transesterifikasyon yoluyla aspir yağından elde ettiği biyodizele %10 ve %20 oranında bütanol ilave ederek test yakıt karışımlarını hazırlamıştır. Dört silindirli ve dört zamanlı bir dizel motorda dizel yakıtıyla harmanlanan bu karışımlar test edilmiş ve motor performans değerleri ile egzoz emisyon değerleri kıyaslanmak istenmiştir. Sabit devirlerde ve sabit yüklerde çalıştırılan motorda vuru değeri, toplam ısı transferi ve kütle yanma değerlerinde çok küçük ölçüde değişimler meydana gelmiş

olup bunlara ek olarak silindir basıncında, yanma hızında, toplam ısı salınımı ve ortalama gaz sıcaklığında olumsuzluklar tespit edilmiştir. Hazırlanan bu yakıt karışımlarının emisyon değerlerinde azalmalar gözlemlenmiş olup verimde %1,5'lik bir artış ölçülmüştür. Bunların yanında özgül yakıt tüketiminde %5 ve kütleli yakıt oranında da %6'ya varan artışlar gözlemlenmiştir.

Tamilselvan ve ark. (2017), biyodizel yakıtının dizel motorlarda kullanılması sonucu motorun yanma, performans ve emisyon değerlerini karşılaştırmak istenmiştir. Test sonuçlarına göre biyodizel yakıtının dizel yakıtına alternatif bir yakıt olabileceği ve motor aksamalarında hiçbir modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilecek çevre dostu bir yakıt olduğunu tespit edilmiştir.

Aldhaidhawi ve ark. (2017), kozla tohumu yağından biyodizel yakıtı elde edilmiş olup yanma karakteristikleri ve egzoz emisyon değerlerini test etmek için dizel motorda kullanılmıştır. Önce kozla biyodizeli saf biyodizele karıştırılarak yakılmış ve dizel yakıtına göre elde edilen parametreler kıyaslanmıştır. Yapılan testte yanma sonuçlarına bakıldığında kozla biyodizelin yakılmasıyla CO ve PM miktarı %60 oranında azalmış olup, NO_x ve CO₂ miktarlarında da azalma gözlenmiştir. Biyodizel yakıtlarının setan sayısının yüksek olması sebebiyle motorda sıkıştırma oranı düşeceği için motor performansı ve motor torkunda %5 civarında bir azalma görülmüştür.

Utlı Z. (2005), atık kızartma yağlarından elde ettiği biyodizeli Land Rover TDI 110 marka dört silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda test etmiştir. Bu testte moment, güç, egzoz sıcaklığı ve egzoz emisyonları ölçülmüş olup çıkan değerler dizel yakıtıyla karşılaştırılmıştır. Söz konusu testler tam yük ve değişik devirlerde (4400, 4000, 3500, 3000, 2500, 2000 ve 1750 d/dk) yapılmıştır. Yapılan testlere göre hazırlanan biyodizelin dizel yakıtına göre momentte %4,3, güçte %4,5 azalma olduğu görülmüştür. Hazırlanan biyodizelin ısı değeri düşük olması ve viskozitenin yüksek olmasından dolayı özgül yakıt tüketimi %14,34 artmıştır. Egzoz emisyonlarında ise CO₂ %5,98, CO %17,14, ve NO_x %1,45 oranında azalma olduğu bildirilmiştir.

Ramalingam ve ark., (2018), dizel motorlarda biyodizel kullanımı esnasında motor performansını arttırmak ve egzoz emisyon değerlerini düşürmek için antioksidanların biyodizel yakıtlara etkisini gösteren bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmalar neticesinde motor performansında ve emisyon değerlerinde pozitif etkiler görülmüş olup NO_x miktarında ise %10 oranında bir azalma olduğu bildirilmiştir.

Tan ve ark., (2017), farklı hacim oranlarında (dizel+biyodizel+biyoetanol) hazırlamıştır. Hazırlanan bu deney yakıtları dizel motorunda sırayla test edilerek motor performansı ve emisyon değerleri karşılaştırılmak istenmiştir. Çalışmalar 1600 d/dk ve 2400 d/dk arasında gerçekleştirilmiştir. Karışımlardaki biyoetanol değeri artmasıyla emisyon değerlerinin iyileştiği gözlenmiş olup normal hazırlanan karışımın ısı değeri dizel yakıtına göre %21 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Ortalama hızlarda NO, CO ve CO₂ emisyon değerlerinde azalmalar olduğu bildirilmiştir.

Jiaqiang ve ark. (2017),biyodizel yakıtını bir dizel motorunda test ederek normal dizel yakıtlarına alternatif olup olamayacağını araştırmak ve bu yakıtların performans ve emisyon kıyaslaması yapılmak istenmiştir. Yapılan test sonucuna göre iki yakıt türünde efektif verim, özgül yakıt tüketimi ve efektif güç birbirine yakın değerlerde ölçülmüş, biyodizel yakıtında HC, CO ve PM değerlerinde azalmalar görülmüştür. Buna karşın NO_x değerlerinde artmalar gözlenmiştir. Biyodizel yakıtında daha iyi sonuçlar almak için bazı çalışmalar denenmiştir. Yanma odası değişimi, düşük sıcaklık durumu, su enjeksiyonu ve EGR sistemi bu çalışmalardan bazıları olup yapılan değişiklikler sonucunda motor performansında küçük bir düşüş görülmüş, NO_x ve PM oranlarında da ortalama %96 azalma meydana geldiği bildirilmiştir.

Kale T.P. (2017), CI motorunda biyodizel ile yapılan deneylerde elde edilen yanma karakteristiklerini incelemiştir. Yapılan testlerdeki verilere göre biyodizel yakıtının özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre daha fazla çıkmış olup buna karşın en yüksek silindir basıncı ve ısı yayma oranı da biyodizel yakıtından elde edilmiştir. Her iki yakıt türünde güç çıkışları hemen hemen aynıdır. Silindir basıncı artış oranı ve net ısı salınım değerleri biyodizel yakıtında dizel yakıtına göre daha yüksek çıkmış olup tüm testlerde NO_x emisyonu biyodizel yakıtında daha fazla ölçülmüştür. Bu deneyler ile biyodizelin dizel yakıtına alternatif bir yakıt olabileceği bildirilmiştir.

Adhikesevan ve Rajadurai (2014), ayçiçeği, palmye ve karanja bitkilerinden ürettikleri biyodizel yakıtını %20 dizel yakıtıyla karıştırarak B20 yakıtı elde etmişlerdir. Bu üç farklı karışım ile sıkıştırma oranı değişebilen, tek silindirli, dört zamanlı ve 3,7 kW gücündeki Kirloskar dizel deney motorunda yüklü ve yüksüz durumda çalışmışlardır. Yapılan testlerde tüm yakıtların silindir gaz basınç değerleri birbirine yakın değerlerde ölçülmüş olup CO ve NO_x emisyonlarının yük arttıkça tüm yakıt karışımlarında da artmış olduğu gözlemlenmiştir.

Agarwal ve Dhar (2011), neem yağından elde ettikleri biyodizel ile dizel yakıtını %20 oranda karıştırarak NB20 yakıtını üretmişlerdir. NB100 biyodizel yakıtı ve NB20 biyodizel karışımını referans dizel yakıtı ile yanma ve emisyon verileri bakımından Kirloskar marka tek silindirli dört zamanlı dizel deney motorunda test ederek karşılaştırmışlardır. Yapılan testlerde NB20 yakıtının özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre % 2,4 oranında fazla olmuş olup buna karşın biyodizel yakıtları olan NB20 ve NB100'den sırasıyla %3, %13 daha fazla termal verimlilik elde edilmiştir. CO ve HC emisyonlarında biyodizel karışimli yakıtlarda daha düşük değerler elde edilirken NO_x emisyonu biyodizel karışimli yakıtlarda dizel yakıtına göre %30 daha fazla ölçülmüştür.

3. DİZEL YAKITI

Dizel yakıtı rafineri işlemi esnasında fraksiyon kulesinde yaklaşık 160 °C' de başlayıp tamamı 391 °C' de buharlaşan ve ham petrolden arındırılarak elde edilen bir yakıt türüdür. Dizel yakıtının kapalı formülü; $C_{12,216} H_{23,29} S_{0,0575}$ olup bu formüle istinaden kütleli birleşimi; $C=0,8538\text{kg}$, $H=0,1355\text{kg}$, $S=0,0107\text{kg}$ dizel yakıtı az miktarda kükürt, azot, kül ve su içermektedir. Karbon atomu sayısı 8 ile 16 arasında olup HC bileşenleri içermektedir. Dizel yakıtı Türkiye'de mazot olarak adlandırılmaktadır. DIN51601-51777e göre dizel yakıtında aranan özelliklerden bazıları şunlardır; Hacimsel su miktarı %0.1, 15 °C' de özgül ağırlık 0.820-0.860 g/ml, Kaynama olayı hacimsel olarak 360 °C' ye kadar en az % 90, 20 °C' de Viskozite 1.8-10 mm²/s, Parlama noktası 55°C, Tutuşma kabiliyeti (en küçük setan sayısı olarak) 40 SS ve Kül miktarı ise kütleli olarak maksimum % 0.02' dir (Utlu, 2005).

3.1. Dizel Yakıtının Sınıflandırılması

Dizel yakıtı kullanıcılar tarafından tek isim olarak bilinmesine rağmen fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından kategorilere ayrılmaktadır. Bunlar No. 1-D, No. 2-D, No 3-D ve No 4-D olarak sınıflandırılmıştır. Bu yakıtların kendi aralarında küçük farklılıkları mevcut olup petrol dizel yakıtıyla yeni nesil dizel yakıtlar arasındaki temel fark setan sayısının yükseltilmesi ve içerisindeki kükürt miktarının azaltılmasıdır (Gündüz, 2017).

No. 1-D: Petrolün damıtılmasında elde edilen bir dizel yakıt çeşidi olup uçuculuğu yüksektir. Motorin adıyla bilinen bu yakıt devir sayısı yüksek olan motorlarda kullanılır.

No.2-D: Teknik adı "Diesel Oil" olan bu yakıt damıtık ve kraking ürünleri içeren motorine göre buharlaşma özelliği az olan ağır hizmet ve endüstri motorlarında kullanılmaktadır.

No.3-D: Orta devirli dizel motorlarda kullanılan bu yakıt düşük uçuculuğa sahip bir damıtma ürünüdür.

No.4-D: "Marine Diesel Oil" adıyla bilinen ve viskozitesi yüksek olan bu yakıt damıtma ve kraking ürünlerinden elde edilir ve düşük hız motorlarında kullanılmaktadır (Gündüz, 2017). Tablo 3.1'de dizel yakıtının çeşitlerine göre bazı fiziksel özellikleri gösterilmiştir. Ayrıca Tablo 3.2'de günümüzde kullanılan dizel yakıtının standart özellikleri verilmiştir.

Tablo 3. 1. Dizel yakıtı çeşitlerinin bazı fiziksel özellikleri (Gündüz, 2017)

Özellik	No.1-D	No.2-D	No.4-D
Setan sayısı (minimum)	40	40	40
Parlama noktası (°F)	100	125	130
Viskozite, saybold (S)100 °F'da	30-34	33-45	45-125
% Kül, Kütlesel	0.01	0.02	0.10
% Kükürt, Kütlesel	0.50	1.0	2.0

Tablo 3. 2. 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 esterleri	%(v/v)	-	5	EN 14078

3.2. Dizel Yakıtında Olması İstenen Özellikler

3.2.1. Viskozite

Viskozite kavramı sıvı yakıtların akıcılığı açısından bir ölçü olup dizel motorlarında kullanılan yakıt pompası ve enjektör sistemleri için önemli bir özelliktir. Viskozitenin çok büyük ya da çok küçük olmasından ziyade optimum bir değerde olması kullanım açısından önemlidir. Viskozitesinin küçülmesiyle borulardaki akış direnci azalır, püskürtme ile oluşan atomize yakıt demeti içerisindeki yakıt damlacıklarının çapları küçülür, yanma iyileşir ve is miktarında da azalma meydana gelir. Diğer taraftan viskozitenin çok küçük olmasıyla yakıt sisteminde kaçaklar olabilmekte ve hava-yakıt karışımı açısından iyi bir karışım oluşmasına rağmen yanma odasının her bölgesine yeteri kadar ulaşamama durumları olabilmektedir. Viskozitenin çok yüksek olması da pompalama ve enjektörlerde püskürtme problemleri oluşturmakta olup yakıt zerreciklerinin boyutları büyük olacağından dumanlı bir yanma olabilmektedir. Sıcaklık viskozite için önemli bir etmen olduğundan viskozite her zaman sıcaklık ile birlikte değerlendirilmelidir. Alçak hızlı dizel yakıtları için viskozite en fazla 50°C de 7,6 - 38mm² olmalıdır. Viskoziteleri 38 mm² üzerinde olan yakıtlar 40-100°C'a kadar ısıtılarak kullanılmaktadır. Ayrıca enjektör püskürtme deliklerinin belli bir ölçü altında imal edilemediğinden küçük damlacıklar elde edilmesi için yakıtların viskozitelerinin 15,2 mm²/sn den küçük olması istenmektedir. Büyük hacimli motorlarda viskozitesi yüksek yakıtlar, küçük hacimli motorlara göre daha iyi kullanılabilmekte olup ayrı veya ön yanmalı motorlarda yakıt püskürtme huzmesi daha kısa olduğundan düşük viskoziteli yakıtlar tercih edilmektedir (Çılgın, 2011; Gündüz, 2017).

3.2.2. Akma Noktası

Yakıtın jelleşmeye başladığı minimum sıcaklık olarak adlandırılan bu değer yakıtın akma özelliğini yitirdiği nokta olarak da adlandırılmaktadır. Özellikle soğuk havalarda akma noktası değeri öne çıkmakta olup bu değer yüksek olduğunda yakıt çabuk jelleşecek ve akış sağlanmadığından motor çalışmayacaktır. Akma noktasının düşük olması önemli olup bunu sağlamak için yakıtta çeşitli katkı maddeleri de eklenmektedir (Azad ve ark., 2012).

3.2.3. Özgöl ağırlık

Özgöl ağırlık, belirli bir hacimdeki yakıt ağırlığının aynı hacimdeki su ağırlığına oranı olarak tanımlanmakta olup özgül yakıt, ham petrolün cinsine göre değişmekle birlikte kg/l veya l/galon birimleriyle ifade edilmektedir. Dizel motorlarında kullanılan dizel yakıtı motorinin özgül ağırlığı 60°F (15,5°C) de 0,835-0,934 gr/cm³ arasındadır (Bilginperk, 1984).

3.2.4. Isıl Değer

Bir yakıtın yanma sonucunda yeterli olarak kabul edilen bir sıcaklığa bağlı toplam entalpinin (H) yanan yakıtın kütlesine oranlanması sonucunda ortaya çıkan değere verilen isimdir. Yakıtın birim kütlesinin hacme oranlanmasıyla alınan enerji miktarı ısıl değeri ortaya çıkarır. Alt ısıl değer ve üst ısıl değer olarak ikiye ayrılan bu değer, yanma sonucunda su sıvı haldeyse üst ısıl değer, buhar halindeyse alt ısıl değer olarak adlandırılmaktadır. Yakıtlar genelde yanma sonucunda su buharına dönüşen hidrojen atomu içermektedir. Yanma sonucu ortaya çıkan gaz 20°C' ye soğutulursa sıvı hale geçen su buharı buharlaşma gizli ısısı olarak açığa çıkar ve bu bize üst ısıl değeri vermektedir. Pratikte ise yanma gazları yüksek sıcaklıkta olduğundan gazın gizli ısısı açığa çıkmaz ve bu durumda alt ısıl değer olarak ifade edilir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğunun artmasıyla ısıl değer artmakta olup doymamışlık arttıkça, hidrojen sayısı azaldıkça, ısıl değer azalmaktadır. Biyodizel yakıtının ısıl değeri daha fazla oksijen içermesinden dolayı normal dizel yakıtına göre %11 daha düşük olup aynı motor çalışma şartlarında dizel yakıtına göre güç ve tork çıkışı daha düşük olmaktadır (Azad ve ark., 2012).

3.2.5. Uçuculuk noktası

Uçuculuk noktası, sıvı yakıtların sıvı halden gaz fazına geçme sıcaklığına denir. Tüm sıvı yakıtların uçuculuk kabiliyetleri farklı olup dizel yakıtı için bu değer damıtım sıcaklığının %90'ı olarak bilinmektedir. Daha az enerji tüketen motorlarda uçuculuğu yüksek olan yakıtların kullanılmasıyla egzoz sıcaklığı ve duman oluşumunu azaltılmakla birlikte yakıt tüketiminde de tasarruf sağlanmaktadır (Bilginperk, 1984; Nişancı, 2007).

3.2.6. Bulutlanma Noktası

Sıvı yakıtın soğutulması esnasında kristal yapının görüldüğü ilk sıcaklık olarak ifade edilir. Bu sıcaklıkta sıvı yakıt içerisinde partiküller ihtiva edeceğinden yakıt sisteminde

tıkanıklara neden olabilmektedir. Ayrıca bulutlanma noktası dizel yakıtının soğukta çalışma özelliğini göstermektedir (Chang ve ark., 1996).

3.2.7. Tutuşma Noktası

Tutuşma noktası, yakıtın belli bir sıcaklıkta kendi kendine tutuşma kabiliyetini ifade eder. Bu değe yaklaşık 350 °C ile 380 °C aralığındadır (Chang ve ark., 1996).

3.2.8. Koroziyel Özellik

Dizel yakıtı içerisinde bulunan kükürt maddesinden dolayı korozyon ve partikül oluşumuna yatkındır. Bununla birlikte yakıt içerisinde su ve tortuların bulunması korozyona neden olabilmektedir (Altın ve ark., 2001).

3.2.9. Parlama noktası

Yakıtların yanma sıcaklığına ulaşmadan bir alev cephesiyle karşılaşması durumunda yanıcı maddenin yakıtın yanabileceği sıcaklıktan düşük bir sıcaklıkta görülür ve bu tamamen bir yanma olmayıp yakıt yüzeyinin yanıp sönmesi olayıdır (Acaroğlu, 2007; Nişancı, 2007). Yanma sırasında sıcaklığın artmasıyla gazlar homojen olarak karışır ve yanmaya devam ederler. Alevin çekilmesiyle yanma hala devam ediyorsa bu sıcaklık yanma noktası olarak ifade edilmiş olup yakıt ısıtıldığında oluşan yakıt buharıyla hava karışımının tutuşabildiği en düşük sıcaklığa parlama noktası denilmektedir (Altın ve ark., 2001; Şahin, 2013). Bu değe motor performansı için önemli bir değe olmayıp dizel yakıtın depolanması ve taşınması için önem arz etmektedir. Dizel motorunda kullanılan motorin yakıtının parlama noktası 74 °C, bitkisel yağların 300 °C' den fazla olup biyodizel yakıtlarda ise 220 °C civarındadır (Acaroğlu, 2007; Nişancı, 2007). Ayrıca yakıtların güvenli bir şekilde taşınması ve depolanması için emniyet sıcaklığı 65 ile 150 °C arasında olmalı ve bu değe 36 °C' nin altına düşmemelidir (Bilginperk, 1984; Ejder, 2007). Bununla birlikte motorin yakıtı için en az değe, US ve bazı Avrupa devletlerinde 38 °C ile 56 °C arasında değişmektedir (Ejder, 2007)

3.2.10. Kükürt miktarı

Ham petrol içerisinde bulunan kükürt (S) yakıt içinde istenmeyen bir maddedir. Yakıtın içerisindeki kükürt, damıtma yoluyla arındırılrsa da düşük bir miktar kalmaktadır. Az olan bu kükürt oksijenle tepkimeye girerek kükürt dioksit (SO₂) ve kükürt trioksidi (SO₃) meydana getirmektedir. Bu kükürt trioksit yanma sırasında oluşan su buharıyla

tepkimeye girerek sülfirik asidi oluşturur. Bu sülfirik asit motorda aşıntı ve korozyona neden olmaktadır(Aydın, 2011).

3.2.11. Kül miktarı

Yakıtın yanması sonucu ortaya çıkan yanmış gazlar içerisindeki atıklara kül denir. Küçük partiküllerden oluşan küller motorun yağlama yağında yakıt içerisindeki suda çözülebilmekte olup yanma sonucuyla ortaya çıkan kül oranı, yakıtın içerisindeki tüm yabancı maddelerin yanmasıyla ortaya çıkar. Dizel motorlarda kullanılan yakıt için kül miktarı önem arz etmekte olup enjeksiyon sisteminde, enjektörlerde ve yakıt filtresinde aşınmalara neden olabilmektedir (Haşimoğlu, 2005).

3.2.12. Soğuk akış özelliği

Dizel yakıtının sıcaklığın düşük olduğu özellikle eksi değerlerde donması istenmeyen bir durumdur. Özellikle ağır vasıtaların yakıt depoları dışarıda olduğundan havayla direkt temas halinde olması sebebiyle kışın yakıtın donması riski olmaktadır. Bu sebeple bu yakıtlar için soğuk filtre tıkanma testi uygulanmaktadır. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN), IP309/80, DIN EN 116 standartlarına göre belirlenmektedir (Acaroğlu, 2007). Biyodizel kökenli yakıtların akma ve bulutlanma noktası dizel yakıtına göre daha yüksek olması sebebiyle soğuk kış şartlarında olumsuz etkiler meydana gelmektedir (Arslan, 2015). Bu olumsuzlukları gidermek için biyodizel yakıt karışımlarına anti jel karışımları +4 °C üzerinde karıştırılmaktadır. Ayrıca soğuk filtre tıkanma noktasının DIN normunda; 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 olması istenmektedir (Acaroğlu, 2007; Arslan, 2015)

3.2.13. Setan sayısı

Dizel motorlarda çalışma prensibi gereği ateşleme olmaksızın içeriye alınan yakıtın kendi kendine tutuşabilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda kullanılan yakıtın bu özelliklere sahip olması istenmektedir. Setan sayısı dizel yakıtının tutuşma kabiliyeti ve kalitesinin bir göstergesidir. Setan sayısı yakıtların diğer fiziksel özelliklerinden farklı olarak yakıtların tutuşma kalitelerinin kıyaslanabilir olması maksadıyla uzmanlar tarafından yaratılmış suni bir kavramdır. Bu noktada bir setan cetveli hazırlanmış olup setan sayısı en az olan bir hidrokarbon (metil naftalin) 0 olarak kabul edilmiş ve tutuşma kabiliyeti çok iyi olan bir hidrokarbon (n-heksan) 100 olarak belirlenmiştir. Avrupa'da kullanılan EN590 isimli standart dizel yakıtının setan sayısı

51'den yukarıda olarak belirlenmiştir. Kullanılan motor türüne göre setan sayısı 40-70 aralığında değişmektedir (Öcal, 2018). Yakıtta setan sayısının yüksek olması, kolay tutuşma ve hızlı bir yanmayı sağlamakta olup bu durum sıkıştırma ateşlemeli bir motor için önem arz etmektedir. Setan sayısının yeteri kadar yüksek olmaması durumunda ise yakıt yanması gereken zaman aralığında yanamaz ve termal verimde düşme meydana gelir(Altın ve ark., 2001; Alptekin ve Canakcı, 2009).Yüksek setan sayısına sahip yakıt kullanıldığında daha düşük sıkıştırma oranında yanma gerçekleşebilmekte olup bu da yanma odasındaki patlama koşullarına daha yumuşak ve daha sürekli bir geçişle ulaşmayı sağlamaktadır. Bununla birlikte emisyon değerlerinde ve seste azalmalar da olabilmektedir (Öcal, 2018). Setan sayısı yakıtın yoğunluğu ve içeriğindeki katkılarla doğrudan ilişkilidir. Yakıttaki aroma içeriği arttığında yoğunlukta artacağından setan sayısı düşer bu da yanmayı olumsuz etkiler ve motor veriminin düşmesine sebep olur. Yakıt içersindeki parafin miktarı arttıkça setan sayısı artar fakat bununla birlikte bulutlanma ve akma noktası da artacağından yanma kötüleşecektir (Doğan, 2012). Rafineri esnasında setan artırıcı katkı maddeleri kullanılarak yakıtın tutuşma kalitesi artırılabilir. En yaygın olarak kullanılan katkı maddesi 2-Etilheksil nitrat'tır. Hacimsel olarak %0,05- 04 eklenebilir olup 38 puanlık setan sayısı artışı sağlanabilmektedir (Öcal, 2018).

4. BİYODİZEL

Biyodizel; yenilebilir hammaddelerden elde edilebilen, çevre dostu, atık bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen, antitoksik etkileri olan, kansorejik madde ve kükürt içermeyen, biyolojik olarak hızlı ve kolay bozulabilen, yüksek alevlenme noktasıyla kolay depolanabilir, taşınabilir, ve kullanılabilir, iyi yağlayıcılık özelliğine sahip, kara ve deniz taşımacılığında kullanılabilen yeşil bir yakıttır. Petrol içermeyen bu yakıt saf halde ya da her oranda dizel yakıtıyla karıştırılarak ve motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan da kullanılabilir (Fidan ve Alkan, 2014).

4.1. Biyodizel ve Dizel Standartları

Biyodizelde EN 14214 Avrupa birliği standardı ve ASTM D 6751 standardı uygulanmakta olup Türkiye’de ise EN 14214 standardı baz alınarak TSE standardı hazırlanmıştır. Biyodizel saf veya biyodizel dizel karışımları halinde kullanılabilir (Gündüz, 2017). Bitkisel yağlar, atık bitkisel yağlar ya da hayvansal yağlar da biyodizel hammaddesi olarak kullanılmakta olup fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından normal dizel yakıtıyla benzerlik göstermesinden dolayı hacimsel olarak karıştırılmasında herhangi bir olumsuzluk olmamaktadır.

4.2. Bitkisel Yağların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Yakıt üretilen bitkisel ve hayvansal yağların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması gerekmekte olup elde edilen biyodizelin fiziksel, kimyasal özellikleri dizel yakıtına benzemektedir. Fakat bitkisel yakıtların dizel yakıtından farkı viskozitelerinin yüksek olmasıdır. Dizel yakıtların viskozitelerinden 15-20 kat daha fazla olan bitkisel yakıtların viskoziteleri genellikle $30 \text{ mm}^2/\text{s}$ - $40 \text{ mm}^2/\text{s}$ arasında değişmektedir (Mutlubaş, 2016). Bitkisel yağların yoğunluğu dizel yakıtlara göre daha yüksek olup ısı değeri ortalama %10-12 daha düşük değerdedir. Biyodizel yakıtının alevlenme noktası dizele göre daha yüksek olup ($>130 \text{ }^\circ\text{C}$) bu durum biyodizelin kullanımı, taşınması ve depolanmasını daha güvenli olmasını sağlamaktadır. Ayrıca biyodizelin setan sayısı dizele göre daha yüksek olduğundan motor daha az vuruntulu çalışabilmektedir (Yıldız, 2008). Tablo 4.1’de bitkisel yağların kimyasal yakıt özellikleri gösterilmiş olup dizel yakıtının kimyasal özellikleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Çizelgeye göre bitkisel yakıtların sahip olduğu özelliklerle dizel yakıtın özellikleri birbirine benzerlikler göstermekte olup bitkisel yakıtlar birçok motorda test edilmiştir (Mutlubaş, 2016).

Tablo 4. 1. Bitkisel yağların kimyasal yakıt özellikleri ve dizel yakıt ile karşılaştırılması(Altın ve ark., 2001)

Yağ	Yoğunluk (g/cm ³)	Viskozite (mm ² /s)	Alt Isıl Değer (kJ/kg)	Akma Noktası (°C)	Bulutlan ma Noktası (°C)	Parlama Noktası (°C)	Asit Değeri	Setan Sayısı
Pamuk	0,9148	33,5	39468	-15,0	1,7	234	0,07	41,8
Mısır	0,9095	34,9	39500	-40,0	-1,1	277	0,11	37,6
Fıstık	0,9026	39,6	39782	-6,7	12,8	271	0,20	41,8
Kanola	0,9115	37,0	39709	-31,7	-3,9	260	4,96	40,2
Ayçiçeği	0,9161	33,9	39575	-15,0	7,2	274	0,15	37,1
Susam	0,9133	35,5	39349	-9,4	-3,9	260	4,96	40,2
Atık Yağ	0,3708	37,08	38771	-	-	-	5	-
Dizel	0,8400	2,7	45343	-33,0	-15,0	52	-	47,0

Tablo 4.2’de biyodizel ve dizel yakıtlarının sahip olduğu yakıt özellikleri gösterilmiş olup biyodizel ve dizel yakıtları arasında belirgin farklar olmadığı ve benzer özellikler ihtiva ettikleri görülmektedir.

Tablo 4. 2. Biyodizel ve Dizelin Yakıt Özellikleri (Yıldız, 2008)

Yakıt Özellikleri	Birim	Sınır Değeri Min-Max	Biyodizel	Dizel
Kapalı formül			C ₁₉ H ₃₅ ,2O ₂	C ₁₂ ,226H ₂₃ ,2 9S ₀ ,0575
Molekül Ağırlığı	g/mol		296	120-320
Alt Isıl Değer	MJ/kg		37,1	42,7
Kütleli	MJ/L		32,6	35,5
Hacimsel				
Özgül Ağırlığı (15°C)	kg/L	0,875-0,90	0,86-0,90	0,82-0,86
Kinematik Viskosite (40°C)	mm ² /s	2-4,5	3,5- 5,0	2,5-3,5
Tutuşma Noktası	°C	55-..	>100	>55
Kükürt içeriği	% Kütleli	..-0,05	<0.01	<0.05
Tutuşma Katsayısı	Setan Sayısı	49-..	>55	49-55
Kül	% Kütleli	..-0,01	<0.01	<0.01
Su Miktarı	mg/kg	..-200	<500	<200

Bitkisel yakıtların testleri sonucunda motorlarda bazı sorunlar oluşmuş olup bu problemlerden bazıları aşağıda sıralanmaktadır:

1. Duman miktarı dizel yakıtlara göre fazladır
2. Enjektörlerde ve yakıt sisteminde eser miktarda karbon birikintileri oluşmuştur
3. Motorları çalıştırma esnasında vuruntu oluşmaktadır
4. Motor momentinde düşme meydana gelmiştir
5. Viskoziteleri yüksek olduğundan düşük sıcaklıklarda kullanımı zorlaşmıştır
6. Bitkisel yakıtları ısı değeri daha düşük olduğundan yakıt sarfiyatı daha fazla olmuştur (Mutlubaş, 2016).

Bitkisel yağlardan üretilen yakıtların dizel motorlarda kullanılamamasının en büyük sebebi viskozitelerinin yüksek olması olup bu durum enjeksiyonu zorlaştırıp yakıt ile havanın karışmasına engel olmaktadır. Sonuçta tam yanma gerçekleşmeyeceğinden verimde kayıp meydana gelmektedir. Ayrıca bitkisel yağların soğuk akış özellikleri ve uçuculukları dizel yakıtlara göre daha kötü olduğundan dizel motorlarda sorunlara sebep olabilmektedir. Bitkisel yağlardan elde edilen yakıtların özelliklerinin iyileştirilmesiyle yaşanan problemler giderilebilir ve dizel motorlarda kullanımı yaygınlaşabilmektedir (O'Neil ve ark., 2016).

4.3. Dünyada Biyodizelin Gelişimi

İlk patent Belçika'daki Brüksel Üniversitesinde G. Chavanne tarafından 31 Ağustos 1937 tarihinde alınmış olup ilk biyodizel üretimi bir çiftçi kooperatifince 1988 yılında 500 ton/yıl, ilk endüstriyel ölçekteki üretim ise 10000 ton/yıl olarak Avusturya'da gerçekleşmiştir. 1994 yılında yaşanan petrol krizleri alternatif enerji arayışlarını ve biyodizel üretimini de hızlandırmıştır. 2000 yılında Dünyada ham petrol ile ham yağ fiyatlarının aynı seviyelere gelmesiyle biyodizel ön plana çıkmış ve yatırımlar başlamıştır. 2005 yılı dünya biyodizel üretimi ise 3.8 milyon/ton değerlerine ulaşmıştır. 2016 yılına gelindiğinde ise bu rakam 13 milyon civarına gelmiştir. (Budak ve ark., 2009; Yıldız, 2008). Tablo 4.3'te Dünyada gerçekleşen biyodizel üretimi ülke ve yıllara göre üretim miktarları gösterilmiştir. Tabloda da görüldüğü üzere lider üretici Almanya olup Fransa ve Hollanda üretimde Almanya'yı takip etmektedir.

Tablo 4. 3. Dünyadaki Biyodizel Üretim Miktarı (Milyon litre) (Akt. Gündüz, 2017)

Yıl	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Almanya	3,181	3,408	3,106	3,307	3,808	3,350	3,350
Fransa	2,295	2,090	2,516	2,476	2,681	2,442	2,215
Hollanda	434	558	1,337	1,562	1,954	1,990	1,990
İspanya	1,041	787	545	668	1,016	1,070	1,070
Polonya	432	414	673	736	786	800	800
İtalya	908	704	326	521	658	665	665
Belçika	494	536	568	568	568	568	570
Portekiz	328	419	356	307	325	440	443
Finlandiya	375	253	320	399	409	409	440
A.B.D.	227	261	364	648	648	648	650
Diğer	992	1,611	971	791	488	1,126	1,487
Toplam	10,707	11,041	11,082	11,983	13,341	13,535	13,680

Biyodizelin kullanımı sadece ulaşım araçları dizel motorları değildir. Biyodizel sahip olduğu özellikler sayesinde dizel motorları yanı sıra yanma maddesi olarak da kullanılabilir. Jeneratörlerde, kalorifer sistemlerinde, seralarda ve yer altı madenciliği gibi birçok alanda kara, deniz taşıtlarında belirli karışım oranlarında kullanılabilir (Gündüz, 2017). Dünyadaki biyodizel üretiminin 2021 yılında yaklaşık 42 Mtep olması beklenmekte olup biyodizel ticareti ise günümüzde pek fazla artış gösterememektedir. Avrupa’da gerçekleşen biyodizel üretiminin ise 2021 yılında 8 Mtep olması tahmin edilmekte olup yapılacak teşviklerle bu sayıların artacağı düşünülmektedir (Fidan ve Alkan, 2014).

4.4. Biyodizelin Türkiye’deki Gelişimi

Türkiye’nin sahip olduğu olanaklar dikkate alındığında biyodizelin önemli bir alternatif enerji kaynağı seçeneklerinden biri olduğu aşıkardır. Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bir kısmı, deniz taşımacılığında ve endüstri jeneratörlerinde dizel motorlar kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak dizel yakıt ihtiyacı da artmaktadır. Petrol tüketimimizin %85’i ithalata dayalı olması, yerli petrol üretiminin sadece % 15 civarında olması ve tüm petrol tüketiminin % 34’ünü motorin olması sebebiyle alternatif bir dizel yakıtı uygulamak önemli hale gelmiştir. Biyodizel yakıtının kullanılması ve yaygınlaşmasıyla petrol tüketiminde ve egzoz emisyon kirliliğinde azalmalar gerçekleşebilecektir (Budak ve ark., 2009; Yıldız, 2008). Biyodizel üretmek

ve tüketmek için Türkiye yeterli alt yapıya sahiptir ve gelişen teknolojiye birlikte dizel motorların biyodizel kullanım uygunluğu daha kolay hale gelecektir. Toplamda tüm Türkiye’den elde edilmesi beklenen potansiyel biyodizel üretimi 1 milyon 250 tondur ve potansiyeller icraata dönüştürülürse Türkiye’nin tarım kapasitesinin 3 kat artacağı öngörülmektedir (Budak ve ark., 2009). Şekil 4.1’de Türkiye’de biyodizel üretimi yapan iller gösterilmiş olup Ankara ve Gaziantep 21’in üzerinde üretim yapan firmaya sahipken daha küçük illerde 1-5 arası üretim yapan firma olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 1.Türkiye’de biyodizel üretiminin mevcut durumu (Akt; Fidan ve Alkan, 2014).

14 Eylül 2011 verilerine göre ülkemizde Enerji Piyasası Düzenleme Kuruluna (EPDK) kayıtlı üretim lisansına sahip 36 tesis bulunmakta olup yerli tarım ürünlerinden aspir bitkisiyle aktif üretim yapan sadece bir firma bulunmaktadır. Ayrıca Çevre Bakanlığı verilerine göre üç adet atık yağlardan biyodizel üretimi için izinli olmasına rağmen sadece birisi EPDK’den lisanslıdır ve aktif üretim yapmaktadır. Kurulan biyodizel tesislerinin kapasiteleri yüksek olmasına rağmen yerli hammadde bulunmamasından dolayı pek çok tesis kapanmış ya da kapanma aşamasındadır (Fidan ve Alkan, 2014). Türkiye’de biyodizelle ilgili ilk çalışma 1934 yılında “Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Kullanımı” çalışmasıyla Atatürk Orman Çiftliğinde yapılmış olup 2000’li yılların başına kadar çok fazla ilerleme kaydedilememiştir. Dünyada gelişmelerle birlikte Türkiye’de de bu yıllardan itibaren çalışmalar hız kazanmış olup ilk kez biyodizel ve ismi 04.12.2003 tarihinde 5015 sayılı Petrol Piyasası Kanunu’nda harmanlanan ürünler arasında yer almıştır. 10.09.2004 tarihli Resmi Gazetede “Petrol Piyasasında Uygulanacak Teknik Kriterler” hakkında yönetmelik ve 17.06.2004 tarihli Petrol Piyasası Lisans Yönetmeliği ile biyodizel akaryakıt olarak kabul edilmiş ithalatı,

dağıtımı, taşınması ve son kullanıcıya satışı lisans kapsamına alınmış olup biyodizel standartları olan TSEN 14214 ve TSEN 14213 TSE tarafından AB standartlarının aynısı alınarak 2005 Eylül ve Ekim ayında yayınlanmıştır. EPDK 05.01.2006 tarihli tebliğleri ile gerekli teknik düzenlemeler ile biyodizelin % 5'e (% v/v) kadar motorinle harmanlama yapılmasına imkan tanımış ve Oto biyodizel'in üretimi, yurtiçi ve yurtdışı kaynaklardan temini, piyasaya arzına ilişkin teknik düzenlemeyle TSEN 14214 kabul edilmiştir. 30.03.2006 tarihinde petrol piyasasında haksız rekabet oluşturduğu gerekçesiyle Gelir Vergisi Kanunu'nda değişiklik yapılarak biyodizele litre başına 0,6498 TL ÖTV (Özel Tüketim Vergisi) getirilmiştir. İlgili yönetmeliklerde yapılan değişikliklere göre; biyodizel üreticileri EPDK' nın belirlediği standartlara uygun üretim yapmak üzere bedelsiz lisans alabilecek olup lisans alan üreticilerin gerekli denetimi EPDK tarafından yapılmaktadır. Atık kızartma yağlardan biyodizel elde eden üreticiler ayrıca Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun üretim yapmak durumundadır (Budak ve ark., 2009). Yerli tarım ürünlerinden elde edilen biyodizel hacmen %2 oranında motorine katıldığında eklenen kısmın ÖTV değeri sıfır olup bu şekilde yerli üretim biyodizel desteklenmek istenmiştir (Yıldız, 2008). 2017 yılında Türkiye'de toplamda 70 bin ton biyodizel üretimi gerçekleşmiş olup bu üretimin 38 tonunun atık bitkisel yağlar oluşturmaktadır. EPDK'nın 2018 yılı itibariyle motorine biyodizel harmanlama zorunluluğu getirmesi ve Türkiye'deki motorin kullanımı da dikkate alındığında sonraki yıllarda bitkisel yağlardan ve atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizel üretimi artmıştır.

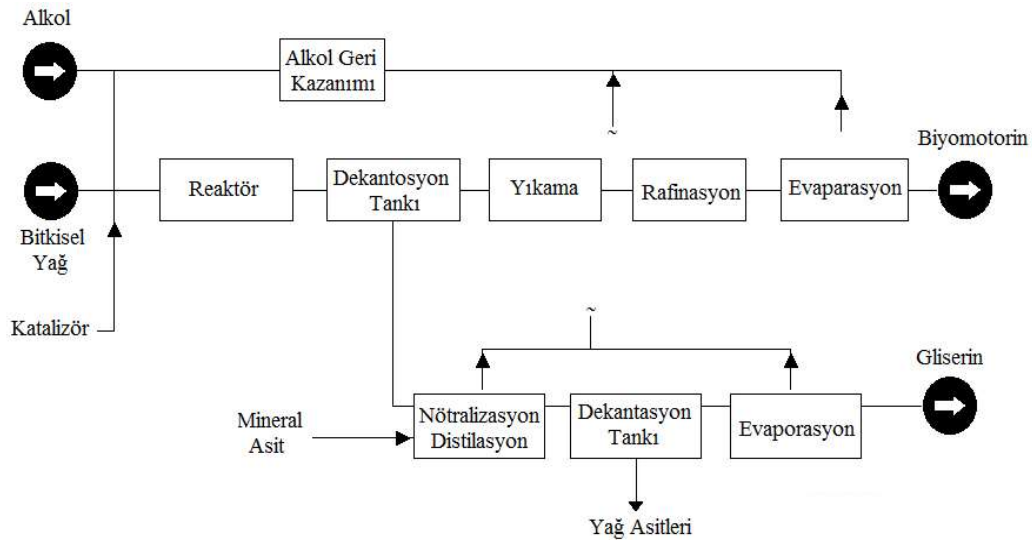
4.5. Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi

Bitkisel ya da hayvansal yağların yakıt olarak kullanılmasını sağlamak için iki alanda çalışmalar yoğunlaşmıştır. Birincisi bitkisel ve hayvansal yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, ikincisi ise motor üzerinde yapılan modifikasyonlardır. Motor üzerinde yapılacak modifikasyonlar yüksek maliyet içermesi sebebiyle bitkisel yağların petrol yakıtlarına benzer özellikleri iyileştirilmesi öncelik olmuştur. Hayvansal ve bitkisel yağların yanma özelliklerini iyileştirmek için yapılan çalışmalarda viskozite ve akma noktasının azaltılması amaçlanmıştır. Bu iki durum bitkisel yağların motorlarda direkt kullanılmasını engellemekte olup viskozitenin azaltılmasında kimyasal ve ısıtma olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Isıtma yönteminde yağlarda yapılan ön ısıtma ile viskozitenin düşürülmesi amaçlanmış olup hareketli bir motorda uygulanması zordur. Bu sebeple bitkisel yakıtların özelliklerini iyileştirmek için kimyasal yöntemler tercih

edilmektedir (Gündüz, 2017; Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Bu yöntemlerden en önemlileri aşağıdaki gibidir.

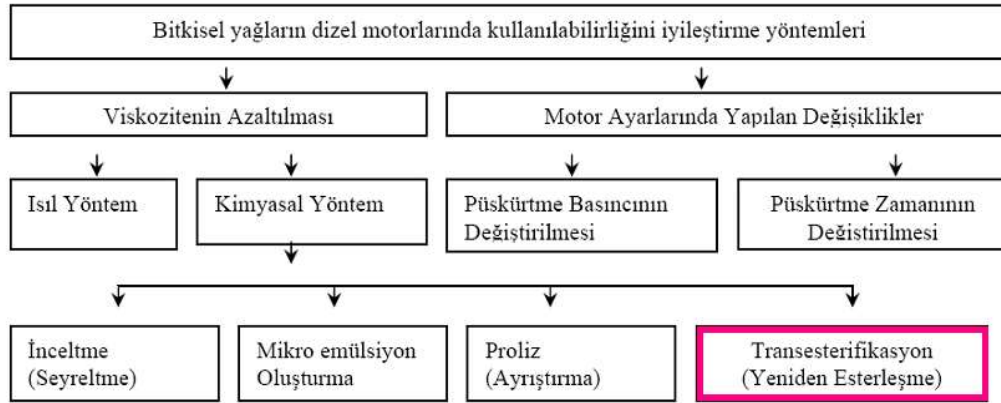
- 1) Seyreltme
- 2) Piroliz
- 3) Mikro Emülsiyon Oluşturma
- 4) Transesterifikasyon

Yağlı tohumdan yakıt üretim maliyetindeki en büyük pay tohuma ait olup bu durum geleceğin yakıtı olarak adlandırılan biyodizelin üretim maliyetlerini yükseltmektedir. Atık yağın hammadde olarak kullanıldığı işletmelerdeki üretim maliyeti göreceli olarak daha az olmakla birlikte atık yağların oluşturacağı çevre kirliliğinin de önüne geçilmektedir. Atık yağ toplama tesisleri ile büyük işletmelerden toplanan atık yağlardan biyodizel üretim miktarı gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca biyodizel üretimi sırasında elde edilen yan ürünlerin (gliserin vb.) sabun, kozmetik ve ilaç sektörlerinde değerlendirilmesiyle üretim maliyetleri düşürülmektedir (Budak ve ark., 2009). Şekil 4.2’de biyodizel üretim aşamaları şematik olarak gösterilmiş olup kimyasal reaksiyon sonucunda biyomotorin ve gliserin ürünleri elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Biyodizel üretim aşamaları (Akt; Fidan ve Alkan, 2014)

Bitkisel kökenli yağların yakıt olarak kullanılmasındaki olumsuzluklar yağların ve yağ esterlerinin belirli oranlarda motorinle karıştırılmasıyla düşük miktarda azaltılabileceği yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Şekil 4.3’te bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi gösterilmiştir (Şener ve Çakar, 2008).



Şekil 4. 3.Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi(Şener ve Çakar, 2008)

4.5.1. Seyreltme yöntemi

Bitkisel kökenli yağlara belirli oranlarda dizel yakıtı veya çeşitli organik katkı maddeleri eklenerek yağın viskozitesi düşürülür. Bu uygulama tekniğinde viskoziteyi düşürmek için dizel yakıtının yanı sıra yağ, aseton, etanol ve bütanol belirli oranlarda karıştırılmaktadır. Bu uygulamanın tekniği oldukça basit olmakla birlikte işlem sonunda yağ ve dizel yakıt karışımının depolanmasında sorun oluşmamakta ve faz ayrışımı da yaşanmamaktadır (Gündüz, 2017).

4.5.2. Piroliz (Ayrıştırma) yöntemi

Piroliz yöntemi katı, sıvı ve gaz ürünlerinin ortaya çıkarılması amacıyla oksijensiz bir ortamda organik maddelere uygulanan termokimyasal bir süreç olup üretilen ürünün miktarı uygulamadaki yöntem ve reaksiyon değişkenlerine bağlıdır. Bu yöntemin temeli bitkisel yağların kimyasal bağlarını kırarak daha küçük tanecikli yapılar oluşturmaya dayanmaktadır. Ayrıca piroliz tekniği uzun yıllardır kok kömürü üretmek için kullanılmış olup burada kömürün verimini artırmak için düşük sıcaklıkta yavaş bir reaksiyon gerçekleşmektedir. Katı ürün elde etmek için düşük sıcaklıkta yavaş reaksiyon kullanılırken sıvı ürün elde edilmesinde flash veya hızlı piroliz tekniği uygulanmaktadır. Sıvı pirolizin verimi reaksiyon hızına bağlı olarak değişmekte olup 450-650 °C aralığındaki sıcaklıklarda 1000-10000 °C/s ısıtma hızı ile uygulanan piroliz sıvı ürün verimi yüksek olmaktadır. Sıvı ürün çıkışının yüksek olması sıvı ürünlerinin gaz ürünlere dönüşümünün engellenmesiyle gerçekleşmektedir. Bitkisel kökenli yağların ayrıştırma ürünlerini elde etmek için iki yöntem kullanılmaktadır. İlk yöntemde yağlar ısı etkisiyle kapalı bir kap içerisinde parçalanmaktadır. İkinci yöntemde ise Standart Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (ASTM) destilasyonu yardımıyla yağlar ısı parçalanma etkisinde

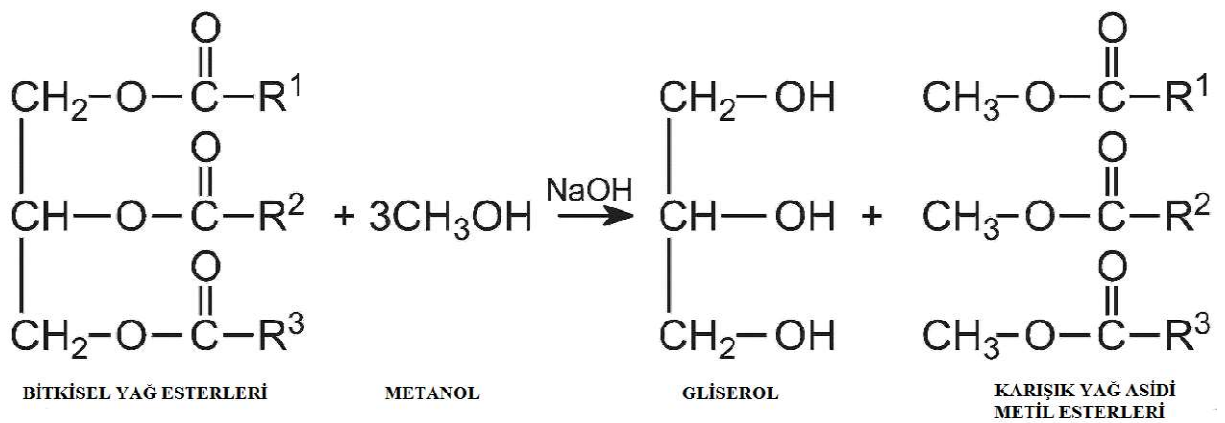
tutulmakta olup elde edilen bitkisel yakıtın dizel yakıt ile benzer özellikler taşıdığı görülmüştür (Mutlubaş, 2016; Gündüz, 2017).

4.5.3. Mikro emülsiyon oluşturma yöntemi

Birbirine karışması zor olan iki sıvı ile bir veya daha çok amfifilin bir araya gelmesiyle mikro emülsiyon oluşur ve bu teknikle bitkisel yağlardaki yüksek viskozite oranı düşürülmektedir. Bu metot da metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkoller kullanılmaktadır. Hazırlanan yakıtın viskozitesi düşürülmekte olup içerisinde alkol ihtiva etmesinden dolayı ısı değeri düşüktür. Bu nedenle motor gücünde de az miktarda azalma meydana gelmektedir. Ayrıca bu yöntemle petrol türevlerinden bağımsız alternatif dizel yakıt oluşturmak mümkün olmaktadır (Mutlubaş, 2016; Gündüz, 2017).

4.5.4. Transesterifikasyon (Yeniden Esterleşme) yöntemi

Transesterifikasyon yöntemi, trigliserit molekülünün (yağ asitleri) alkol ve baz (etanol veya metanol) ile tepkimeye girerek yağ esteri ve gliserin oluşum süreci olarak tanımlanır (Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Diğer bir ifadeyle bitkisel ve hayvansal yağların NaOH gibi bazik bir katalizör kullanılarak etanol ve metanol gibi alkollerle esterleştirme sürecine transesterifikasyon denmekte olup bitkisel yağlardan dizel elde etmek için en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin diğer ismi alkoliz tepkimesidir (Mutlubaş, 2016; Gündüz, 2017). Şekil 4.4'te yağ asitlerinin biyodizel oluşum reaksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 4. 4.Yağ Asidi Metil Esteri Oluşum Reaksiyonu (Mutlubaş, 2016)

Stokiyometrik hesaplamalarda alkoliz tepkimesi için alkol ve yağın mol oranının en az 3:1 olması gerekmekte olup pratik uygulamalarda ürünün verimini artırmak maksadıyla bu

orandan daha fazla alkol kullanılmaktadır. Bir denge reaksiyonu olarak kabul edilen bu işlemde alkolün fazla olması çıkan ürünün lehine sonuçlar vermektedir (Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Transesterifikasyon işlemini hızlandırmak maksadıyla alkali katalizör, asit katalizör veya enzimatik katalizör kullanılabilmekte olup NaOH, KOH, sodyum metoksit ve sodyum etoksit örnek katalizör olarak kullanılabilir fakat bunların içerisinde fiyat olarak diğerlerine kıyasla daha ekonomik ve temini daha kolay olan NaOH en çok kullanılan alkali katalizördür. Hızlı reaksiyon işlemi sağladığından alkali katalizörler daha yaygın kullanılmaktadır. Fakat tepkimedeki suyun sabunlaşmaya sebep olmasından dolayı alkali katalizörlerin kullanıldığı reaksiyonlarda alkol ve gliserolün susuz olması önemli olup oluşabilecek sabunun ester ürünün miktarı azalttığı ve gliserolün ayrıştırılmasında engel olduğu bilinmektedir (Van Kasteren ve Nisworo, 2007; Dorado ve ark., 2002). Alkoliz işleminde asit katalizör olarak HCl, H₂SO₄ ve fosforik asit kullanılabilmekte olup lipazlar da enzimatik katalizörlere örnek verilebilirler. Lipazların kullanıldığı enzimatik reaksiyonlarda enzimin işlevini tam olarak devam ettirmesi için reaksiyonun iyi kontrol edilmesi gerekmektedir (Meher ve ark., 2006). Metanol ve etanol alkoliz reaksiyonu için en çok alkol çeşidi olup trigliserid içinde düşük miktarda serbest yağ asidi varsa alkali katalizörle reaksiyon daha uygun olacaktır. Ancak trigliserid içerisinde yüksek miktarda yağ asidi ve su bulunmakta ise asidik katalizörlü alkoliz işlemi kullanılmaktadır. Burada yapılan işlem süresi daha uzun olmaktadır (Dorado ve ark., 2002; Meher ve ark., 2006). Farklı alkollerin kullanılması reaksiyon şartlarını ve ürün verimini değiştirmekte ve biyodizel üretimini zorlaştırmaktadır. Transesterifikasyon reaksiyonlarında tepkime hızını artırmak için baz kullanılmakta olup baz katalizörün kullanıldığı işlemler daha verimli ve daha ekonomik bir işlemdir. Düşük basınç ve sıcaklıkta işlemin gerçekleştirilmesi, reaksiyon süresinin kısa sürmesi, ortalama %98 gibi yüksek verime sahip olması ve farklı ara basamak işlemlerine gerek olamadan direkt metil esterlere dönüşüm olması baz katalizörlerin kullanılma sebepleri arasında yer almakta olup işlem basamakları aşağıdaki gibidir (Özdemir ve Mutlubaş, 2016; Gündüz, 2017).

- **Baz ve Alkolün Karıştırılması:** Katalizör alkol içinde çözündürülür. Katalizör olarak da NaOH veya KOH kullanılır (Kasteren ve Nisworo, 2007).

- **Transesterfikasyon İşlemi:** Bitkisel veya hayvansal kökenli yağ manyetik ısıtıcıda 55°C veya 60 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra alkol-baz çözeltisi (MeOH-NaOH/KOH) eklenir. Alkolün uçup kaybolmaması için kullanılan kap atmosfere kapatılır. Transesterfikasyon reaksiyonun tamamlanması için yaklaşık 80 saat beklemeye alınır ve bu süre sonunda biyodizel-gliserin olarak iki fazlı bir karışım meydana gelmektedir (Özdemir ve Mutlubaş, 2016).
- **Ayırma İşlemi:** Reaksiyon sonucunda oluşan biyodizel ve gliserin ürünlerinin birbirinden ayrılması gerekmektedir. Oluşan bu iki üründe de metanol kalıntısı da bulunur. Gliserinin yoğunluğu biyodizel yoğunluğundan fazla olduğu için ayırma işlemi yoğunluk farkından faydalanılarak beklemek suretiyle ya da santrifüj yöntemiyle gerçekleştirilir. Yoğunluğu fazla olan gliserin aşağıya çöker ve ayırma işlemi kolayca yapılabilir (Dorado ve ark., 2002).
- **Alkolün Uzaklaştırılması:** Ayrıştırılan gliserin ve biyodizel içerisindeki fazla olan alkol flaş buharlaştırma ya da distilasyon işlemiyle uzaklaştırılır. Reaksiyon karışımı nötr duruma getirilip gliserin ve ester halleri ayrılmış olmaktadır (Kasteren ve Nisworo, 2007; Dorado ve ark., 2002).
- **Gliserinin Nötralizasyonu:** Reaksiyon sonucunda yan ürün olarak gliserin elde edilir. Gliserin içerisinde asit, katalizör ve nötrleşmiş sabun ihtiva eder. %80-88 arası saflıkta gliserin elde etmek için ürün içindeki su ve alkol uzaklaştırılır. Elde edilen saf gliserin kozmetik ve ilaç sektörlerinde kullanılmaktadır (Kasteren ve Nisworo, 2007; Dorado ve ark., 2002).
- **Metil Esteri Yıkama İşlemi:** Gliserin ve biyodizel karışımı ayrıldıktan sonra biyodizel içerisinde bulunan az miktardaki sabun ve baz kalıntıları saf su ile yıkanarak uzaklaştırılır. Karışım nötr hale getirilip sonuç olarak açık sarı renkli dizel yakıtına benzer viskoziteli biyodizel yakıtı elde edilmiş olur (Özdemir ve Mutlubaş, 2016).

İşlem basamakları sonucunda elde edilen biyodizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri petrodizel yakıtına benzer olup dizel yakıtına göre avantaj ve dezavantajları da aşağıdaki gibidir.

Biyodizelin önemli avantajları;

- Kükürt, aromatik hidrokarbonlar, metaller ve ham petrol artıklarını bünyesinde bulundurmadiğından yanma verimi ve emisyon üzerinde negatif etkileri yoktur.
- Yoğunluk, ısıl değer ve viskozite değerleri normal dizel yakıtına yakındır.
- Daha düşük CO₂, CO, HC çıktıları olmaktadır.
- Moleküler yapısında %10-12 civarında oksijen içerir.
- Yerel olarak üretilmesi ve basit teknolojiyle elde edilmesi münasebetiyle dışa olan bağımlılığı azaltır.
- Dizel yakıtına yakın güç ve moment üretimi ve özgül yakıt tüketimi değerlerine sahiptir.
- Biyolojik olarak daha az toksit madde içermektedir.
- Alev alma noktasının yüksek olması sebebiyle taşınması ve depolanması kolay bir yakıttır.

Biyodizelin bazı dezavantajları aşağıdaki gibidir:

- NO_x emisyon çıkışı dizel yakıtına göre ortalama %10 daha fazla olup bünyesinde kükürt içermediğinden katalitik konvertör ile bu emisyon azaltılabilir.
- Biyodizelin viskozitesi ve soğuk akış özellikleri, dizel yakıtlarına oranla daha yüksek olması sebebiyle enjektörlerde ve yakıt sisteminde tıkanmalara sebep olabilmekte ve soğuk havalarda ilk çalıştırma esnasında sorunlara neden olabilmektedir (Reşitoğlu, 2010).

5. MATERYAL VE METOD

5.1. Deney Yakıtlarıyla İlgili Kimyasal ve Fiziksel Parametreler

Yapılan bu çalışmada, deneyler için Diyarbakır'da bir akaryakıt istasyonundan temin edilen dizel yakıt referans olarak belirlenmiş olup atık bitkisel yağlardan ise transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmiştir. İstanbul'da bulunan kimya firmasından %0,01 gr/100 ml'lik potasyum permanganat çözeltisi (KMnO_4) temin edilmiştir. Hazırlanan biyodizel ve dizel yakıtı hacimsel olarak %12 ve %24 oranlarında karıştırılarak B0 (dizel yakıtı), B12 (%12 atık bitkisel biyodizel ve %88 dizel yakıtı), B24 (%24 atık bitkisel biyodizel ve %76 dizel yakıtı), PMB12 (%12 atık bitkisel biyodizel, %88 dizel yakıtı ve KMnO_4 katkısı) ve PMB24 (%24 atık bitkisel biyodizel, %76 dizel yakıtı ve KMnO_4 katkısı) yakıtları elde edilmiştir. Yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri geliştirmek ve aynı zamanda motordaki yanma davranışını iyileştirmek için hazırlanan yakıtların ikisine 100ml'ye karşılık 1.51 mg olacak şekilde potasyum permanganat (KMnO_4) çözeltisi eklenmiştir. Hazırlanan deney yakıtlarının analizleri tüm prosedürlere uygun olarak Batman Üniversitesi Petrokimya bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Tablo 5.1'de hazırlanan ve analizleri yapılan deney yakıtlarıyla ilgili kimyasal ve fiziksel parametreler verilmiştir.

Tablo 5. 1. Deney yakıtlarıyla ilgili kimyasal ve fiziksel parametreler

Yakıtlar/ Parametreler	B0	B12	B24	PMB12	PMB24
Flash point (°C)	62,6	63,5	64,5	63,5	64,5
Viskozite (mm²/sn)	3,348	3,1083	3,5824	3,1343	3,5924
Yoğunluk (g/cm³)	0,833	0,841	0,851	0,843	0,852
Isıl değer (kJ/kg)	42713	39027	39159	39054	39173
Setan indeksi	52,23	51,75	49,27	50,72	49,39

5.2. Motor Parametrelerinin Hesaplanması ve Deneysel Metot

Yapılan deneysel çalışmanın teknik analizi Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü deney atölyesinde su soğutmalı, tek silindirli, 4 zamanlı ve sıkıştırma oranı değişebilen direkt püskürtmeli Kirlaskor TV-1 dizel motorunda sabit (maksimum tork devri) 1500 d/dk' da ve farklı yüklerde (0kg, 5kg, 7,5kg, 10kg) yapılmıştır. Eddy Current dinamometre yük miktarı 0-50kg arasında olduğundan test deneyleri motorun yüklenmesine sırasıyla %0, %10, %15 ve %20 olarak

karşılık gelmektedir. Deney için hazırlanmış olan yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri belirlendikten sonra ilk önce dizel yakıtı ile yanma ve performans değerleri alınmıştır. Alınan değerlerinin doğruluğu test etmek için ilgili motor katalog değerleri ile literatürde bu motorla yapılmış çalışmalara ait değerler karşılaştırılmıştır. Değerlerin karşılaştırılmasından sonra B0, B12, B24, PMB12, ve PMB24 yakıtlarıyla testler yapılmış olup test yakıtlarından elde edilen değerler ile dizel yakıtının değerleri grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Deneyler tüm karışımlar için 0kg (%0), 5kg (%10), 7,5kg (%15) ve 10kg (%20) yüklerinde test edilmiştir. Deneyde kullanılan test motorunun teknik özellikleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5. 2. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor İsmi	Kirlaskor TV-1
Strok Sayısı	4
Silindir Sayısı	1
Soğutma Tipi	Su Soğutmalı
Dinamometre Tipi	Eddy Current
Dinamometre Soğutma tipi	Su Soğutmalı
Motor Gücü (kW)	5,2
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
Yük Göstergesi	Dijital, 0-50 kg

Deney sırasında istenen tüm parametreler (Motor efektif gücü (P_e), özgül yakıt tüketimi (b_e), döndürme momenti (M_d), vb.) bilgisayarda kurulan ICEngineSoft_9.0 programı tarafından direkt hesaplanmakta olupbu değerlerin doğruluğu alınan veriler ışığında formüllerle tekrar hesaplanmaktadır. Bu verilere ek olarak efektif verim (η_e), ortalama efektif basınç (P_{me}), mekanik verim (η_m) ve özgül yakıt tüketimi (B_{sfc}); yakıtların ısı değeri, yakıt tüketimi ve motor çıkış gücü (BP) hesaplanarak bulunmuştur. Özgül yakıt tüketimi; birim güç için tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanmakta olup deney düzeneğindeki 50 ml’lik ölçme büreti ile hacimsel debi olarak (Q) ölçülmüş ve yakıtların yoğunluklarıyla (ρ) çarpılarak kütleli debiye ($\dot{m}$) dönüştürülüp çıkış gücü değerlerine oranlayarak (g/kWs) hesap edilmiştir.

Özgül yakıt tüketiminin hesaplanması denklem (5.1) ve (5.2)'de gösterilmiştir.

$$B = \frac{\Delta v \times 10^{-3} \times 3600}{\Delta t} \times \rho_{yakıt}, \quad (5.1)$$

$$\text{ÖYT (b}_e\text{)} = \frac{B}{Pe}, \quad b_e = \frac{3600 \times \dot{m}_y}{Pe} \quad (5.2)$$

ÖYT(b_e)= özgül yakıt tüketimi (g/kWs) $\dot{m}_y$ = kütleli yakıt debisi (g/s) , Pe= motor gücü (kW), B= yakıt tüketimi (kg/s), Δv =ölçme büreti hacmi (cm³), Δt =birim zaman (sn)

Test yakıtların Efektif Termik Verim hesaplanması denklem (5.3)'te verilmiştir.

$$\text{ETV} = 3,6 \times 10^6 / b_e \times H_u \quad (5.3)$$

ETV= efektif termik verim, b_e= özgül yakıt tüketimi (kg/kWh), H_u= yakıtın ısı değeri (kJ/kg).

Ortalama efektif basınç hesaplanması denklem (5.4)'te verilmiştir.

$$P_{me} = 60 \times P_e / V_h \times n \times i \text{ (kPa)} \quad (5.4)$$

P_{me}= ortalama efektif basınç, V_h=toplamstrok hacmi (m³), n= devir sayısı (dev/dk)
i= çevirim/devir (dört zamanlı motor için ½).

Döndürme momenti hesaplanması denklem (5.5)'te verilmiştir.

$$M_d = \frac{9549 \times Pe}{n} \quad (5.5)$$

M_d= döndürme momenti (Nm), Pe= motor gücü (kW), n = devir sayısı (dev/dk).

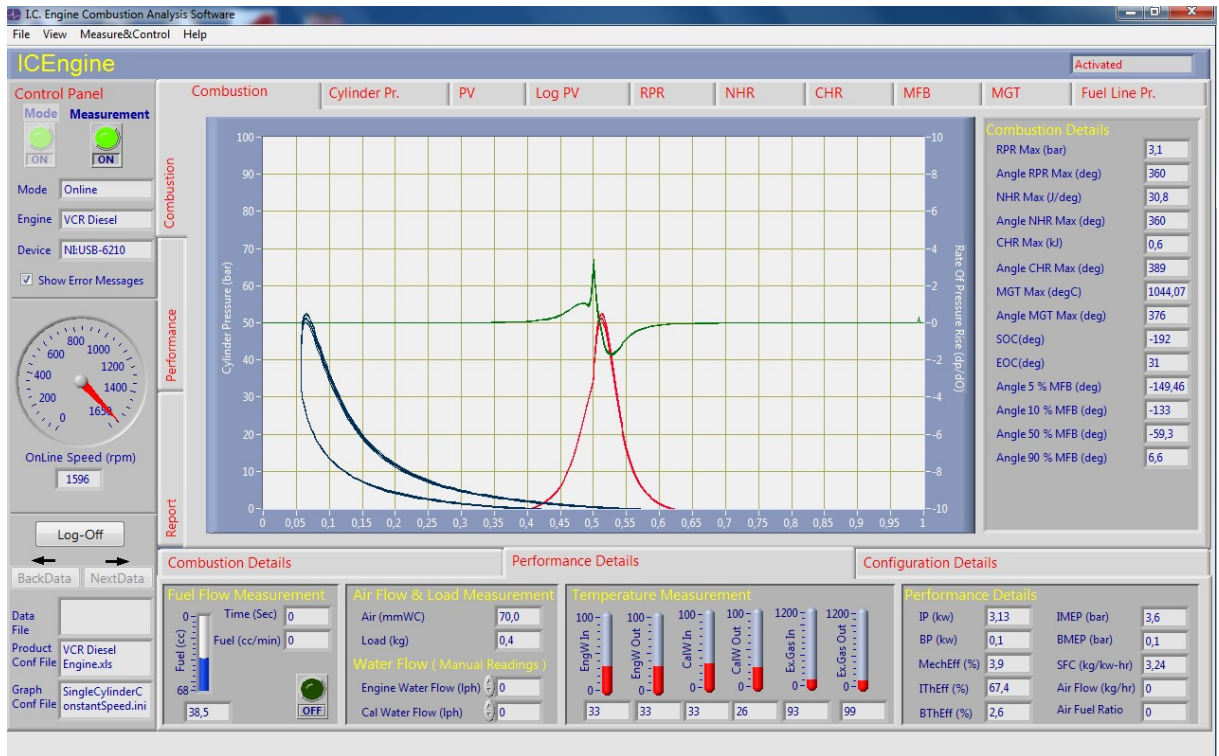
Efektif verim ve mekanik verim hesaplanması denklem (5.6) ve (5.7)'de gösterilmiştir.

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \times b_e} \quad (5.6)$$

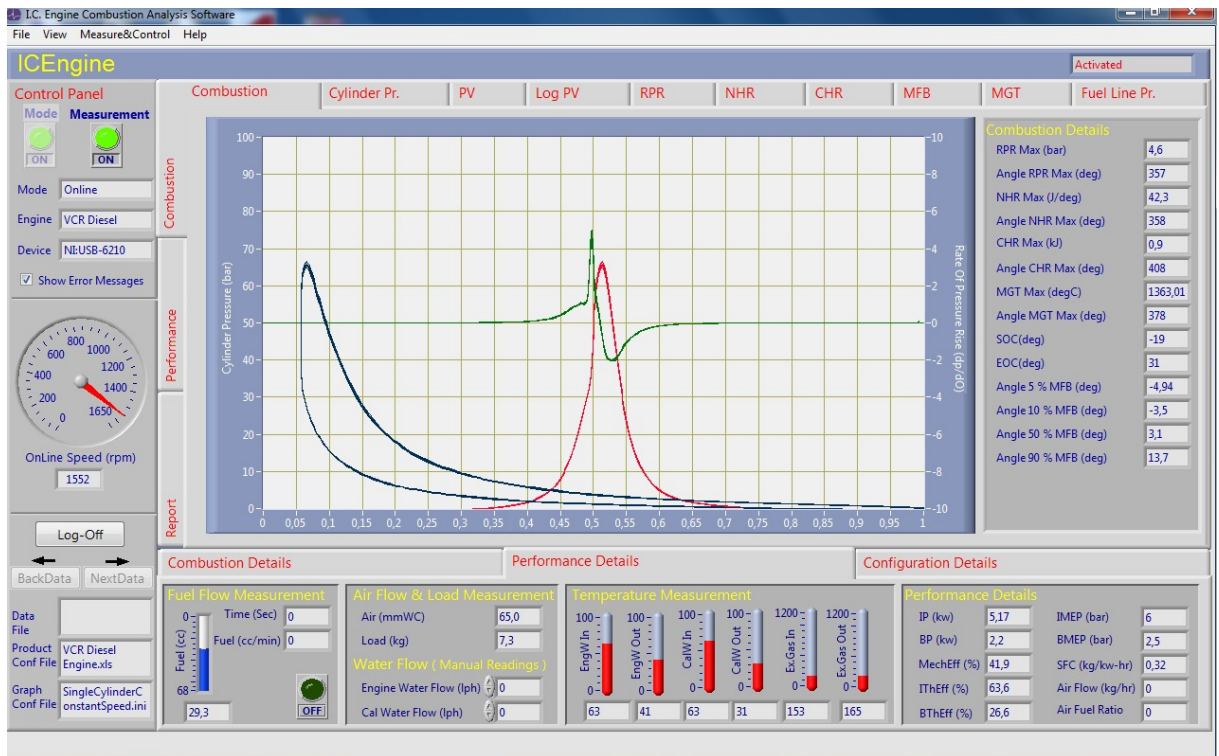
$$\eta_m = \frac{\eta_e}{ETV} \quad (5.7)$$

η_e = efektif verim, η_m = mekanik verim, ETV= efektif termik verim, b_e= özgül yakıt tüketimi (kg/kWh), H_u= yakıtın ısı değeri (kJ/kg).

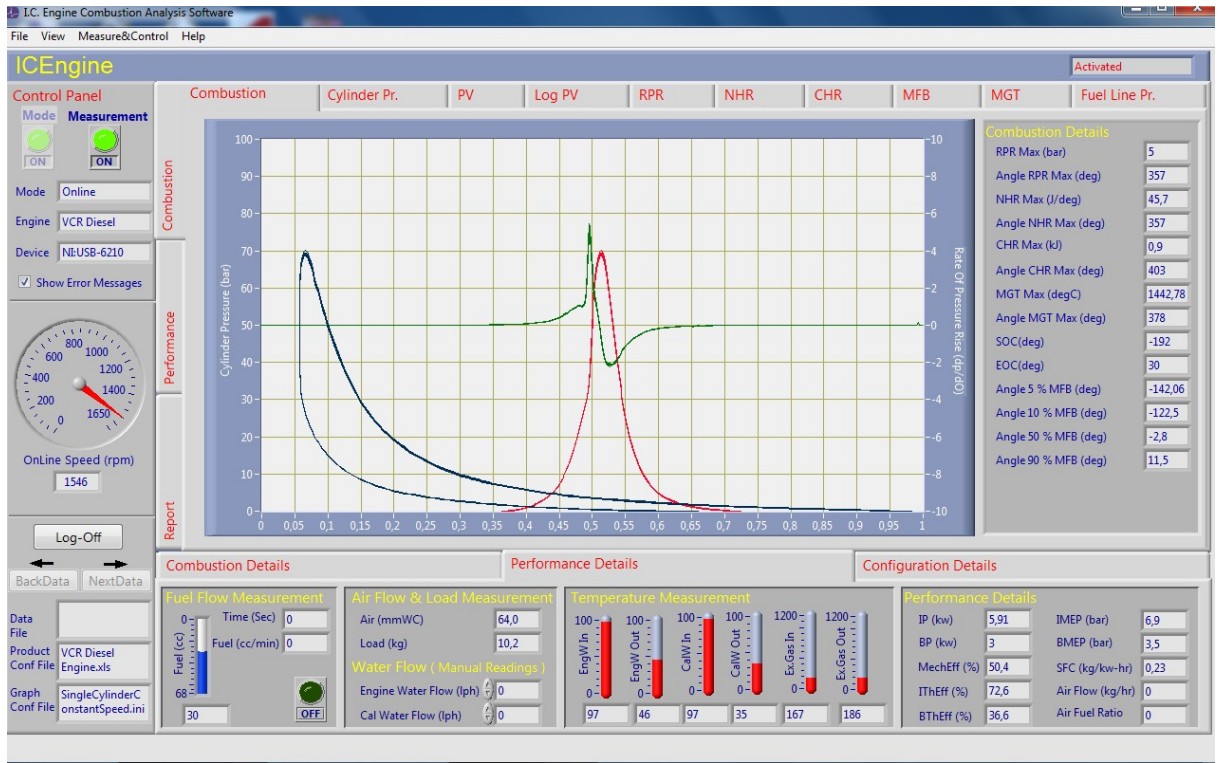
Deney yakıtlarıyla yapılan testler sonucunda elde edilen yanma ve performans verilerin alındığı ICEngineSoft_9.0 programının ekran alıntıları değişik yüklerde olmak üzere Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'te verilmiştir. Şekil 5.4'te deney test düzeneğinin görüntüsü ve Şekil 5.5'te de deney düzeneğinin şematik görünüşü verilmiştir. Şekil 5.6'da yakıtların hazırlanması ve analizine ait görüntüler verilmiş olup Şekil 5.7'de ise KMnO₄ katkılı yakıtların görüntüleri verilmiştir.



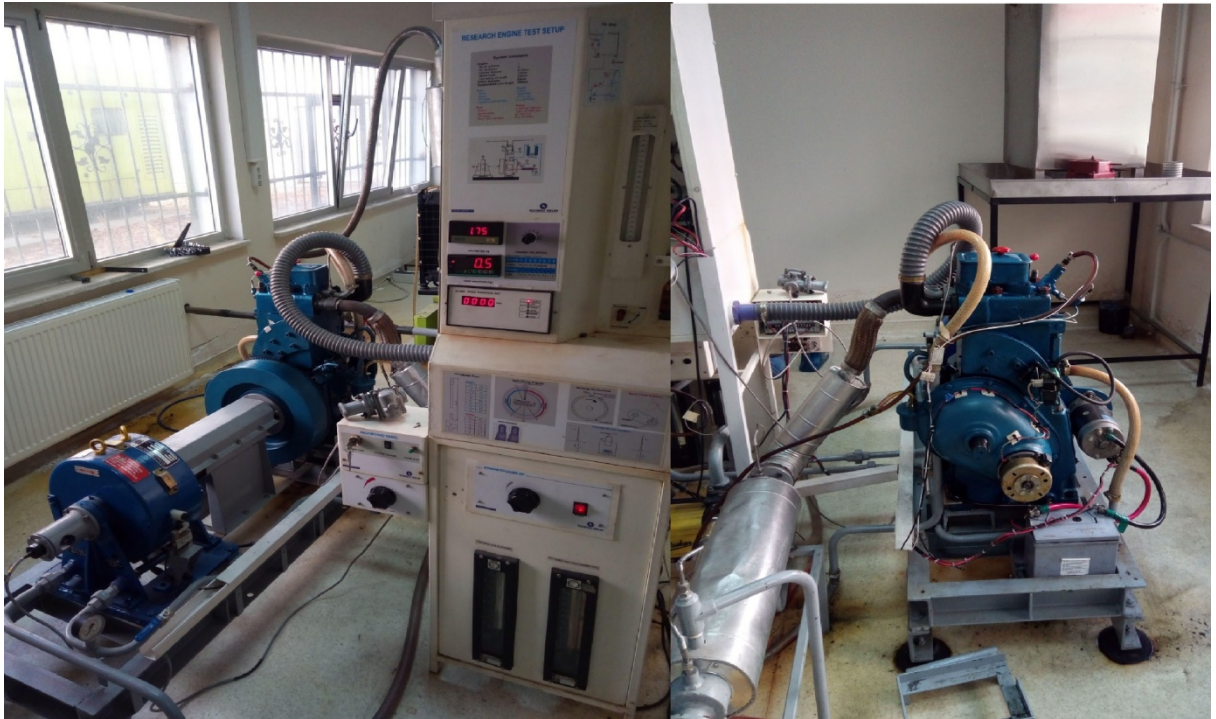
Şekil 5. 1. Testler sonucunda elde edilen yanma ve performans verilerinin alındığı IEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü



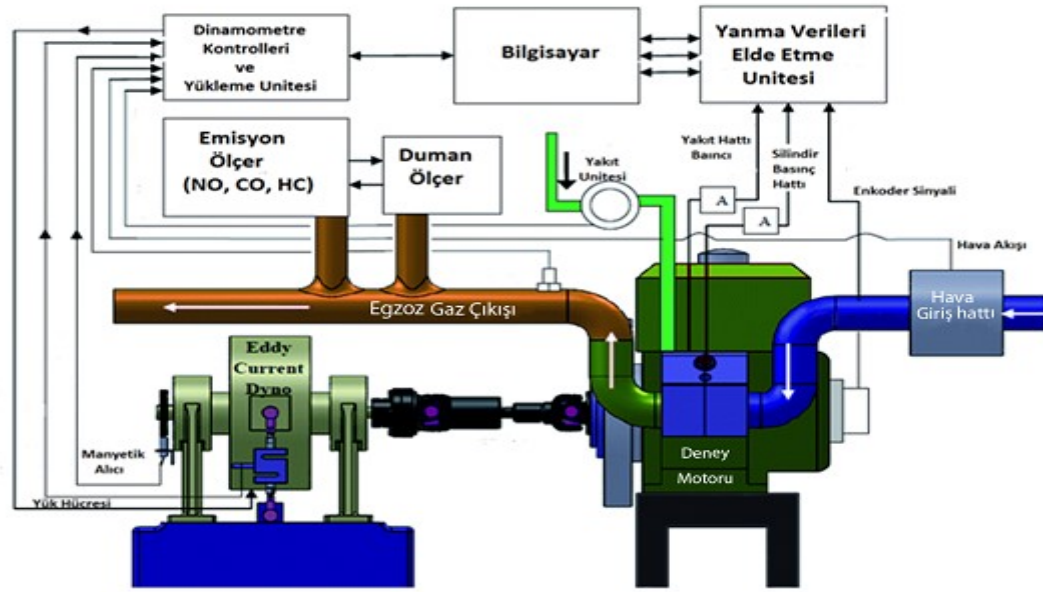
Şekil 5. 2. Testler sonucunda elde edilen yanma ve performans verilerinin alındığı IEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü



Şekil 5. 3. Testler sonucunda elde edilen yanma ve performans verilerinin alındığı ICEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü



Şekil 5. 4. Deney test düzeneğinin görüntüsü



Şekil 5. 5.Deney düzeneğinin şematik görüntüsü



Şekil 5. 6.Yakıtların hazırlanma ve analiz görüntüsü



Şekil 5. 7.KMnO₄ katkılı deney yakıtlarının görüntüsü

Hazırlanmış olan test yakıtlarıyla yapılan deneylerde Capalec Cap 3200 Kombi marka egzoz gaz analiz cihazıyla emisyon ölçümleri yapılmış olup cihaz görüntüsü Şekil 5.8’de gösterilmiş ve cihaza ait teknik bilgiler de Tablo 5.3’te verilmiştir.



Şekil 5. 8.Capalec Cap 3200 Kombi marka egzoz gaz analiz cihaz görüntüsü

Tablo 5. 3.Capalec Cap 3200 Kombi marka egzoz gaz analiz cihazı teknik özellikleri

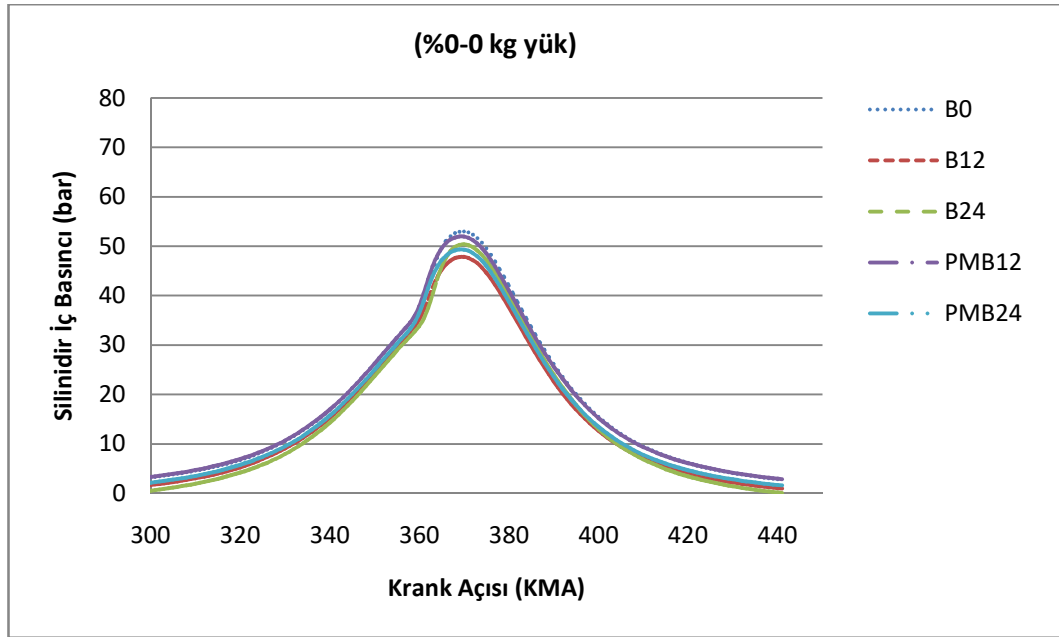
Araç tipi	Benzinli+Dizel
CO ölçüm aralığı	0-%15
CO ₂ ölçüm aralığı	0-%20
O ₂ ölçüm aralığı	0-%21,7
HC ölçüm aralığı	20000 ppm
N duman koyuluğu	0-%100
K opasite	0-%9,99
Lambda ölçüm aralığı	0,6-1,2
NOx ölçüm aralığı	0-5000 ppm
Motor devri	0-10000 Rpm
Yağ sıcaklığı	0-150 °C
Cihazın ağırlığı	7 Kg
Çalışma voltajı	220 V AC

6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

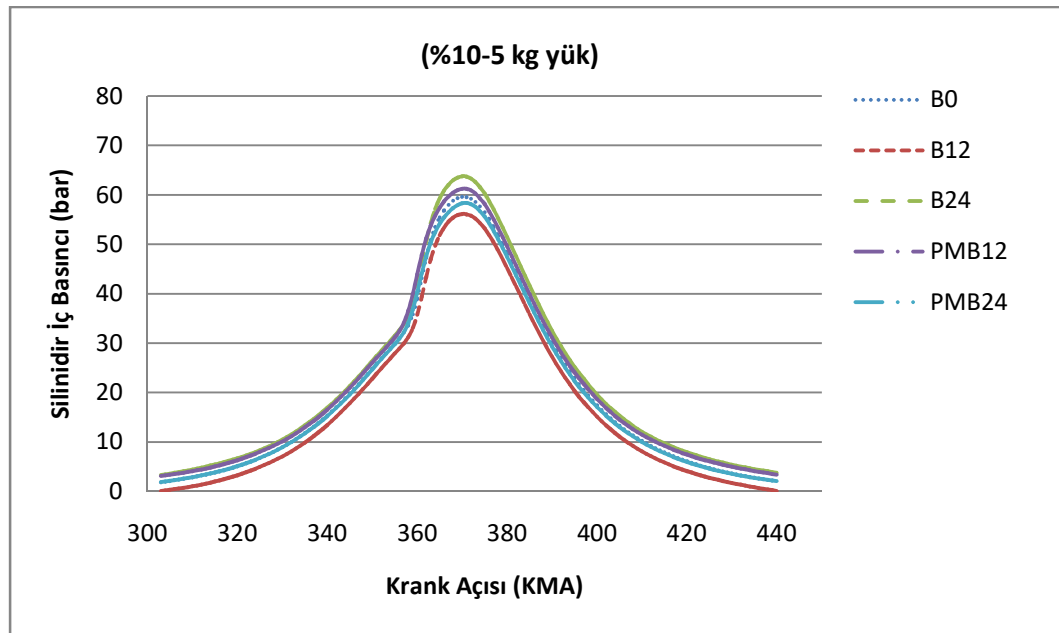
Yapılan deneysel çalışmalarda dizel yakıtı ve atık bitkisel biyodizel yakıtı %12 ve %24 oranlarında karıştırıldıktan sonra 100 ml yakıtta 1,51 mg potasyum permanganat (KMnO_4) çözeltisi katkı olarak eklenmiş olup sabit motor devrinde (1500 d/dk) ve farklı yüklerde (0kg, 5kg, 7,5kg ve 10kg) dizel deney motorunda test edilmiştir. Test sonucunda elde edilen yanma, performans ve emisyon değerleri grafiksel biçimde karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

6.1. Silindir Gaz Basınç Parametresi

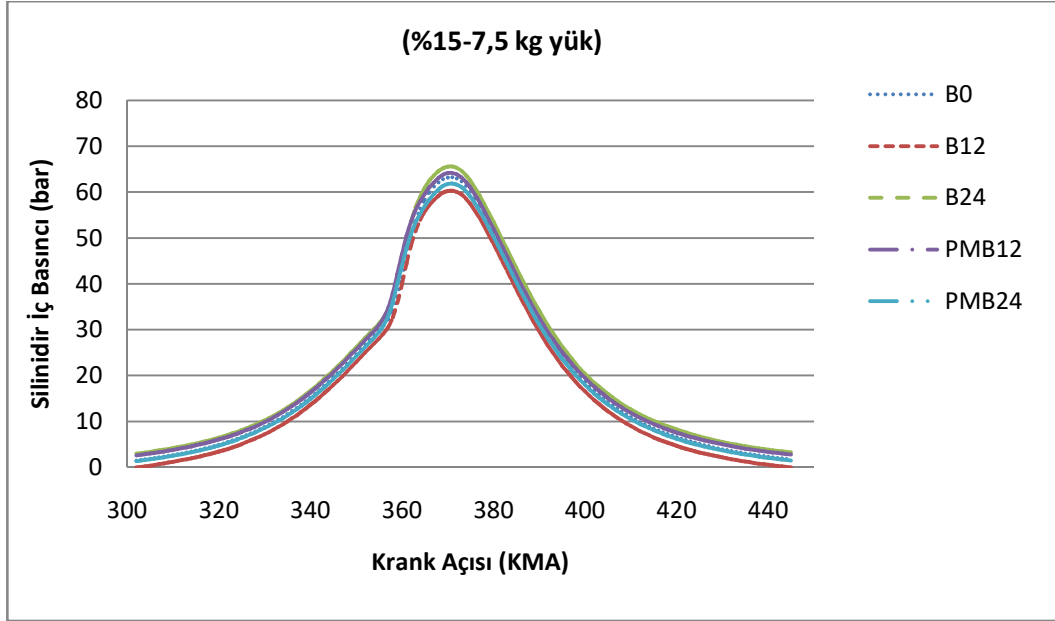
Test yakıtları için sabit devir sayısında (1500 d/dk) ve farklı motor yüklerinde (0kg-%0, 5kg-%10, 7,5kg-%15 ve 10kg-%20) ölçülen silindir gaz basınç değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri Şekil 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4'te verilmiştir. Ayrıca test yakıtlarına ait tüm yüklerdeki silindir gaz basınç değerleri Tablo 6.1'de de gösterilmiştir. Tüm test yakıtları için şekiller incelendiğinde yük arttıkça silindir gaz basıncının da arttığı görülmektedir. Bu durum yük artışına bağlı olarak silindirlere gönderilen yakıt miktarının artmasıyla açıklanabilir. Silindir gaz basıncı tüm yüklerde krank mili açısına göre 360° - 375° arasında meydana gelmiştir. Maksimum silindir gaz basıncı tüm test yakıtları için %20-10kg'lık yükte elde edilmiş olup yine aynı yük şartlarında maksimum basınç 371 KMA' da 69,19 bar olarak B24 yakıtından elde edilmiştir. Hemen ardından 371 KMA' da 67,14 bar basınç B0 yakıtı gelmektedir. Tüm test yakıtları için silindir gaz basıncı en az 47,84 bar olarak 370 KMA' da %0kg'lık yükte B12 yakıt türünden elde edilmiştir. 0kg, 5kg, 7,5kg ve 10kg yüklerinde yapılan tüm testlerde silindir gaz basınçları birbirine yakın değerlerde seyretmiş olup 5kg, 7,5kg ve 10kg'lık yüklerde maksimum silindir gaz basıncı B24 yakıtında elde edilmiştir. Bu durum dizel yakıtı ile biyodizel yakıt parametrelerin benzer olması ve elde edilen karışımların oksijen içeriğiyle açıklanabilir. Potasyum permanganat (KMnO_4) katkılı PMB12 ve PMB24 yakıtları incelendiğinde tüm yüklerde PMB12 yakıtının silindir gaz basınç değerinin daha fazla olduğu ve tüm yakıtlar içinde en yüksek basınç değeri veren ikinci yakıt türü olduğu görülmektedir. Dizel yakıtına alternatif olarak hazırlanan yakıt türlerinden B24 ve PMB12 yakıtlarının yükün artışına bağlı olarak yüksek gaz basıncı elde edilmesi; B24 yakıtının ısı değeri dizel yakıtına yakın olması ve karışımındaki biyodizel oranına bağlanabilirken, PMB12 yakıtı için daha düşük orandaki karışıma katılan katkı maddesinin silindir gaz basıncı için olumlu sonuçlar vermesi olarak değerlendirilebilir.



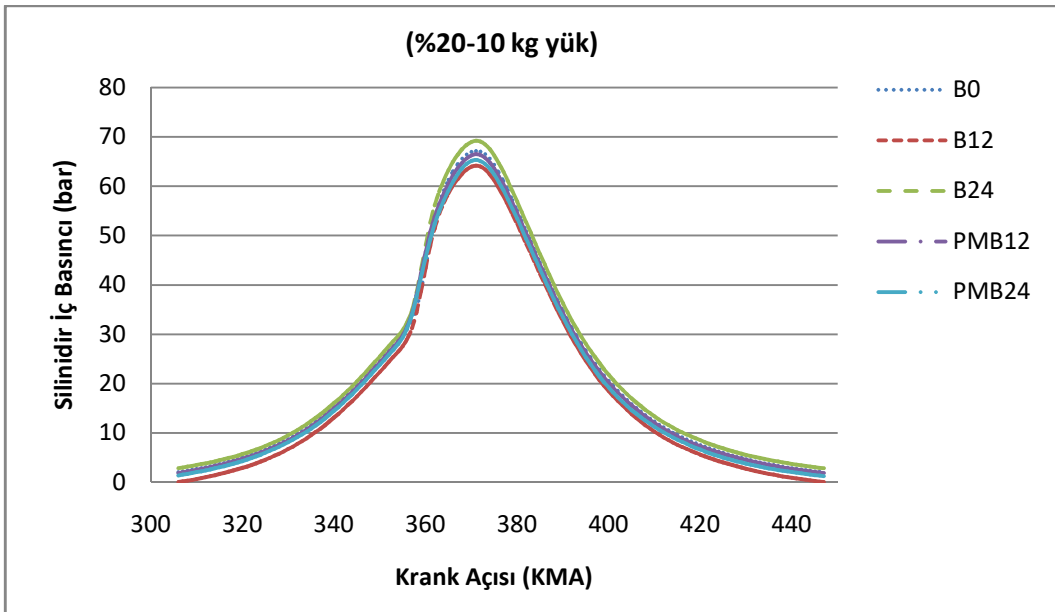
Şekil 6. 1. Test yakıtlarının %0 yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi



Şekil 6. 2. Test yakıtlarının %10yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi



Şekil 6. 3. Test yakıtlarının %15yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi



Şekil 6. 4. Test yakıtlarının %20 yükteki krank açısına bağlı olarak silindir gaz basınç değişimi

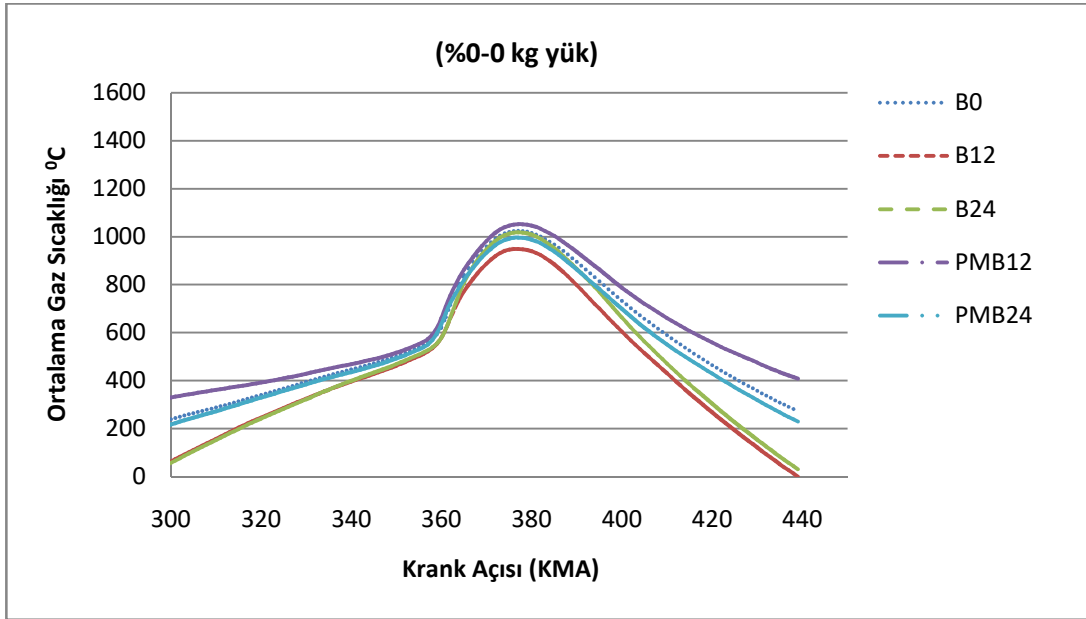
Tablo 6. 1.Tüm yüklerdeki maksimum silindir gaz basınç değerleri

Maksimum Silindir Gaz Basıncı (bar)				
	%0-0 kg yük	%10- 5 kg yük	%15-7,5 kg yük	%20-10 kg yük
B0	52.99/ 370°	59.6/ 370°	63.27/ 371°	67.14/ 371°
B12	47.84/ 370°	56.13/ 370°	60.32/ 371°	64.14/ 371°
B24	50.39/ 370°	63.77/ 370°	65.62/ 371°	69.19/ 371°
PMB12	51.94/ 370°	61.23/ 370°	64.2/ 371°	66.48/ 371°
PMB24	49.32/ 370°	58.29/ 370°	61.91/ 371°	65.3/ 371°

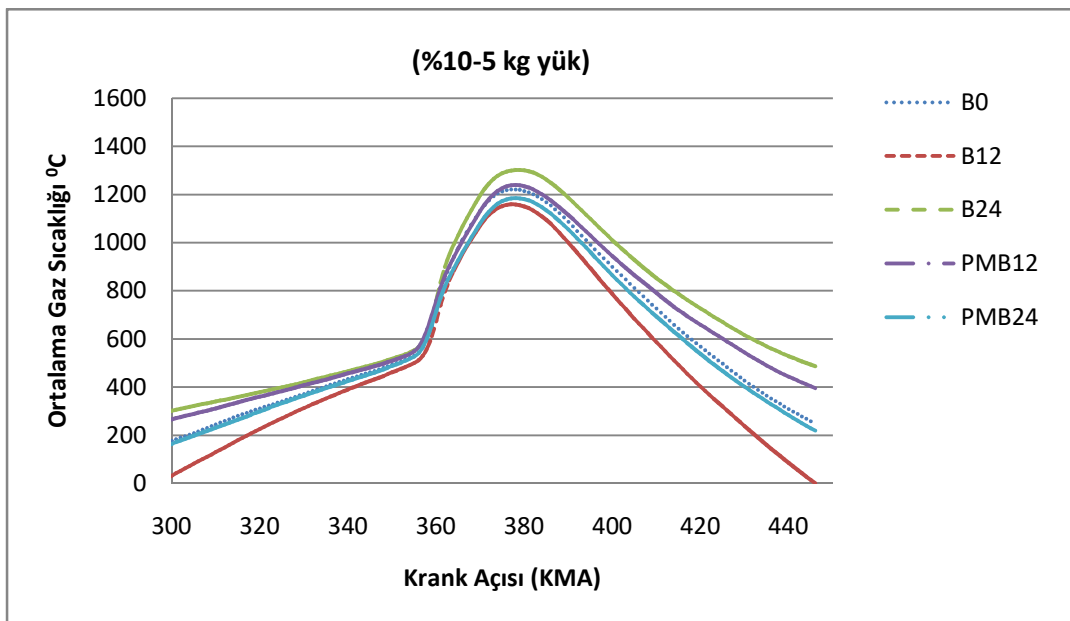
6. 2. Ortalama Gaz Sıcaklığı Parametresi

Test yakıtları için sabit devir sayısında (1500 d/dk) ve farklı motor yüklerinde (0kg-%0, 5kg-%10, 7,5kg-%15 ve 10kg-%20) ölçülen ortalama gaz sıcaklığı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri Şekil 6.5, 6.6, 6.7 ve 6.8’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde motor yükünün artmasına bağlı olarak tüm test yakıtlarından elde edilen ortalama gaz sıcaklığının da arttığı görülmektedir. %0-0kg yük durumunda tüm test yakıtlarının 377 KMA’ da en yüksek ortalama gaz sıcaklıkları PMB12, B0, B24, PMB24 ve B12 yakıtları için sırasıyla 1052,58 °C, 1025 °C, 1018,93 °C, 996,51 °C ve 949, 58 °C olduğu tespit edilmiştir. 0kg yükte yani yüksüz durumda en yüksek ortalama gaz sıcaklığı PMB12 yakıtından alınırken en düşük gaz sıcaklığı da B12 yakıtından elde edilmiştir. Bu iki yakıt türü arasındaki ortalama gaz sıcaklığı farkının %9,78 olduğu gözlenmiş olup PMB12 yakıtı içerisinde bulunan potasyum permanganat (KMnO₄) katkısının aynı yük çalışmasında gaz sıcaklık değerini artırdığı görülmektedir. Aynı test yakıtlarının %10-5kg yükteki tüm test yakıtlarının 378 KMA’ da en yüksek ortalama gaz sıcaklık değerine bakıldığında B24, PMB12, B0, PMB24 ve B12 yakıtları için sırasıyla 1302,7 °C, 1239,52 °C, 1221,84 °C, 1185,19 °C ve 1159,33 °C olduğu görülmüştür. %10-5kg’daki en yüksek gaz sıcaklığını B24 yakıtı vermişken en düşük gaz sıcaklığını da yaklaşık %11’lik farkla B12 yakıtı vermiştir. %15-7,5kg yükteki tüm test yakıtlarının 378 KMA’ da en yüksek ortalama gaz sıcaklık değerine bakıldığında B24, PMB12, PMB24, B0 ve B12 yakıtları için sırasıyla 1349,6 °C, 1305,7 °C, 1287,5 °C, 1284 °C ve 1244,8 °C olduğu görülmüş olup en yüksek gaz sıcaklığını B24 yakıtı vermişken en düşük gaz sıcaklığını da %7,76’lık farkla B12 yakıtı vermiştir. %20-10kg yükteki tüm test yakıtlarının 379 KMA’da en yüksek ortalama gaz sıcaklık değerine bakıldığında B24, PMB12, B0, PMB24 ve B12 yakıtları için sırasıyla 1429,55 °C,

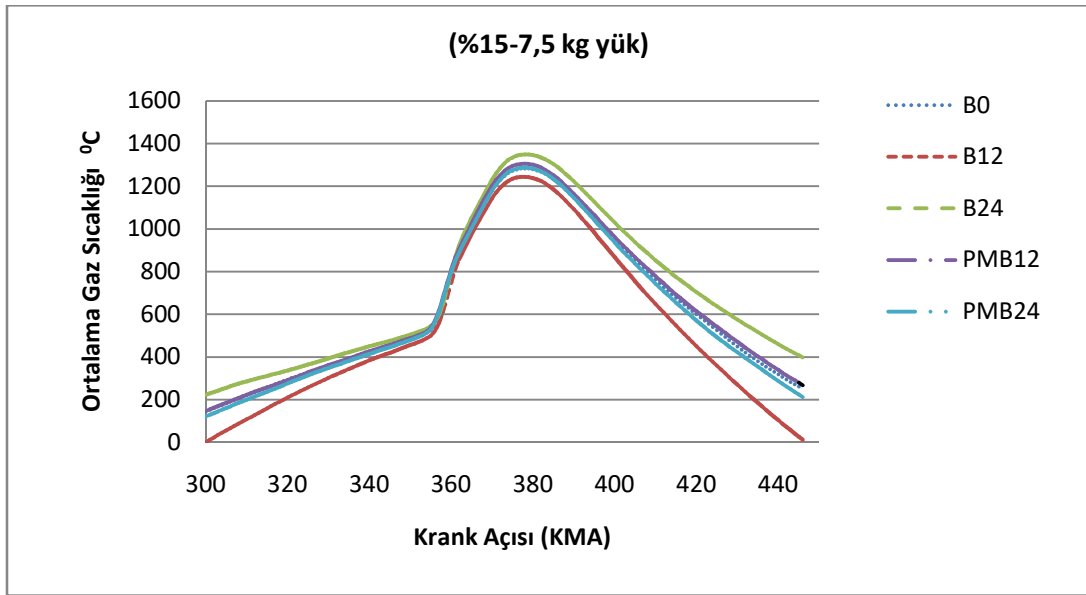
1385,09 °C, 1382,73 °C, 1352,96 °C ve 1326,67 °C, olduğu görülmüş olup en yüksek gaz sıcaklığını B24 yakıtı vermişken en düşük gaz sıcaklığını da %7,19'luk farkla B12 yakıtı vermiştir. Yapılan tüm yüklerdeki testlerde B24 ve PMB12 yakıt türlerinin ortalama gaz sıcaklık değeri diğer yakıt türlerine göre daha yüksek olduğu görülmüş olup bu yakıtların ısı değeri dizel yakıtına göre az da olsa daha düşük olmasına rağmen gerek hazırlanan karışım oranı ve gerekse eklenen katkıya bağlı olarak daha yüksek gaz sıcaklık değeri verdiği gözlemlenmiştir.



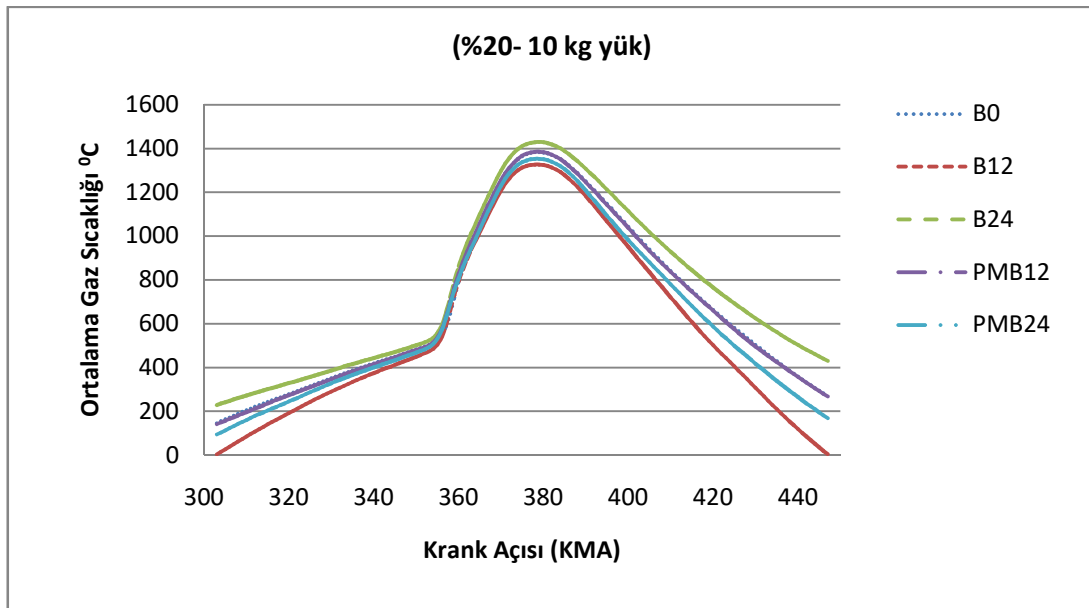
Şekil 6. 5. Test yakıtlarının %0 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklığı değişimi



Şekil 6. 6. Test yakıtlarının %10 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklığı değişimi



Şekil 6. 7. Test yakıtlarının %15 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklığı değişimi

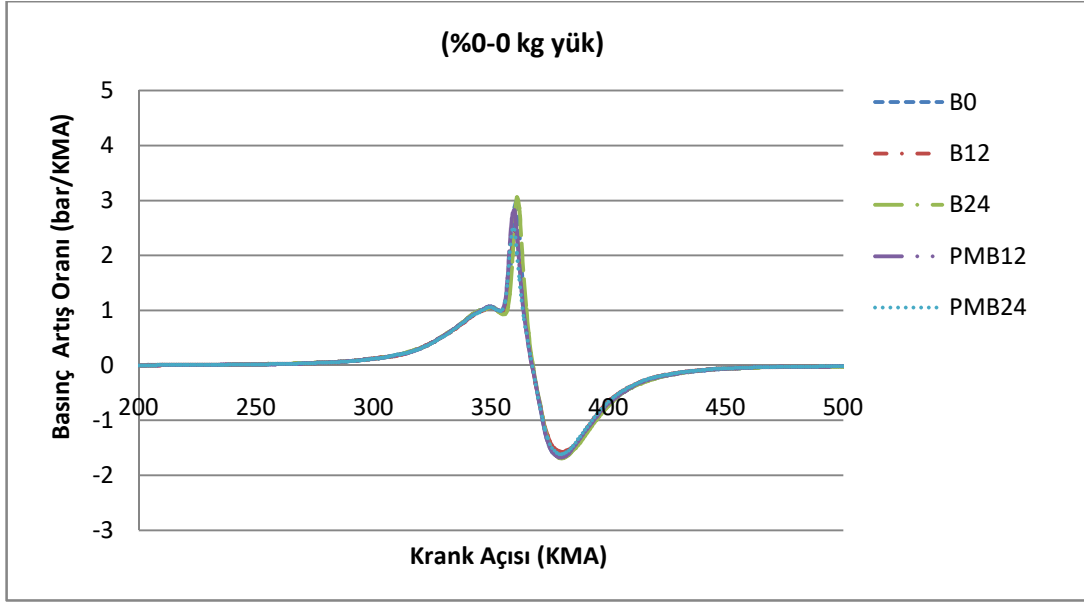


Şekil 6. 8. Test yakıtlarının %20 yükteki krank açısına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklığı değişimi

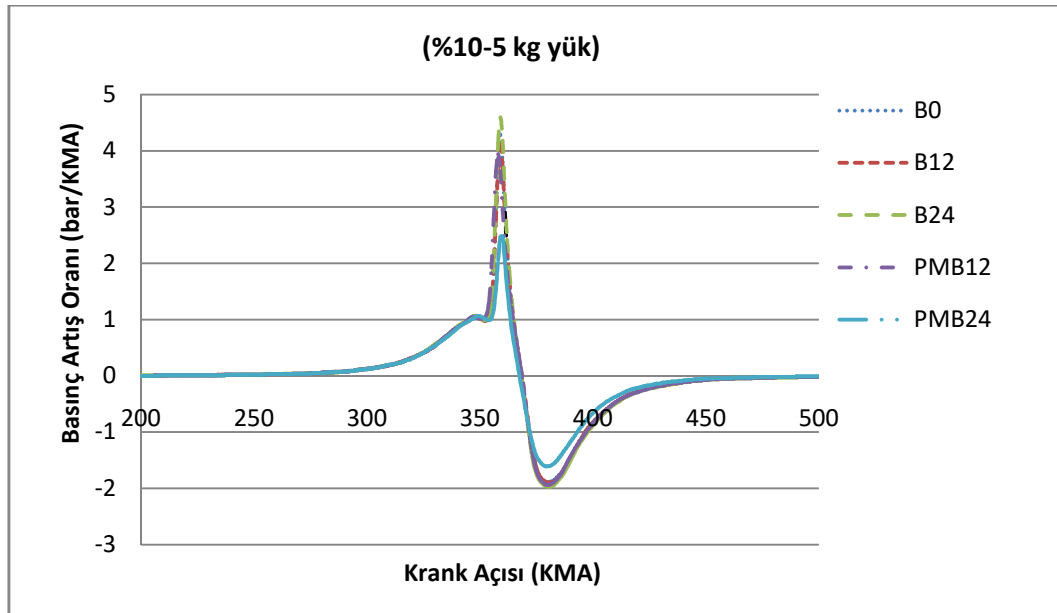
6. 3. Silindir Basıncı Artış Oranı Parametresi

Test yakıtları için sabit devir sayısında (1500 d/dk) ve farklı motor yüklerinde (0kg-%0, 5kg-%10, 7,5kg-%15 ve 10kg-%20) silindir basıncı artış oranı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri bar/KMA cinsinden Şekil 6.9, 6.10, 6.11 ve 6.12’de verilmiştir. Tüm yüklerde ve tüm test yakıtlarında yapılan deneylerde yükün artmasına bağlı olarak silindir basınç artış oranının da arttığı tespit edilmiştir. %0-0kg yükte 361 KMA’ da

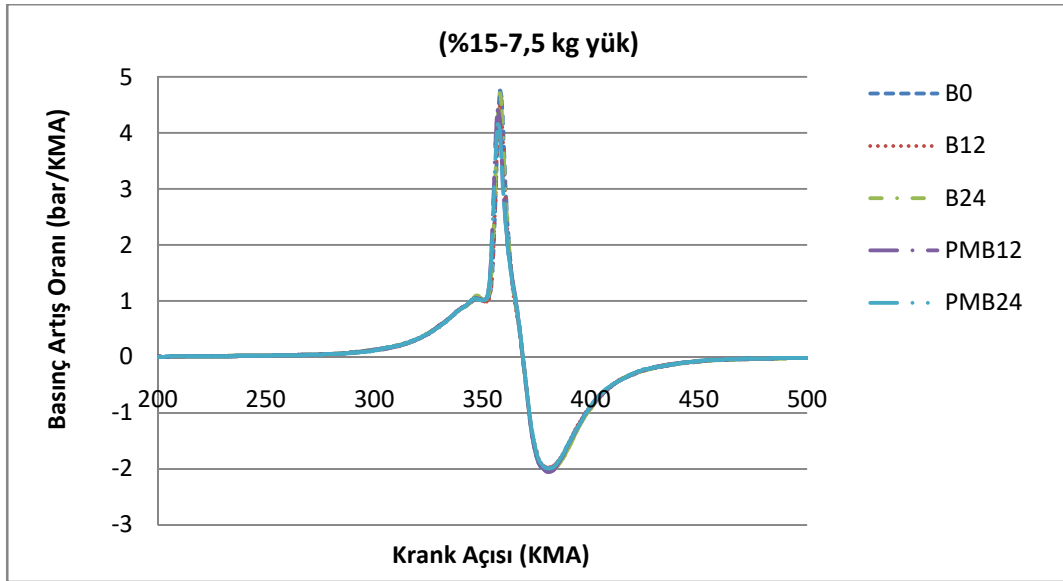
elde edilen verilere göre B24, B0, PMB12, B12 ve PMB24 yakıtlarının silindir basınç artış oranı sırasıyla 3,06, 2,99, 2,39, 2,38 ve 2,04 bar/KMA tespit edilmiş olup en yüksek basınç artış oranı B24 yakıtında ölçülmüştür. En düşük basınç artış oranı ise PMB24 yakıtından elde edilmiştir. %10-5kg yükteki testler incelendiğinde 359 KMA' da en yüksek silindir basıncı artış oranı B24, B0, B12, PMB12 ve PMB24 yakıtlarına göre sırasıyla 4,6, 4,29, 4,12, 3,64 ve 2,47 bar/KMA olduğu tespit edilmiştir. Bu yükte de en yüksek basınç artış oranı B24 yakıtından elde edilirken en düşük basınç artış oranı PMB24 yakıtı olduğu görülmektedir. %15-7,5kg yükteki veriler incelendiğinde 358 KMA' da en yüksek silindir basıncı artış oranı B0, B24, B12, PMB12 ve PMB24 yakıtlarına göre sırasıyla 4,75, 4,71, 4,48, 4,23 ve 4,05 bar/KMA olduğu tespit edilmiş olup en yüksek basınç artış oranı B0 yakıtında ölçülürken en düşük basınç artış oranı da PMB24 yakıtından elde edilmiştir. %20-10kg yükteki yapılan testler incelendiğinde 357 KMA' da en yüksek silindir basıncı artış oranı B24, B12, PMB12 B0 ve PMB24 yakıtlarına göre sırasıyla 5,04, 4,79, 4,46, 4,40 ve 4,16 bar/KMA olduğu tespit edilmiş olup en yüksek basınç artış oranı B24 yakıtında ölçülürken en düşük basınç artış oranı da PMB24 yakıtından elde edilmiştir. Tüm yükteki yapılan testler sonucu veriler incelendiğinde silindir basınç artış oranı değerleri yakın değerlerde olduğu görülmüş olup yükün artmasına bağlı olarak en yüksek basınç artış oranı daha düşük krank açısında elde edilmiştir. İçerisine katkı eklenmemiş olan B24 ve B12 yakıtlarının silindir basınç artış oranının yüksek olması, dizel yakıtına göre daha erken tutuşması ve kontrolsüz yanmasına bağlanabilirken tüm testlerde en düşük silindir basınç artış oranının elde edildiği PMB24 katkılı yakıtın daha kontrollü bir yanma sağladığı ile açıklanabilir (Hosamani, 2018).



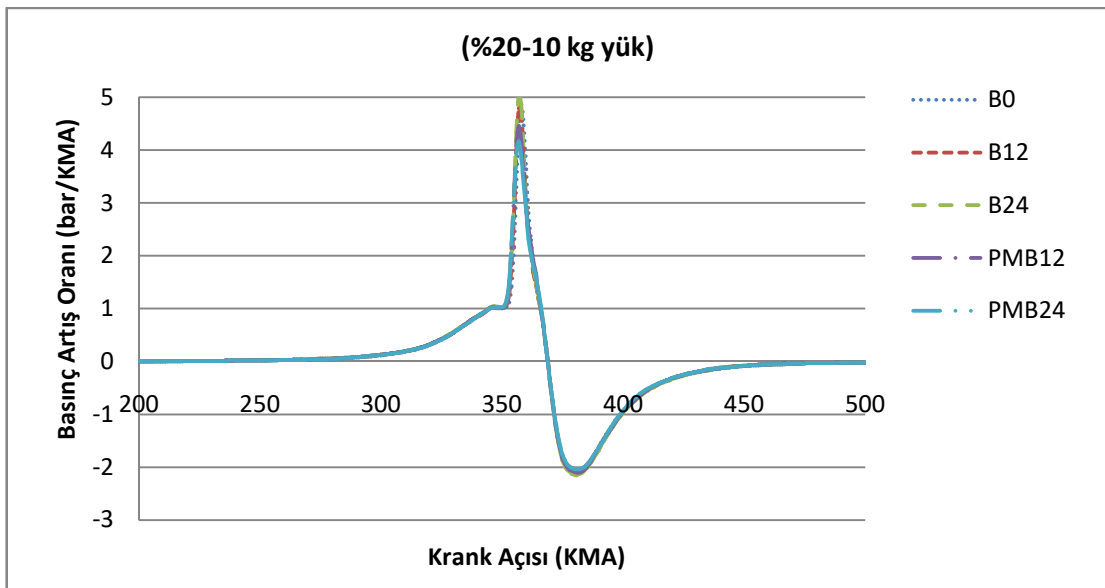
Şekil 6. 9. Test yakıtlarının %0 yükteki krank açısına bağlı olarak basmaç artış oranı değişimi



Şekil 6. 10. Test yakıtlarının %10 yükteki krank açısına bağlı olarak basmaç artış oranı değişimi



Şekil 6. 11. Test yakıtlarının %15 yükteki krank açısına bağlı olarak basınç artış oranı değişimi

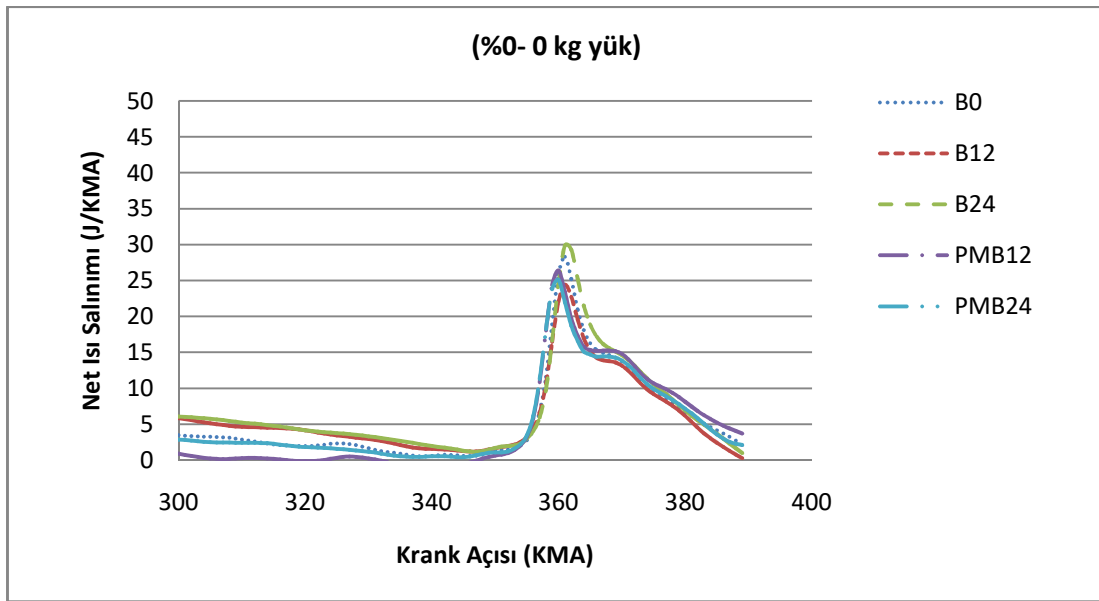


Şekil 6. 12. Test yakıtlarının %20 yükteki krank açısına bağlı olarak basınç artış oranı değişimi

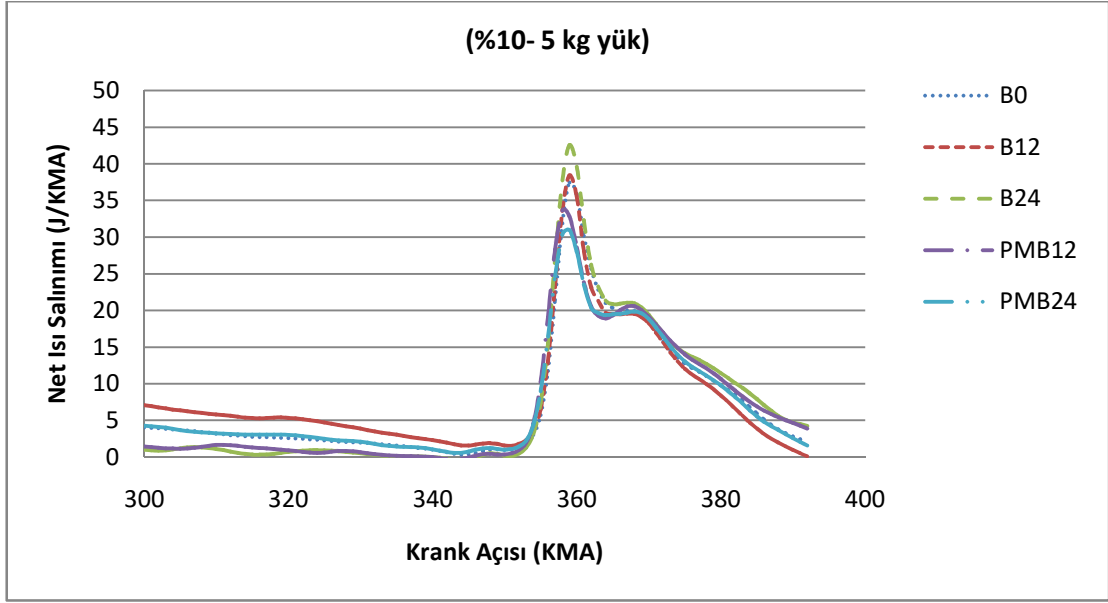
6. 4. Net Isı Salınımı Parametresini

Test yakıtlarının %0-0kg, %10-5kg, %15-7,5kg ve %20-10kg yüklerindeki net ısı salınım değişimleri Şekil 6.13, 6.14, 6.15 ve 6.16'da J/KMA cinsinden verilmiştir. Motor yükünün artmasına bağlı olarak tüm yüklerdeki net ısı salınım değerleri artmış olup bu durum yüke bağlı olarak artan silindir gaz basıncı artışına bağlı olabilir. %0-0kg yükte yapılan testlerde en yüksek net ısı salınım değeri 361°'de 29,85 J/KMA ile B24 yakıtı vermişken en düşük net ısı salınım değerini de 21,99 J/KMA ile PMB24 yakıtı

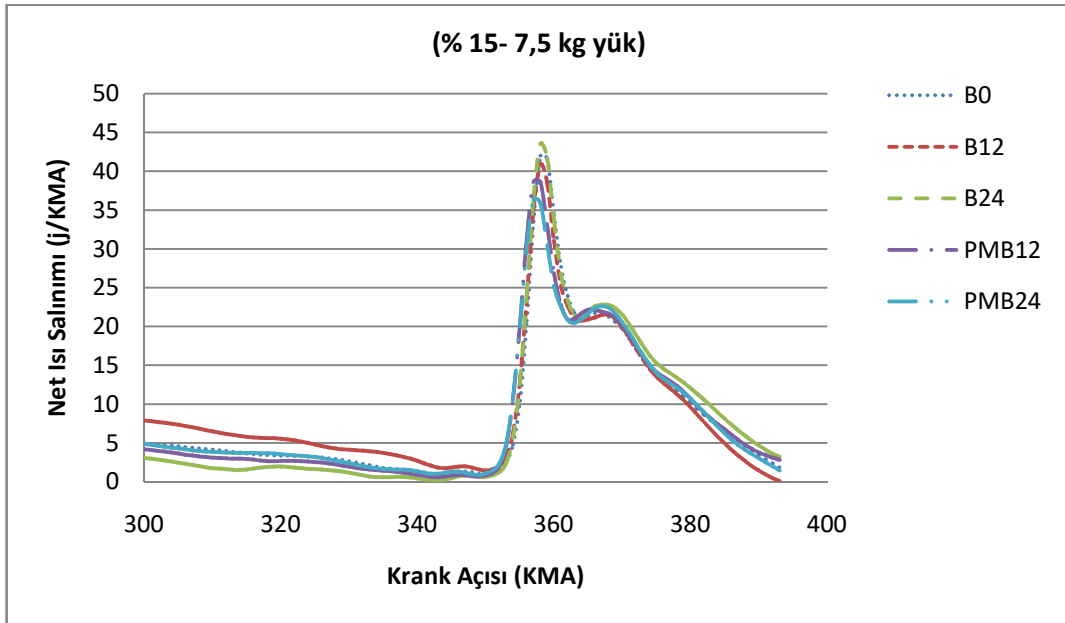
vermiştir. %10-5kg yükteki testlerde ise en yüksek net ısı salınım değerini 359°'de 42,56 J/KMA ile B24 yakıtı vermişken en düşük net ısı salınım değerini de 30,98 J/KMA ile PBM24 yakıtı vermiştir. %15-7,5kg yükteki testlerde de benzer sonuçlar elde edilmiş olup 358°'de en yüksek net ısı salınım değerini B24 yakıtı vermişken en düşük net ısı salınım değerini de PBM24 yakıtı vermiştir. %20-10kg yükteki testlerde en yüksek net ısı salınım değerini 358°'de B0 yakıtı vermişken en düşük net ısı salınım değerini de yine PBM24 yakıtı vermiştir. Yukarıdaki değerlerden de anlaşılacağı üzere maksimum ısı salınımı ilk üç yükteki testlerde biyodizel karışımli yakıtta (B24) daha fazla çıkmıştır. Ayrıca tüm yüklerde yapılan testlerde de en düşük net ısı salınım değerini PBM24 yakıtı vermiştir. Tüm biyodizel yakıt karışımları dizel yakıtına göre daha az ısı değeri ve setan sayısına sahip olmakla birlikte yakıt tüketiminin artmasına bağlı olarak net ısı salınımı artmış olup yükün artmasıyla beraber B0 yakıtı yüksek ısı değeri ve setan sayısına bağlı olarak daha yüksek net ısı salınım değeri üretmiştir.



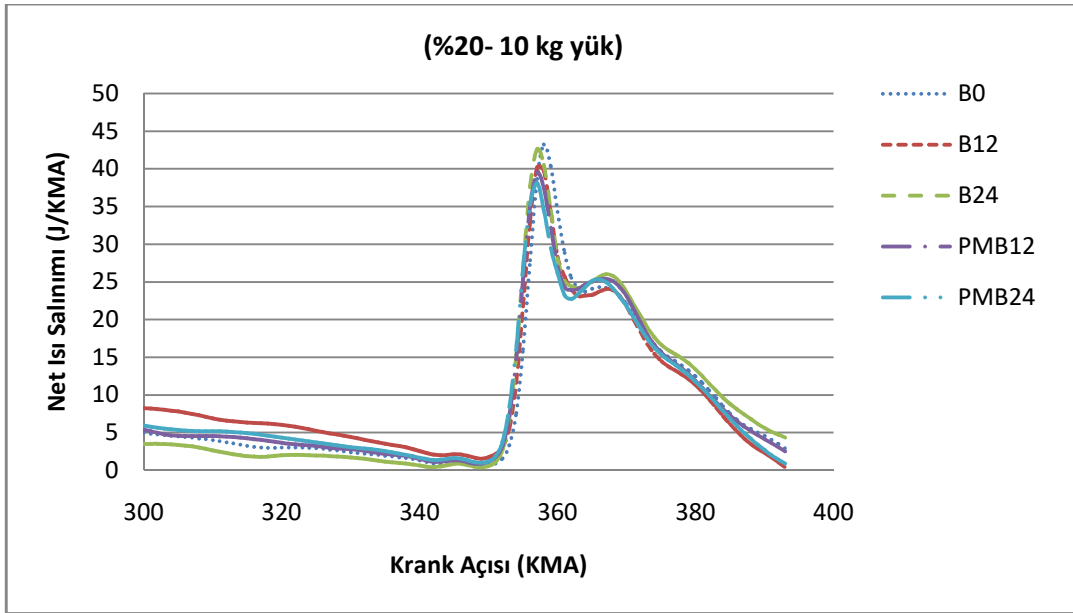
Şekil 6. 13. Test yakıtlarının %0 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi



Şekil 6. 14. Test yakıtlarının %10 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi



Şekil 6. 15. Test yakıtlarının %15 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi

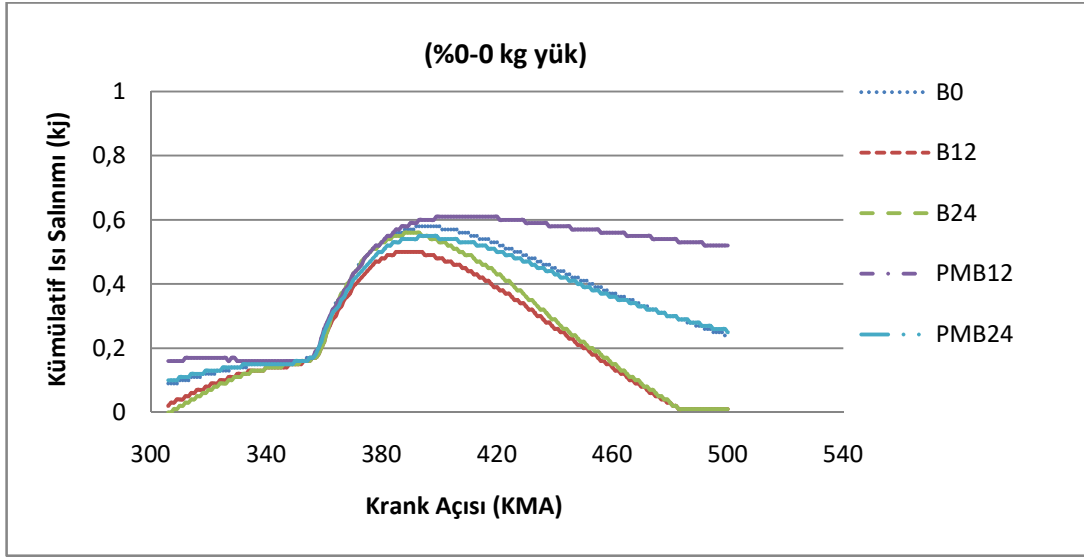


Şekil 6. 16. Test yakıtlarının %20 yükteki krank açısına bağlı olarak net ısı salınım değişimi

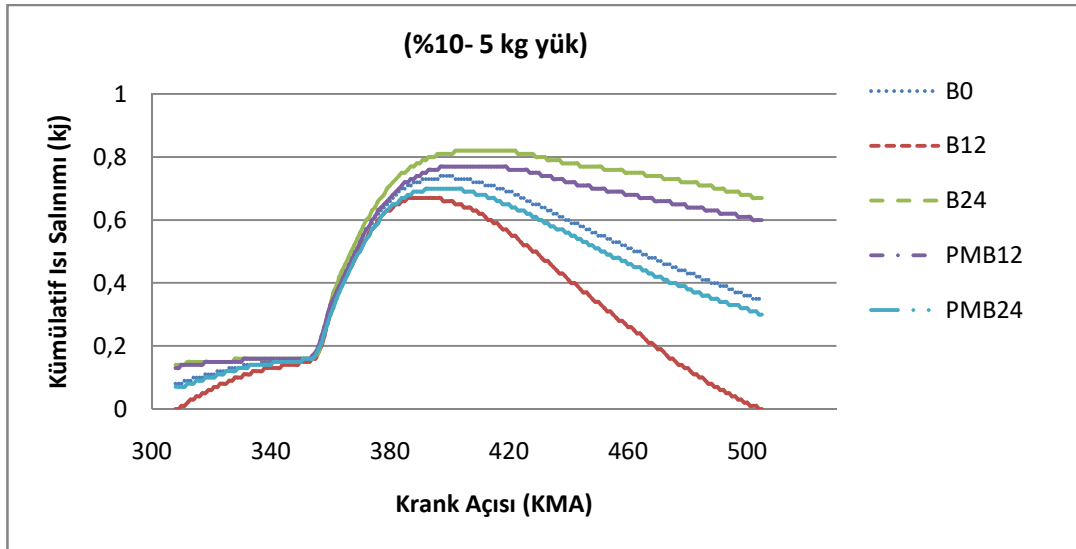
6. 5. Kümülatif Isı Salınımı Parametresi

Test yakıtlarının %0-0kg, %10-5kg, %15-7,5kg ve %20-10kg yüklerindeki kümülatif ısı salınım değişimleri Şekil 6.17, 6.18, 6.19 ve 6.20’de verilmiş olup grafiklere göre yük miktarının artmasıyla birlikte tüketilen yakıt miktarının artmasına bağlı olarak kümülatif ısı salınım değerinin de arttığı görülmektedir. Tüm test yakıtlarıyla yapılan deneylerde en yüksek kümülatif ısı salınım değeri 380°-400° arasında gözlemlenmiştir. %0-0kg yükte yapılan testlerde en yüksek kümülatif ısı salınım değerini 393 KMA’da 0,6 kJ ile PMB12 yakıtı vermişken diğer yakıtların değerleri birbirine yakın olup en düşük değer 0,5 kJ ile B12 yakıtından elde edilmiştir. %10-5kg yükte yapılan testlerde en yüksek kümülatif ısı salınım değerini 397 KMA’ da 0,81 kJ ile B24 yakıtı vermiş olup en düşük değeri de 0,67 kJ ile B12 yakıtı vermiştir. %15-7,5kg yükte yapılan testlerde en yüksek kümülatif ısı salınım değerini 396 KMA’ da 0,84 kJ ile B24 yakıtı vermiş olup en düşük değeri de 0,74 kJ ile B12 yakıtı vermiştir. %20-10kg yükte yapılan testlerde en yüksek kümülatif ısı salınım değerini 399 KMA’ da yine 0,93 kJ ile B24 yakıtı vermişken en düşük değeri de diğer yükteki testlerde de olduğu gibi 0,83 kJ ile B12 yakıtı vermiştir. Tüm yakıtlarla tüm yüklerde yapılan testler incelendiğinde en düşük kümülatif ısı salınım değeri tüm yüklerde B12 yakıtı vermiş olup en yüksek değeri de %0-0kg yük hariç B24 yakıtı vermiştir. Bu durum yakıtlar içerisindeki biyodizel karışım oranının oksijen içeriğine bağlanabilir. Katkılı PMB12 yakıtı tüm testlerde B24 yakıtından sonra

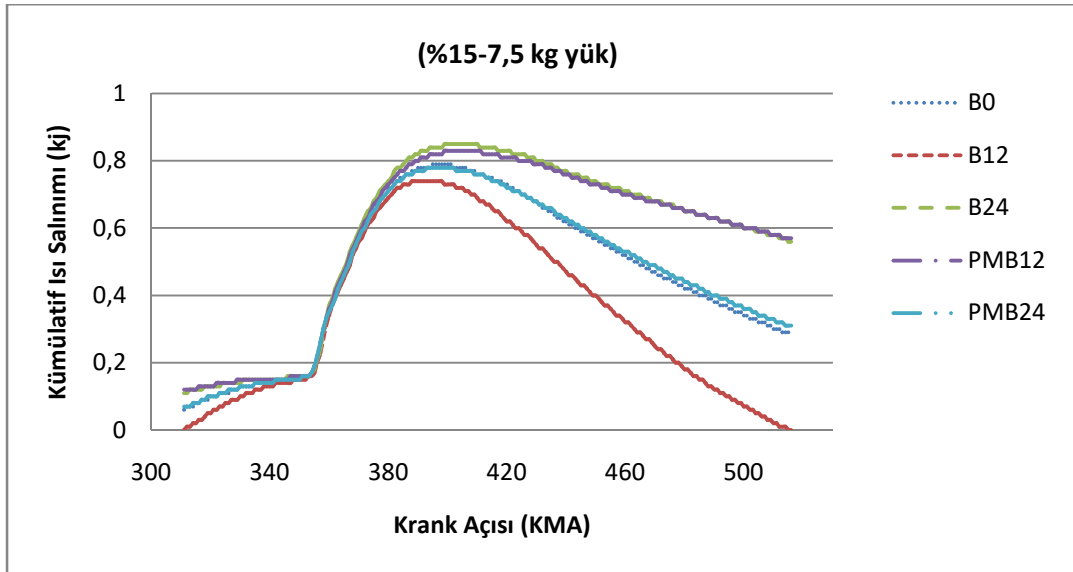
en yüksek kümülatif ısı salınım değerini vermiş olup dizel yakıtı ve diğer test yakıtlarıyla aralarında çok az farklar bulunmaktadır.



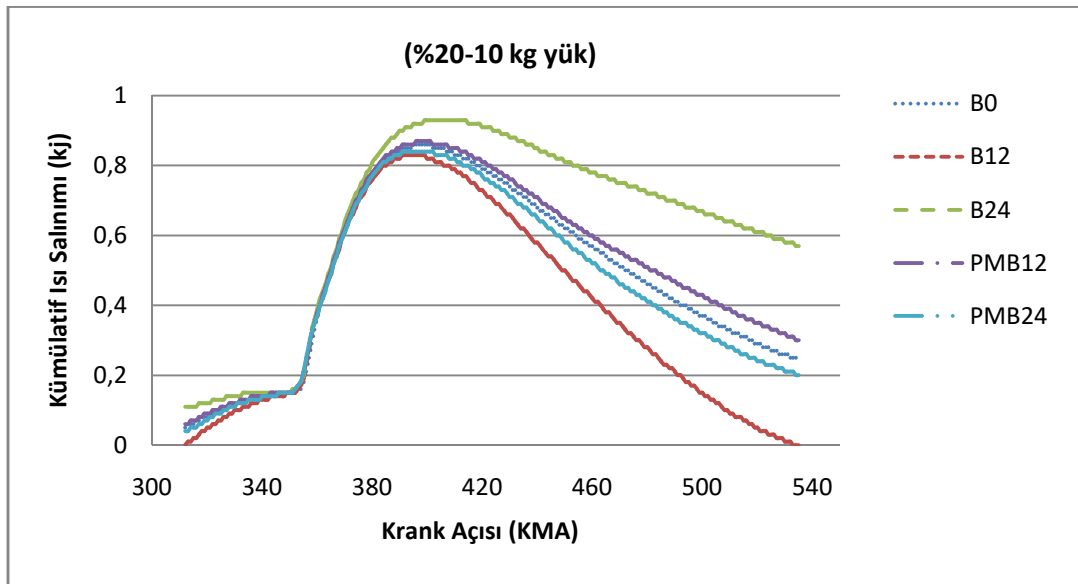
Şekil 6. 17. Test yakıtlarının %0 yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınım değişimi



Şekil 6. 18. Test yakıtlarının %10 yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınım değişimi



Şekil 6. 19. Test yakıtlarının %15 yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınım değişimi

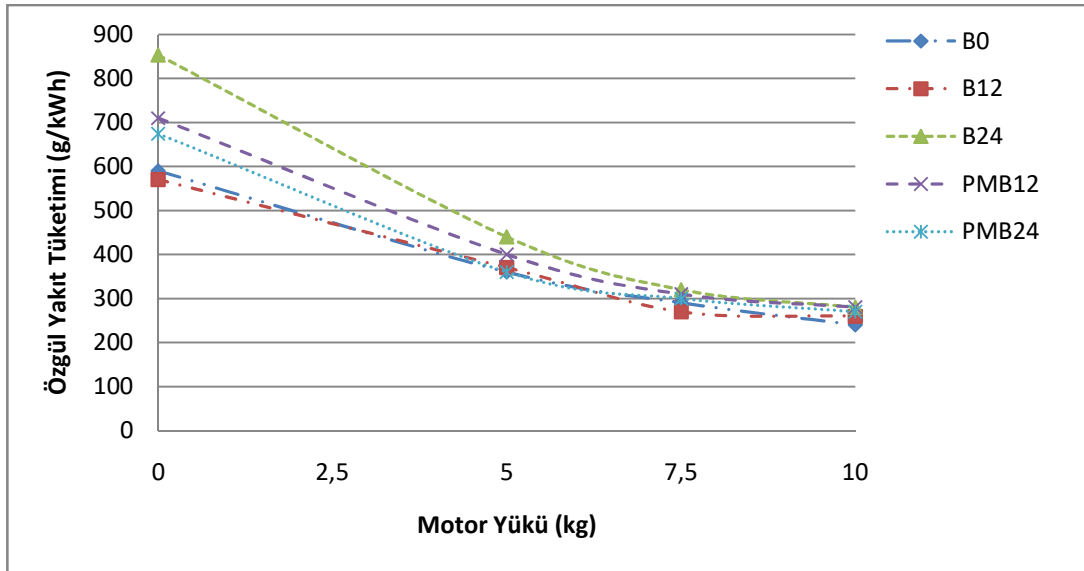


Şekil 6. 20. Test yakıtlarının %20 yükteki krank açısına bağlı olarak kümülatif ısı salınım değişimi

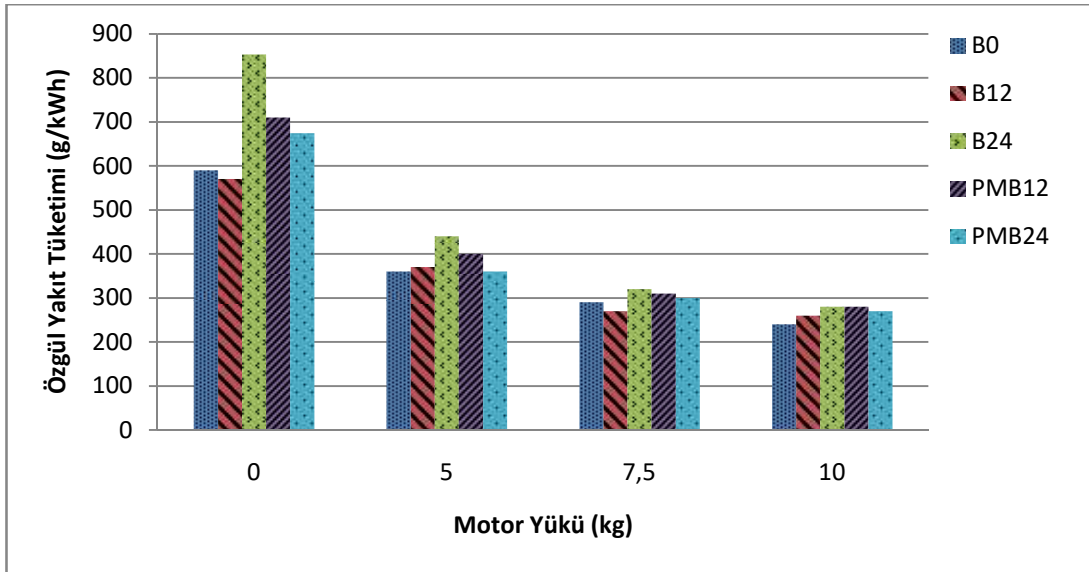
6.6. Özgül Yakıt Tüketimi Parametresi

Tüm test yakıtlarıyla sabit devirde (1500 d/dk) yük miktarı belirli oranlarda artırılarak yapılan deneyler sonucu elde edilen özgül yakıt tüketimi, değerleri daha anlaşılır olması için çizgi ve sütun grafikleri olarak Şekil 6.21 ve 6.22'de gösterilmiştir. Denklem 5.1 ve 5.2'den yararlanılarak tüm test yakıtlarının özgül yakıt tüketimi hesaplanmış olup Şekil 6.21 ve 6.22'ye göre yük miktarının artmasıyla özgül yakıt tüketiminin azaldığı ve yakıtlar arasında da çok küçük farklar olduğu görülmektedir. Motor yükünün artması daha iyi bir yanmaya ve daha az ısı kaybına neden olmakla birlikte silindir iç basıncını,

ortalama gaz sıcaklığını ve motor çıkış gücünü de artırır. Bu durum motor yükü artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin de azalmasını sağlamaktadır (Yaşar, 2016). Tüm test yakıtlarının verileri incelendiğinde %0-0kg ve %15-7,5kg yüklerinde en düşük özgül yakıt tüketim değerini B12 yakıtı vermişken diğer yüklerde B0 yakıtı vermiştir. En yüksek ÖYT %0-0kg yükte sırasıyla B24, PMB12, PMB24, B0 ve B12 yakıtları için 853 g/kW-h, 710 g/kW-h, 674 g/kW-h, 590 g/kW-h ve 570 g/kW-h olarak hesaplanmış olup B24 yakıtı dizel yakıt kullanımına göre %30,83 oranında artış göstermiştir. Motor yükü %10-5kg, %15-7,5kg ve %20-10kg değerlerine çıkarıldığında B24 yakıtının B0'a göre ÖYT artış oranı sırasıyla %18,18, %9,37 ve %14,28 olmuştur. Düşük yüklerde test yakıtların ÖYT' leri arasında oluşan fark yükün artmasıyla kısmen azalmış olup bu durum biyodizelin sahip olduğu yüksek viskozite gibi olumsuz özellik etkisinin yükün artmasına bağlı olarak azaldığını göstermektedir. Biyodizel karışımlı test yakıtlarının (B24, PMB12, PMB24) ÖYT artışının sebebi ısı değerlerinin daha düşük olmasına bağlanabilir. Motordan aynı çıkış gücünü elde etmek için ısı değeri düşük olan biyodizelin tüketim miktarı artışı literatürde de en fazla bildirilen sonuçlardandır (Yaşar, 2016). B12 yakıtı B0 yakıtına en yakın ısı değere sahip olmakla birlikte B0 yakıtından daha düşük viskoziteye sahiptir. Bu durum B12 yakıtının bazı yüklerdeki yapılan testlerde en düşük ÖYT değerine sahip olmasını açıklayabilir.



Şekil 6. 21. Test yakıtlarının motor yüküne bağlı özgül yakıt tüketimleri çizgi grafiğı

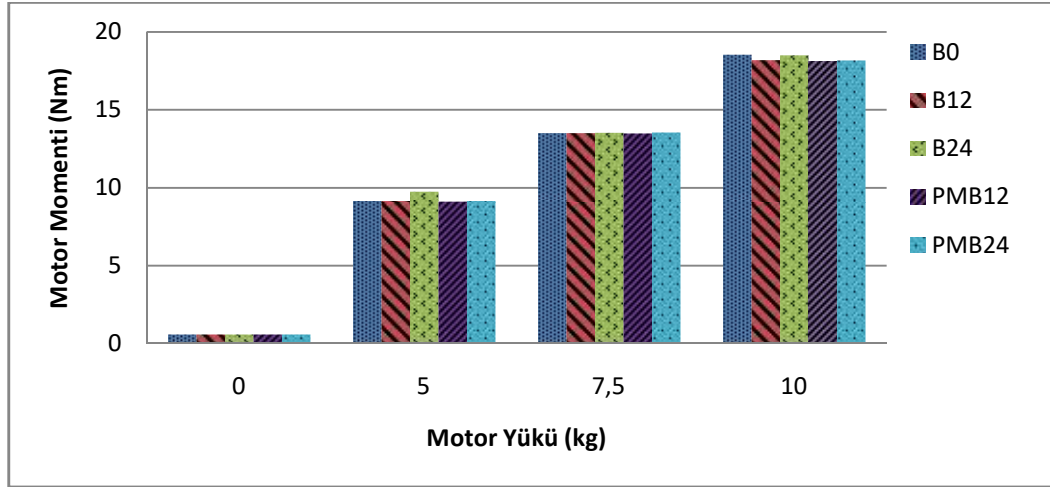


Şekil 6. 22. Test yakıtlarının motor yüküne bağı özgül yakıt tüketimleri sütun grafiğı

6. 7. Motor Momenti Parametresi

Moment, bir cismin bir eksen veya nokta üzerinde kuvvet uygulanarak döndürölmesi olarak tanımlanabilir. Motorlarda momenti belirleyen etken ortalama efektif basınç olup bu etken yanmanın bir fonksiyonu olarak değışim göstermektedir. Ortalama efektif basınç arttıkça motor momenti de artmaktadır (Gündüz, 2017). Tüm test yakıtlarıyla farklı yüklerde yapılan deneylerde elde edilen motor momenti verileri Şekil 6.23'te gösterilmiş olup tüm yükler için ölçölen sonuçların bütün yakıt türlerinde birbirine yakın değerlerde olduğı görölmektedir. Şekil üzerindeki grafik incelendiğinde %0-0kg yük için yapılan testte 0,6 Nm ile tüm yakıtların değeri yaklaşık olarak aynı ölçölmüştür. %10-5kg yük için yapılan testte en yüksek motor momentini 9,76 Nm ile B24 yakıtı vermişken en düşük moment değerini de 9,13 Nm ile PMB12 yakıtı vermiştir. %15-7,5kg yükte yapılan testte en yüksek moment değerini 13,57 Nm ile PMB24 yakıtı vermiş olup en düşük değeri de 13,49 Nm ile PMB12 yakıtı vermiştir. %20-10kg yükte ise en yüksek moment değerini 18,55 Nm ile B0 yakıtı vermişken en düşük değeri de 18,11 Nm ile PMB12 yakıtı vermiştir. Tüm test yakıtları için motor yükünün artmasına bağı olarak motor momentinin de arttığı tespit edilmiş olup motor yükte çalıştığı durumlardaki tüm yükler için en düşük moment değerini PMB12 yakıtı vermiştir. Biyodizel karışımı diğer test yakıtlarının (B12, B24 ve PMB24) ısı değerlerinin düşük, viskozite ve yoğunluklarının yüksek olmasına rağmen tüm yüklerde B0 yakıtına yakın veya daha iyi değerlerde moment değeri ürettikleri görölmektedir. Bu

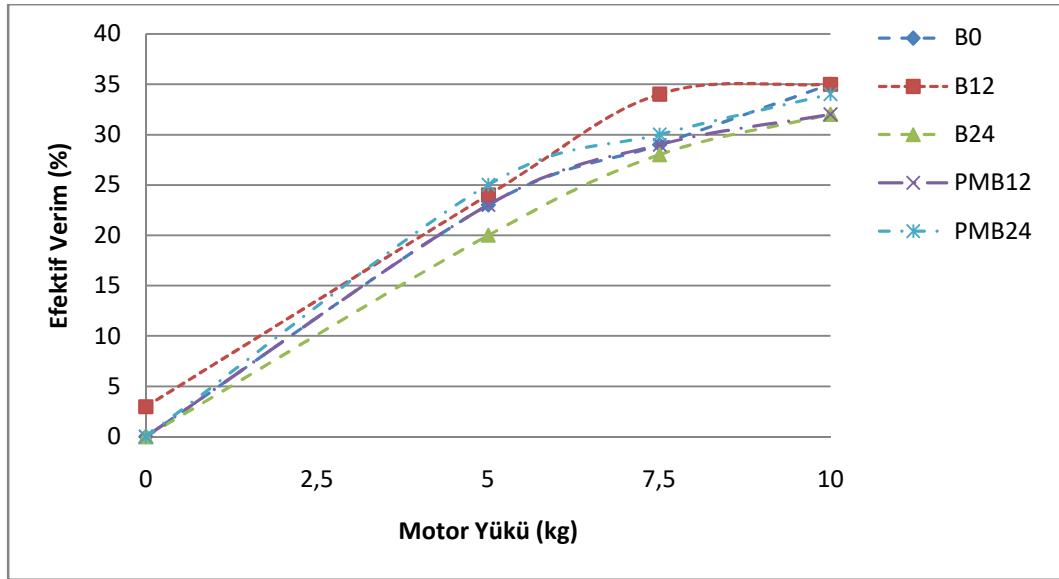
durum, hazırlanan karışım oranlarının ve test yakıtlarına eklenen katkı maddesinin yanma verilerini iyileştirmesiyle açıklanabilir.



Şekil 6. 23. Test yakıtlarının değişen yük durumlarına göre motor momentlerinin değişimi

6.8. Efektif Verim Parametresi

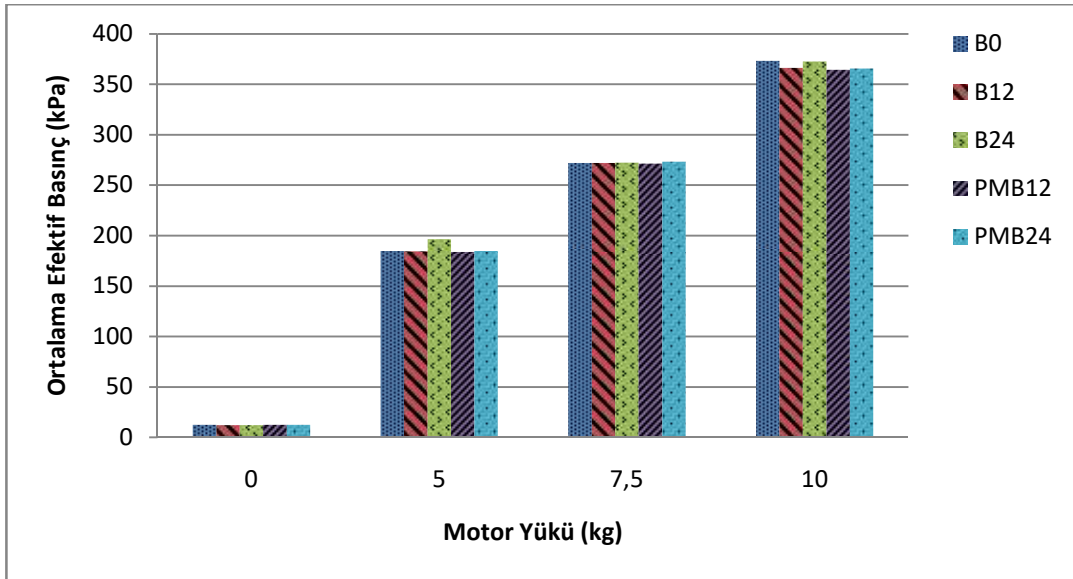
Motor çıkış milinden alınan işin verilen toplam enerji miktarına oranı efektif verim olarak tanımlanmaktadır. Motor yükü arttıkça silindirlere gönderilen yakıt miktarı artar ve yanmanın iyileşmesiyle verimde de artma meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra yüksek yüklerde düşük özgül yakıt tüketimine bağlı olarak efektif verimde de artış olmaktadır. Tüm test yakıtlarıyla farklı yüklerde (%0-0kg, %10-5kg, %15-7,5kg, ve %20-10kg) yapılan deneylerde elde edilen efektif verim verileri Şekil 6.24'te gösterilmektedir. Veriler incelendiğinde tüm yakıt türlerinde motor yükünün artışına bağlı olarak efektif verim değerlerinin de arttığı görülmekte olup bu sonuçlar literatüre göre benzer değerlerdedir. En yüksek efektif verim değerini %20-10kg yükte %35 ile B0 ve B12 yakıtları vermişken en düşük değeri %10-5kg yükte %20 ile B24 yakıt türü vermiştir. %0-0kg yük için yapılan testte en yüksek efektif verim değerini %3 ile B12 yakıtı vermiş olup %10- 5kg yük için en yüksek efektif verim değerini %25 ile PMB24 yakıtı vermiştir. %15-7,5kg yükte yapılan testte en yüksek değeri %34 ile B12 yakıtı vermiş olup maksimum test yük olan %20-10kg yükte en yüksek efektif verim değerini %35 ile B0 ve B12 yakıtları vermiştir. B0 yakıtının viskozitesinin düşük, ısıl değerinin de yüksek olması artan yüklerde efektif verimin diğer yakıtlara göre daha yüksek olmasını sağlamıştır.



Şekil 6. 24. Test yakıtları için farklı yük durumlarda meydana gelen efektif verim değışimleri

6.9. Ortalama Efektif Basınç Parametresi

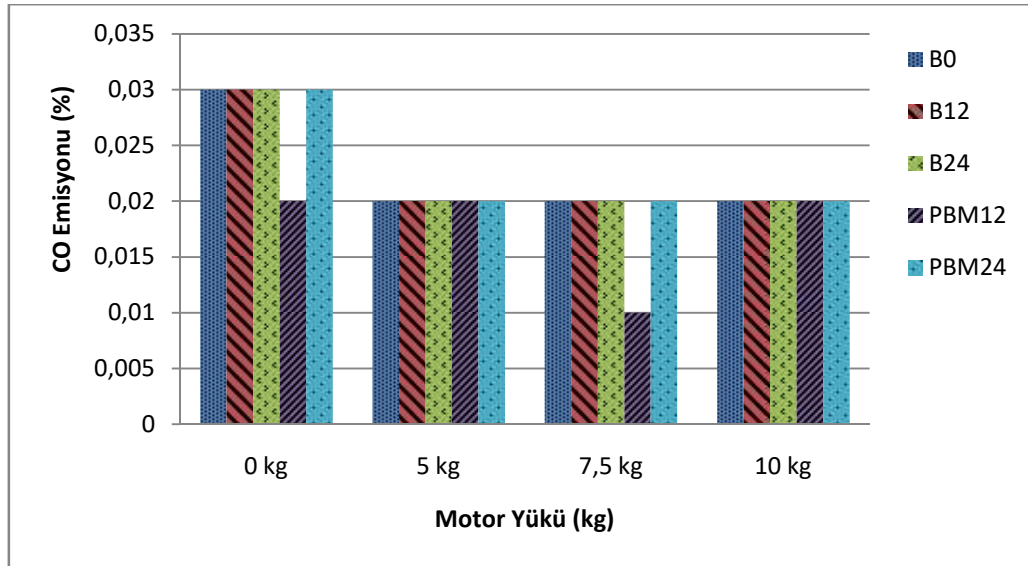
Pratikte motor çevrimine eşit bir gücü elde etmek için kurs (strok) boyunca piston yüzeyine etki eden sabit basınca ortalama efektif basınç denmekte olup motor torkunda oluşan değışime göre artan ya da azalan bir değerdır (İçingür ve Yamık, 2003). Tüm test yakıtlarıyla farklı yüklerde (%0-0kg, %10-5kg, %15-7,5kg, ve %20-10kg) yapılan deneylerde elde edilen ortalama efektif basınç verileri Şekil 6.25'te gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde motor yükünün artmasıyla beraber tüm test yakıtları için ortalama efektif basınç değeri de arttığı görülmektedir. %0-0kg yükteki en yüksek ortalama efektif basın değeri 12,19 kPa PMB24 yakıtı verirken %10-5kg yükte yapılan testte en yüksek değeri 196,29 kPa ile B24 yakıtı vermiştir. % 15-7,5kg yükte yapılan testte en yüksek değeri 273,04 kPa ile PMB24 yakıtı vermiş olup %20-10kg yükte yapılan testte en yüksek değeri 373,05 kPa ile B0 yakıtı vermiştir. Tüm veriler incelendiğinde tüm yükler için test yakıtlarının değeri birbirine yakın seyretmiş olup düşük yüklerde biyodizel karışımli yakıtların basınç değeri daha yüksek ölçülmüştür. Deney için maksimum yük olan 10kg'lık testte B0 yakıtı ısıl değeri ve daha iyi yanma parametrelerine sahip olmasından dolayı ortalama efektif basınç değeri daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 6. 25. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen ortalama efektif basınç değişimleri

6.10. CO Emisyon Parametresi

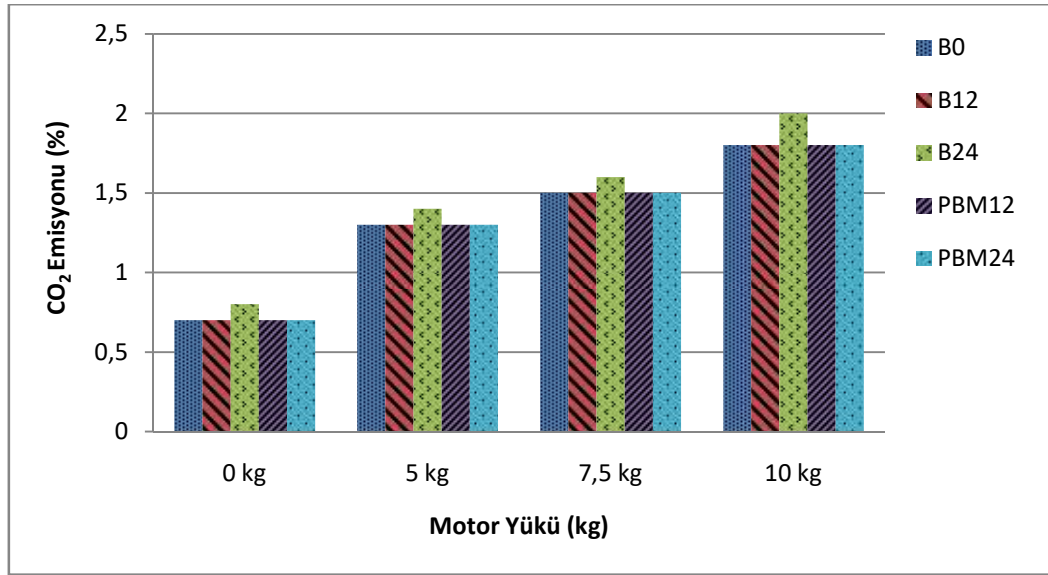
Hava yakıt oranı CO oluşumunda önemli bir etkiye sahip olmakla birlikte CO₂ değeri de buna bağlı olarak değişmektedir. Dizel motorlar fakir karışımlı çalıştıklarından düşük CO üretirler ancak yanma odasında yetersiz oksijen olması CO üretimi artırmaktadır. Hava yakıt oranı düşükse yakıt yanma için gerekli oksijeni bulamadığından CO olarak kalacaktır. Hava yakıt oranı yüksek ise oksijen miktarının yeterli olmasıyla yakıttaki karbon CO₂'ye dönüşecektir (Eliçin, 2011). Bu bağlamda hava yakıt oranı hacimsel CO oluşumunda doğrudan bir etkiye sahip olmaktadır. Tüm test yakıtlarıyla farklı yüklerde (%0-0kg, %10-5kg, %15-7,5kg, ve %20-10kg) yapılan deneylerde elde edilen CO emisyon değişimleri Şekil 6.26'da gösterilmektedir. Tüm veriler incelendiğinde tüm yakıt türlerinde motor yükü artmasıyla CO üretiminin düştüğü görülmekte olup yakıt türleri arasında çok düşük farklılıklar olduğu ölçülmektedir. %0-0kg ve %15- 7,5kg yüklerinde en düşük CO değerini sırasıyla % 0,02 ve % 0,01 ile PMB12 yakıtı vermiş olup diğer yakıtların değerleri aynıdır. %10- 5 kg ve % 20- 10 kg yüklerindeki testlerde tüm yakıt türlerinin CO üretim değerleri eşit çıkmıştır.



Şekil 6. 26. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen CO emisyon değişimleri

6.11. CO₂ Emisyon Parametresi

Yanma odasına alınan oksijenin parçalanarak CO ile reaksiyona girmesi yanma odası sıcaklığına bağlı olup bunun sonucunda CO₂ meydana gelmektedir. Sıcaklık ve basınç yükselmesi sonucunda CO oluşumu artmakla beraber hava yakıt oranının kontrol edilmesiyle CO emisyonu azaltılabilir ve buna bağlı olarak CO₂ oluşumu da yükselebilmektedir. Dizel motorlar genelde fakir karışımla çalışmakta olup yanma sonucunda CO₂ oluşumu tamamlanmış olur (Eliçin, 2011). Silindire alınan karışımın türbülanslı yanması ve iyi karışması tüm alev bölgelerindeki CO'lerin CO₂'lere dönüşmesini sağlamaktadır (Aydın, 2017). Tüm test yakıtlarıyla farklı yüklerde (%0-0kg, %10-5kg, %15-7,5kg, ve %20-10kg) yapılan deneylerde elde edilen CO₂ emisyon değişimleri Şekil 6.27'de gösterilmektedir. Tüm veriler incelendiğinde tüm yakıt türlerinde motor yükü artmasıyla CO₂ üretiminin de arttığı görülmekte olup yakıt türleri arasında çok düşük farklılıklar olduğu ölçülmektedir. %0-0kg, %10-5kg, %15-7,5kg, ve %20-10kg yüklerde yapılan testlerde sırasıyla %0,8, %1,4, %1,6 ve %2 değerleriyle B24 yakıtının diğer yakıtlardan daha fazla CO₂ ürettiği görülmüş olup diğer yakıtların CO₂ üretimlerinin eşit çıkmıştır.

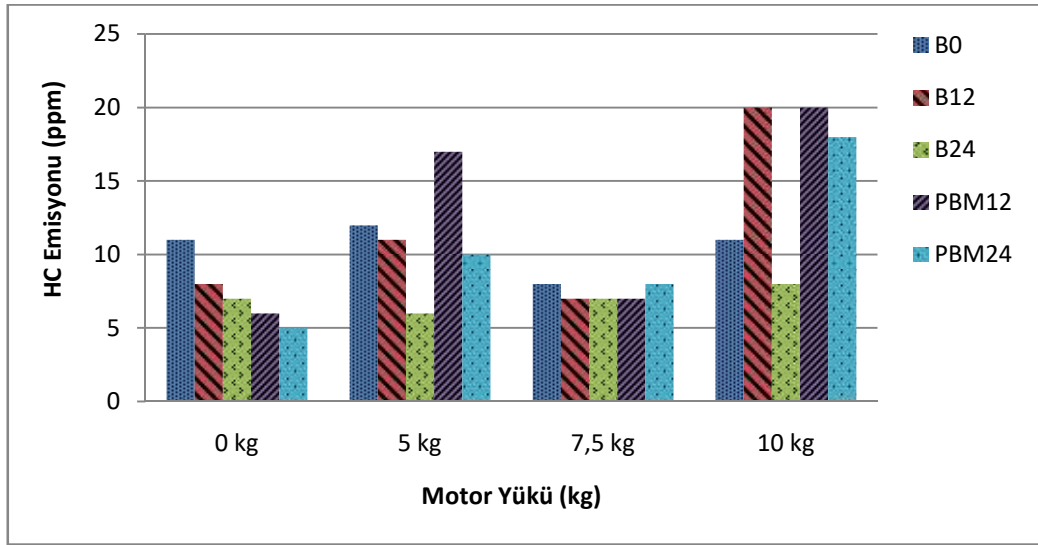


Şekil 6. 27. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen CO2 emisyon değişimleri

6.12. HC Emisyon Parametresi

HC emisyonları yanma odasında yetersiz oksijen bulunması ve düşük ortam sıcaklığı ile yakıtın tam olarak yanamaması sonucu ortaya çıkmaktadır. Zengin karışımlarda HC emisyonları artarken fakir karışımlarda yanma değerlerinin kötüleşmesi ve eksik yanmadan dolayı da artış meydana gelmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda genelde motor yükü artışıyla silindir iç sıcaklığı artışı, yakıt tüketimi artışı ve hava miktarının sabit kalmasına bağlı olarak HC emisyonlarının da arttığı görülmektedir (Yaşar, 2016). Tüm test yakıtlarıyla farklı yüklerde (%0-0kg, %10-5kg, %15-7,5kg, ve %20-10kg) yapılan deneylerde elde edilen HC emisyon değişimleri Şekil 6.28’de gösterilmektedir. Tüm yüklerde de tüm yakıtlar için yapılan testlerde maksimum HC emisyonu %20-10kg yükte 20 ppm ile B12 ve PBM12 yakıtları vermiş olup en düşük HC emisyonunu %0-0kg yükte 5 ppm ile PBM24 yakıtı vermiştir. Tüm test yakıt türleri için farklı yüklerde yapıla testlerde motor yükü artışına bağlı olarak HC emisyonları değişiklik göstermektedir. Yakıtlar arasındaki HC üretim farkının en az %15-7,5kg yükte olduğu görülmekteyken en fazla fark ise %20-10kg yükte gerçekleşmiştir. Test verileri incelendiğinde %0-0 kg ve %15-7,5kg’lık yüklerde B12, B24, PBM12 ve PBM24 yakıtlarının B0 yakıtından daha az HC değeri verdiği görülmekte olup %15-7,5kg ve %20-10kg’lık yüklerde B12, PBM12 ve PBM24 yakıt türlerinin daha fazla HC değeri verdiği görülmektedir. Ancak tüm yükler için B24 yakıtı en düşük HC emisyon değerini vermiştir. Bu durum biyodizel karışimli yakıtların oksijen içeriğinin fazla

olması, setan sayısı ve ısıl değer verilerinin dizel yakıtına yakın olmasıyla birlikte uygun karışım oranı gibi faktörlerin bir araya gelmesiyle açıklanabilir.

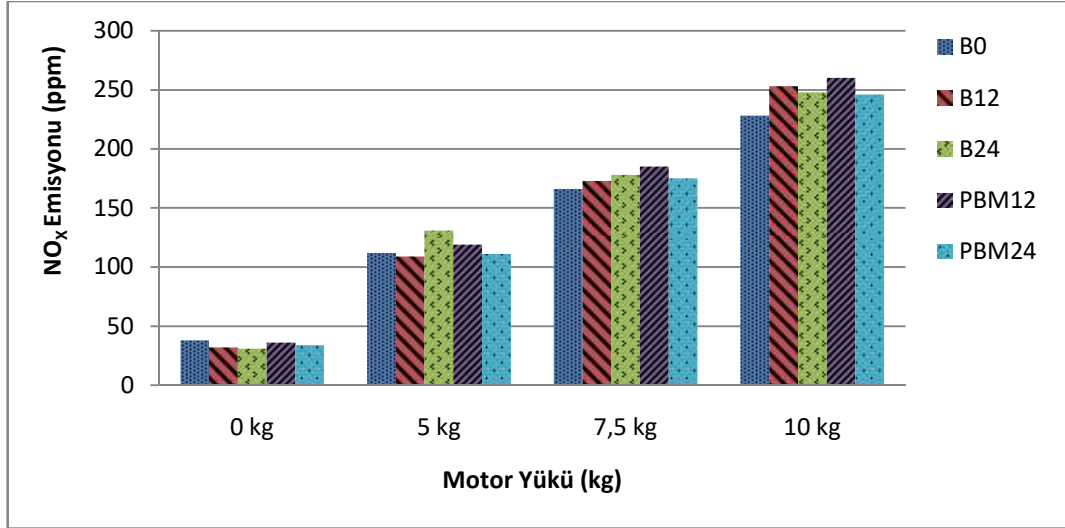


Şekil 6. 28. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen HC emisyon değişimleri

6.13. NO_x Emisyon Parametresi

NO_x emisyonu oluşumunda yanma odası sıcaklığı ve hava-yakıt oranı gibi etkenler önem arz etmektedir. NO_x yüksek sıcaklıklarda meydana gelmekte olup yanma odası sıcaklığını 1800 °C' lere çıkmasını engellenerek ya da yüksek sıcaklıktaki geçen zaman kısaltılarak NO_x oluşumu azaltılabilmektedir. NO_x oluşumunu etkileyen bir diğer faktör ise hava fazlalık katsayısı olup bu değer artması reaksiyona giren gaz miktarını azaltacağı için NO_x emisyonunda da azalma oluşacaktır (Eliçin, 2011). Tüm test yakıtlarıyla farklı yüklerde (%0-0kg, %10-5kg, %15-7,5kg, ve %20-10kg) yapılan deneylerde elde edilen NO_x emisyon değişimleri Şekil 6.29'da gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde motor yükünün artmasıyla ortalama gaz sıcaklığı da artmakta olup buna bağlı olarak NO_x değerinin de arttığı görülmektedir. Maksimum NO_x emisyonu tüm yakıtlar için %20-10kg yükte, en düşük %0-0kg yük şartlarında ölçülmüştür. %0-0kg yükte yapılan test verilerine göre en yüksek NO_x emisyonu B0, PMB12, PMB24, B12 ve B24 yakıtları için sırasıyla 38 ppm, 36 ppm, 34 ppm, 32 ppm ve 31 ppm olarak ölçülmüş olup %10-5kg yük için en yüksek NO_x emisyonu ise B24, PMB12, B0, PMB24 ve B12 yakıtları için sırasıyla 131 ppm, 119 ppm, 112 ppm, 111 ppm ve 109 ppm olduğu görülmektedir. %15-7,5kg yükte yapılan testte en yüksek NO_x emisyonu PMB12, B24, PMB24, B12 ve B0 yakıtları için sırasıyla 185 ppm, 178 ppm, 175 ppm, 173 ppm ve 166 ppm olarak ölçülmüştür. %20- 10 kg yük için yapılan testte

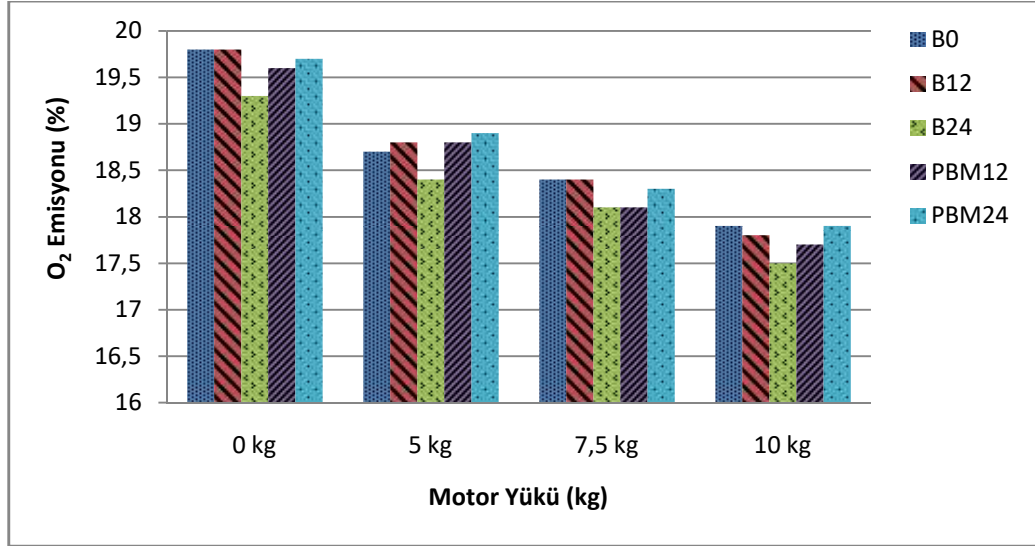
en yüksek NO_x emisyonu PMB12, B12, B24, PMB24 ve B0 yakıtları için sırasıyla 260 ppm, 253 ppm, 248 ppm, 246 ppm ve 228 ppm olarak ölçülmüş olup motor yükünün artmasıyla biyodizel karışımlı yakıt türlerinde NO_x oluşumu artmaktadır. Bu durum yüksek yük durumlarında yanma odası sıcaklıklarının artmasına ve kontrolsüz yanma safhasının uzamasına bağlanabilir.



Şekil 6. 29. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen NOX emisyon değişimleri

6.14. O_2 Emisyon Parametresi

Tüm test yakıtlarıyla farklı yüklerde (%0-0kg, %10-5kg, %15-7,5kg, ve %20-10kg) yapılan deneylerde elde edilen O_2 emisyon değişimleri Şekil 6.30'da gösterilmektedir. Tüm test yakıtlarıyla farklı yüklerde yapılan deneylerde veriler incelendiğinde motor yükünün artmasıyla emisyon değerlerinin azaldığı görülmekte olup en yüksek O_2 değeri %0-0kg yükte %19,8 ile B0 ve B12 yakıtları verirken en düşük O_2 değerini %20-10kg yükte %17,5 ile B24 yakıtı vermiştir. Tüm yükler için yakıtlar arasında O_2 değeri arasında küçük farklar olup B24 yakıt türü bütün yüklerde en düşük O_2 emisyon değerini vermiştir. Bu durum, B24 yakıtın yanma parametrelerinin daha iyi olmasına bağlanabilir. Yanma sonucunda hava içerisindeki O_2 'nin tam yanamaması ile O_2 emisyonu artmakta olup yanma verilerinin iyileştirilmesiyle O_2 emisyonunu azaltmak mümkün olmaktadır.



Şekil 6. 30. Test yakıtları için farklı yük durumlarında meydana gelen O₂ emisyon değişimleri

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnsanlar yaşamları boyunca hareket etme ihtiyacı duymuş ve gelişen teknolojiye paralel bu ihtiyacı giderecek taşıtlar doğmuştur. Bu taşıtların hareketi için gereken enerji kaynaklarının çoğu günümüzde fosil kökenli yakıtlar olup bu yakıtların yenilenebilir olmaması insanları farklı yakıt arayışlarına yönlendirmiştir. Hibrid teknolojisi ve elektrikli araçlar ile ilgili çalışmalar halihazırda devam etse de yaygınlaşması da elektrik enerji kaynağının üretimine bağlı kalmaktadır. Bu bağlamda biyoyakıtlarla ilgili çalışmalar hız kazanmış olup yeni biyoyakıt formasyonları ve karışımları oluşturulmuştur. Biyoyakıtlarla ilgili yapılan çalışmalar ve deneyler bu yakıtların yakın gelecekte alternatif yakıt olup olamayacağına dair ışık tutacaktır. Bu çalışmada, atık bitkisel yağlardan biyodizel yakıtı yapılmış ve referans yakıt olan dizel yakıtı (B0) ile belli oranlarda karıştırılmış olup bu karışımlardan iki yakıt türüne 100 ml' ye 1,51 mg olacak şekilde $KMnO_4$ katkısı eklenerek B12 (%12 bitkisel biyodizel ve %88 dizel yakıtı), B24 (%24 bitkisel biyodizel ve %76 dizel yakıtı), PMB12 (%12 bitkisel biyodizel, %88 dizel yakıtı ve $KMnO_4$ katkısı) ve PMB24 (%24 bitkisel biyodizel, %76 dizel yakıtı ve $KMnO_4$ katkısı) farklı yakıt türleri hazırlanmıştır. Hazırlanan yakıtların fiziksel ve kimyasal özellikleri incelendiğinde, atık bitkisel biyodizel katkılı yakıt türlerinin dizel yakıtına göre parlama noktalarının ve yoğunluklarının daha fazla olduğu buna karşın ısı değerlerinin ve setan indekslerinin de daha az olduğu görülmüştür. Sıkıştırma oranı değiştirilebilen sabit devirli araştırma motoru ile bu test yakıtlarının yanma, performans ve emisyon değerlerinden çıkarılabilecek sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- ✓ Biyodizel karışimli yakıtlar ve dizel yakıtı deney motorunda herhangi bir modifikasyon yapılmadan test edilmiştir.
- ✓ B0, B12, B24, PMB12 ve PMB24 yakıtlarının silindir gaz basınçları karşılaştırıldığında %0-0kg yük için dizel yakıtın katkılı yakıtlardan çok az farkla yüksek çıktığı, %10-5kg, %15-7,5kg ve %20-10kg yükte yapılan testlerde de katkılı B24 yakıttan 371 KMA' da maksimum 69,19 bar olarak elde edilmiştir. Tüm test yakıtlarında motor yükünün artmasına bağlı olarak silindir gaz basıncının arttığı gözlemlenmiş olup maksimum yük olan %20-10kg yük için yapılan testte silindir gaz basıncının karışimli biyodizel yakıt B24'ün referans dizel yakıtı (B0) göre %1,48 oranında daha fazla olduğu görülmüştür.

Karışımli yakıtların ısııl değęerlerinin ve setan indeksinin dizel yakıtına göre daha az olmasına rağmen silindir gaz basınç değęerleri dizel yakıttan daha yüksek olduğu görölmüş olup bu durum karışımli yakıtların parlama noktasının daha yüksek olması ve daha fazla oksijen içeriği ile açıklanabilir.

- ✓ Tüm test yakıtların ortalama gaz sıcaklıklarına bakıldığında, tüm yükler için yapılan testlerde biyodizel karışımli yakıtların dizel yakıtına göre düşük bir oranla daha fazla olduğu görölmüştür. Literatürün aksine ısııl değęeri düşük olan biyodizel karışımli ve K_2MnO_4 katkıli yakıtlar dizel yakıtına göre daha fazla ortalama gaz sıcaklığı vermiştir. Bu durum hazırlanan yakıt karışım oranları ve eklenen katkı türünün yanma parametrelerini iyileştirmesiyle açıklanabilir.
- ✓ Tüm test yakıtlarının silindir basınç artış oranına bakıldığında yüksüz yani %0-0kg yükte yapılan testte en yüksek basınç artış oranını 361 KMA'da 3,06 bar/KMA ile B24 yakıtı vermiş olup ardından %0,74 daha az fark ile B0 yakıtı gelmiştir. %10-5kg yükte 359 KMA açısında en yüksek basınç artış oranı 4,6 bar/KMA ile yine B24 yakıtı vermiş olup ardından 4,29 bar/KMA ile dizel yakıtı (B0) gelmiştir. %15-7,5kg yükteki testte 358 KMA'da dizel yakıtı 4,75 bar/KMA basınç artış oranına sahip olurken ardından %0,84 daha az farkla B24 yakıtı 4,71 bar/KMA basınç artış oranı üretmiştir. %20-10kg yük için yapılan testte en yüksek basınç artış oranını 5,04 bar/KMA ile B24 yakıtı vermiştir. Atık bitkisel biyodizel katkıli yakıt türlerinin dizel yakıtından daha fazla basınç artış oranına sahip olması parlama noktalarının daha yüksek olması sonucu daha kontrolsüz yanma ile açıklanabilir.
- ✓ Tüm test yakıtlarıyla yapılan deneylerde net ısı salınımı verileri incelendiğinde en yüksek net ısı salınımı 358° ve 361°'de verdiği tespit edilmiş olup motor yükünün artmasıyla tüm yakıtlar için net ısı salınımı değęerinin de arttığı görölmüştür. %0-0kg, %10-5kg ve %15-7,5kg yük için yapılan testlerde en yüksek net ısı salınım değęerini B24 yakıtı vermiş olup bu yakıtı çok az farkla B0 yakıtı takip etmektedir. Maksimum deney yükü olan %20-10kg'lık testte en yüksek net ısı salınımı 43,26 J/KMA B0 yakıtı vermiş olup ardından 40,52 J/KMA ile B24 yakıtı gelmiştir. Verilere göre artan motor yüklerinde dizel yakıtı daha fazla net ısı salınımı vermiş olup bu durum dizel yakıtının ısııl değęeri ve setan indeksinin diğer yakıtlardan daha yüksek olmasına bağlanmakta olup düşük motor yüklerinde biyodizel katkıli B24 yakıtı diğer test yakıtlarından daha yüksek net ısı salınımı vermiştir. Bu durum B24 yakıtının yanma

parametrelerinin ve kimyasal özelliklerinin düşük motor yükleri için uygun olmasıyla açıklanabilir.

- ✓ Tüm test yakıtlarıyla yapılan deneylerde kümülatif ısı salınım verileri incelendiğinde en yüksek kümülatif ısı salınımı 380° - 400° arasında gerçekleşmekte olup motor yükünün artmasıyla tüketilen yakıt miktarı da arttığından kümülatif ısı salınımı da artmaktadır. En yüksek kümülatif ısı salınım değerini %20-10 kg yükte yapılan testte 399 KMA'da 0,93 kJ ile B24 yakıtı vermişken en düşük değeri de diğer yükteki testlerde de olduğu gibi 0,83 kJ ile B12 yakıtı vermiştir. Tüm yakıtlarla tüm yüklerde yapılan testler incelendiğinde en düşük kümülatif ısı salınım değeri tüm yüklerde B12 yakıtı vermiş olup en yüksek değeri de %0-0kg yük hariç B24 yakıtı vermiştir. Bu durum yakıtlar içerisindeki biyodizel karışım oranının oksijen içeriğine bağlanabilir. Katkılı PMB12 yakıtı tüm testlerde B24 yakıtından sonra en yüksek kümülatif ısı salınım değerini vermiş olup dizel yakıtı ve diğer test yakıtlarıyla aralarında çok az farklar bulunmaktadır.
- ✓ B0, B12, B24, PMB12 ve PMB24 yakıtlar için özgül yakıt tüketimine bakıldığında %0-0kg yükte en düşük özgül yakıt tüketimini B12 yakıtı vermiş olup ardından %3,38 farkla B0 yakıtı gelmiştir. Aynı yük için potasyum permanganat katkıli yakıt türlerine bakıldığında ise PMB12 yakıtı B12 yakıtına göre %19,71 daha fazla özgül yakıt tüketimi vermiş olup B24 yakıtı da PMB24 yakıtından %20,98 oranında daha fazla özgül yakıt tüketimine sahip olduğu görülmüştür. %10-5kg yük için yapılan testte en düşük özgül yakıt tüketimini 360 g/kWh ile B0 ve PMB24 yakıtları vermiştir. Aynı yük için KMnO_4 katkıli yakıtların özgül yakıt değerleri incelendiğinde PMB12 yakıtı B12 yakıtına göre %7,5 daha fazla özgül yakıt tüketimine sahipken B24 yakıtı PMB24 yakıtına göre %18,18 oranında fazla olduğu görülmüştür. %15-7,5kg yükteki özgül yakıt değerleri karşılaştırıldığında B24 yakıtının özgül yakıt tüketimi B0 yakıtından %9,67 oranında daha fazladır. Aynı yükteki KMnO_4 katkıli yakıtların özgül yakıt değerleri incelendiğinde PMB12 yakıtı B12 yakıtından %12,9 daha fazla özgül yakıt tüketimi vermiş olup B24 yakıtı PMB24 yakıtına göre %6,25 daha fazla özgül yakıt tüketimine sahiptir. %20-10kg yükteki özgül yakıt değerleri karşılaştırıldığında en düşük tüketim değerini 240 g/kWh ile B0 yakıtı vermiş olup ardından %7,69 daha fazla oranla B12 yakıtı gelmektedir. Bu yükteki KMnO_4 katkıli yakıtların özgül yakıt değerleri incelendiğinde PMB12 yakıtı

B12 yakıtına göre %7,14 oranında daha fazla özgül yakıt tüketim değerine sahipken B24 yakıtı PMB24 %3,57 oranında daha fazla tüketim değeri vermiştir. Tüm test yakıtları için motor yükü arttıkça özgül yakıt tüketimi yanma verilerinin iyileşmesine bağlı olarak azalmıştır. Düşük yüklerde test yakıtların ÖYT' leri arasında oluşan fark yükün artmasıyla kısmen azalmış olup bu durum biyodizelin sahip olduğu yüksek viskozite gibi olumsuz özellik etkisinin yükün artmasına bağlı olarak azaldığını göstermektedir. Biyodizel karışimli test yakıtların (B24, PMB12, PMB24) ÖYT artışının sebebi ısı değerlerinin daha düşük olmasına bağlanabilir. Motordan aynı çıkış gücünü elde etmek için ısı değeri düşük olan biyodizelin tüketim miktarı artışı literatürde de en fazla bildirilen sonuçlardandır(Yaşar, 2016). B12 yakıtı B0 yakıtına yakın ısı değere sahip olmakla birlikte B0 yakıtından daha düşük viskoziteye sahiptir. Bu durum B12 yakıtının bazı yüklerdeki yapılan testlerde en düşük ÖYT değerine sahip olmasını açıklayabilir. PMB24 (KMnO_4)katkılı yakıtın tüm yüklerdeki özgül yakıt tüketiminin diğer katkı yakıt olan PMB12 yakıtından daha düşük çıkması PMB24 yakıtının ısı değerinin daha yüksek olmasına bağlanabilir.

- ✓ B0, B12, B24, PMB12 ve PMB24 yakıtlar için motor momentine bakıldığında %0-0 kg yükteki motor momenti hemen hemen tüm yakıt türlerinde eşit olarak 0,6 Nm olarak ölçülmüştür. %10-5kg yük için yapılan testte en yüksek motor momenti 9,76 Nm ile B24 yakıtı vermiş olup %15-7,5kg yükteki testte ise en yüksek motor momentini 9.76 Nm ile B24 yakıtı vermiştir. %20-10kg yükteki testte en yüksek motor momentini 18,55 Nm ile B0 yakıtı vermiş olup ardından çok az farkla 18,52 Nm ile B24 yakıtı gelmiştir. Tüm test yakıtları için motor yükünün artmasına bağlı olarak motor momentinin de arttığı tespit edilmiş olup motor yükte çalıştığı durumlardaki tüm yükler için en düşük moment değerini PMB12 yakıtı vermiştir. Biyodizel karışimli diğer test yakıtlarının (B12, B24 ve PMB24) ısı değerlerinin düşük, viskozite ve yoğunluklarının yüksek olmasına rağmen tüm yüklerde B0 yakıtına yakın veya daha iyi değerlerde moment değeri ürettikleri görülmektedir. Bu durum, hazırlanan karışım oranlarının ve test yakıtlarına eklenen katkı maddesinin yanma verilerini iyileştirmesiyle açıklanabilir.
- ✓ Tüm test yakıtlarının efektif verim verileri incelendiğinde; %0-0kg yük için en yüksek verim % 3 ile B12 yakıtından alınırken %10-5kg yükte ise en yüksek efektif verim %25 ile PMB24 yakıtından elde edilmiştir. %15-7,5kg yükteki

testte en yüksek efektif verim %34 ile B12 yakıtından alınmış olup maksimum deney yükü olan %20-10kg'lık testte de en yüksek verim %35 ile B0 ve B12 yakıtlarından elde edilmiştir. Tüm test yakıtları için yapılan deneylerde motor yükünün artmasıyla silindir gaz basıncı ve ortalama gaz sıcaklığının artmasına da bağlı olarak efektif verim artmıştır. Verilere göre tüm yüklerdeki testlerde B12 atık biyodizel katkılı yakıtın efektif verim değerinin referans dizel yakıtına ve diğer test yakıtlarına göre çok az farkla yüksek çıktığı görülmüştür. Bu durum B12 yakıtının setan indeksinin diğer katkılı yakıtlardan daha yüksek olmasına ve viskozitesinin diğer yakıtlardan daha az olması sonucu yanma parametrelerinin iyileşmesine bağlanabilir. KMnO_4 katkılı yakıtlardan PMB24 yakıtının efektif verim verileri B12 ve B0 yakıtlarına yakın değerlerde seyretmiş olup bu durum, yakıtta kullanılan potasyum permanganat katkısının yanma parametrelerindeki iyileştirici etkisiyle açıklanabilir.

- ✓ Tüm test yakıtlarının ortalama efektif basınç verileri incelendiğinde; tüm yükler için ortalama efektif basınç değerlerinin birbirine çok yakın seyrettiği gözlemlenmiştir. %0-0kg yük için yapılan testte en yüksek ortalama efektif basınç 12,19 kPa ile PMB24 yakıtından alınırken %10-5kg yükte ise en yüksek basınç 196,29 kPa ile B24 yakıtından elde edilmiştir. %15-7,5kg yükteki testte ortalama efektif basınç 273,04 kPa ile PMB24 yakıtından alınmış olup yük %20-10kg'a çıkarıldığında da en yüksek ortalama efektif basınç 373,05 kPa ile B0 yakıtından elde edilmiştir. Atık bitkisel biyodizel katkılı B24 yakıtı ile KMnO_4 katkılı PMB24 yakıtın ortalama efektif basınç değerleri artan yüklerde referans dizel yakıtından (B0) daha fazla çıkmıştır. Bu durum bu iki yakıtın parlama noktalarının ve ısı değerlerinin diğer biyodizel katkılı yakıtlardan fazla olmasına bağlanabilir.
- ✓ Tüm test yakıtlarıyla tüm yükler için yapılan deneylerdeki emisyon verileri incelendiğinde CO emisyonu en düşük %15- 7,5kg yükteki testte %0,01 olarak PMB12 yakıtından alınmış olup CO₂ emisyonu da %0-0kg yükte %0,7 ile %0,8 değerleri arasında tüm yakıtlardan aynı veriler alınmıştır. %20-10kg yükteki testte de CO₂ değeri %1,8-2 değerleri arasında ölçülmüştür. Tüm test yakıtları için motor yükünün artmasına bağlı olarak CO emisyonu azalırken CO₂ emisyonu da artmıştır. En düşük HC emisyon değeri tüm test yakıtları için %0-0 kg yükte 5 ppm ile PMB24 yakıtı vermiş olup motor yükünün artmasıyla elde edilen veriler değişiklik göstermektedir. En yüksek HC emisyonu ise %20-10kg

yük için yapılan testte 20 ppm ile B12 ve PMB12 yakıtları vermiş olup artan motor yüklerinde B24 yakıt türü en az HC emisyonu vermiştir. NO_x emisyonu tüm yakıtlar için incelendiğinde motor yükünün artmasına bağlı olarak ortalama gaz sıcaklığının da artmasıyla yükselmiştir. En yüksek NO_x emisyonu %0-0kg yükte 38 ppm olarak B0 yakıtı vermiş olup %20-10kg yükte de 260 ppm ile PMB12 yakıtı vermiştir. Verilere göre biyodizel karışimli yakıt türlerinde NO_x oluşumu artmakta olup bu durum yüksek yük durumlarında yanma odası sıcaklıklarının artmasına ve kontrolsüz yanma safhasının uzamasına bağlanabilir. Tüm test yakıtları için en düşük O_2 emisyon değerini tüm yükler için B24 yakıtı vermiş olup motor yükünün artmasıyla tüm test yakıtların O_2 emisyon değerleri azalmıştır. Bu durum, B24 yakıtın yanma parametrelerinin daha iyi olmasına bağlanabilir. Yanma sonucunda hava içerisindeki O_2 'nin tam yanamaması ile O_2 emisyonu artmakta olup yanma verilerinin iyileştirilmesiyle O_2 emisyonunu azaltmak mümkün olmaktadır.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlardan yola çıkarak; atık bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıt karışımlarının ve KMnO_4 katkılı karışimli yakıtların dizel motorunda kullanılabildiği, bu yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin referans dizel yakıt değerlerine yakın olması sebebiyle alternatif bir yakıt olabileceği görülmektedir. Ayrıca test yakıtlarıyla yapılan deneylerde bazı yanma, performans ve emisyon verilerinde biyodizel karışimli yakıtların referans dizel yakıtından daha iyi sonuçlar verdiği ve diğer deney verilerinde de dizel yakıtına yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu bağlamda gelecek teknolojik gelişmelerle birlikte elektrikli araçların yaygınlaşması kaçınılmaz olsa bile özellikler ağır yük taşımacılığında (gemi, tren ve tanker) gerekli güç ve tork için dizel motorların kullanılması sürecektir. Ayrıca fosil kökenli petrol ürünlerin tükenebilir olması, alternatif yakıt arayışlarını ve çalışmalarını devam ettireceği söylenebilir.

KAYNAKÇA

- Acaroğlu, M., 2007, Alternatif enerji kaynakları, *Nobel Yayınları*, Ankara, 380-381.
- Adhikesevan, C. ve Rajadurai J., S., 2014. Influence of B20 biodiesel blends on diesel engine combustion, *Journal of the Japan Institute of Energy*, 93, 675-683.
- Agarwal, A., K., ve Dhar A., 2011. Performance, emissions and combustion characterization of biodiesel in a generator engine, *International Energy Journal*, 12, 105-114.
- 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.
- Alibaş,K., Ulusoy, Y., 1995. Bitkisel yağların diesel motorlarda yakıt olarak kullanım olanakları tarımsal mekanizasyon. İçinde 16. *Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*. Bursa, 24–26.
- Arpa, O., Yumrutaş, R., Argunhan, Z., 2010. Experimental investigation of the effects of diesel-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission. *Fuel Processing Technology*, 91(10), 1241-1249.
- A. Bayrakçeken, H., Yavuz,H., Aksoy, F., Ve Baydır, Ş., 2009. Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs, Karabük.
- 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., 2006. Biyodizel ve Türkiye'deki durumu, Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Mühendis ve Makine Dergisi 47,561,57-64.
- Alptekin, E., & Canakci, M., 2009. Characterization of the key fuel properties of methyl ester–diesel fuel blends. *Fuel*, 88(1), 75-80.
- Anonim, 2012, Motorlu araçlar teknolojisi- Dizel motorları yakıt sistemleri, *Megep Yayınları*, No:525MT0297, Ankara, 13-14.
- Anonim, 2013, Motorlu araçlar teknolojisi-Motor çevirimleri ve yakıtları, *Megep Yayınları*, Ankara, 101-109.
- Altın, R., Cetinkaya, S., & Yücesu, H. S., 2001. The potential of using vegetable oil fuels as fuel for diesel engines. *Energy conversion and management*, 42(5), 529-538.

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

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

Aydın, S., Aydın, H., ve C. İlkılıç, 2012. Biyodizelin Hava Kirliliğine Etkisi. *Batman University International participated Science and Culture Symposium*, 1(2), 329–338.

Aydın, M., Afşar, M., Çelik, B., M., 2017. Tek silindirli bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi, Sakarya Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(5), 871-878.

Azad, A. K., Uddin, S. A., & Alam, M. M., 2012. Mustard oil, an alternative Fuel: An experimental investigation of Bio-diesel properties with and without Trans-esterification reaction. *Global advanced research journal of engineering, technology and innovation*, 1(3), 075-084.

Behera, P., Murugan, S., 2013. Combustion, performance and emission parameters of used transformer oil and its diesel blends in a DI diesel engine. *Fuel*, 104, 147-154.

Bockey D., 2014. Biodiesel 2013/2014 Report on the Current Situation and Prospects – Abstract from the UFOP Annual Report <http://www.ufop.de>.

Budak, N., Bayındır, H., Yücel, H., L., 2009. Dizel motorlarda biyodizel kullanımının performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirilmesi, V Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 123-130.

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

Canakci, M. & Gerpen, J. Van, 2001. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1429–1436.

Chang, D. Y., Van Gerpen, J. H., Lee, I., Johnson, L. A., Hammond, E. G., & Marley, S. J., 1996. Fuel properties and emissions of soybean oil esters as diesel fuel. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 73(11), 1549-1555.

Çelikten, İ. ve Arslan, M. A., 2008. Dizel yakıtı, kanola yağı ve soya yağı metil esterlerinin direkt püskürtmeli bir dizel motorunda performans ve emisyonlarına etkilerinin incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 23,4, 829-836.

Çetinkaya, M., Ulusoy, Y., Tekin, Y., & Karaosmanoğlu, F., 2005. Engine and winter road test performances of used cooking oil originated biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 46(7), 1279-1291.

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

Çılgin, E., 2011. Menengiç (*Pistacia Terebinthus* L.) yağının bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

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

Dorado, M. P., Ballesteros, E., De Almeida, J. A., Schellert, C., Lohrlein, H. P., & Krause, R., 2002. An alkali-catalyzed transesterification process for high free fatty acid waste oils. *Transactions-American Society Of Agricultural Engineers*, 45(3), 525-530.

Dorado, M.P. vd., 2003. Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil. *Fuel*, 82(11), 1311–1315.

Encinar, J. M., Gonzalez, J. F., & Rodríguez-Reinares, A., 2005. Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(15), 5491-5499.

Eliçin, K, A., 2011. Biyodizel yakıtla çalıştırılan küçük güçlü bir dizel motorun performans ve emisyonuna giriş hava basıncı etkisinin deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

EPDK 2018. <http://www.epdk.org.tr/>, Erişim Tarihi: 28.01.2020, Petrol piyasası sektör raporu.

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.

Fukuda H, Kondo A, N.H., 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92(5), 405–416. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172301802887>.

Fidan, M., S., Alkan, E., 2014. Bitkisel hammaddelerden elde edilen biyodizelin alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Ormancılık ve Çevre Bilimleri ABD, GÜFBED/GUSTIJ 4 (2): 144-160.

FAO, 2012. OECD, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Pages.286 ISBN. 9789264173071 (PDF); 9789264173026 (print) DOI: 10.1787/agr_outlook-2012-en.

FAO, 2013. OECD and FAO Secretariats, http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMMMARKETS_MONITORING/Oilcrops/Documents/OECD Reports/OECD 2013 22 biofuels proj.pdf. Erişim Tarihi: 28.01.2021

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.

- Gerpen, J.H. Van, Peterson, C.L. & Goering, C.E., 2007. Biodiesel : An Alternative Fuel for Compression Ignition Engines. İçinde *2007 Agricultural Equipment Technology Conference*, 1–22.
- Graboski M.S., McCormick R.L., 1998. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progr Energy Combust Sci* , 24, 125–164.
- Gürü, M., Koca, A., Can, Ö., Çınar, C. ve Sahin, F., 2008. Mg Katkılı Hayvansal Kökenli Biyodizelin Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin İncelenmesi, *10. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, 366-370, Sakarya.
- Gündüz, İ., 2017. Etanol katkılı atık kızartma yağlarının bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Haşımoğlu, C., 2005. Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- 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.
- İnal, A., 2017. Haşhaş yağından üretilen biyodizelin motor performansına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- 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.
- Kale, T., P., 2017. Combustion of biodiesel in CI Engine. *International Journal of Applied Research*, 3(3), 145-149.
- Karabektaş, M., S., 2002. Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel yakıtının deneysel olarak incelenmesi. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2), 1–8.
- Karabektaş, M., Ergen, G., 2007. Soya yağı metil esterinin motor performans karakteristikleri ve NOx emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1, 21-26.
- Karagül, E.T., Kavaz, İ., 2017, Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, Nisan 2017, Seta sayı:197
- Kannan, G.R., Karvembu, R., and Anand, R., 2011. Effect of metal based additive on performance emission and combustion characteristics of diesel engine fuelled with biodiesel. *Applied Energy*, 88, 3694–3703.
- Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D., 2007. Tall Yağı Biyodizelinin Dizel Yakıtı İle %90 Oranındaki Karışımının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak İncelenmesi, *Gazi Üniv.Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 22, 1, 57-63.

Koçak, M. S., 2005. Fındık Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Laureillard, J., Largeau, C. & Casadevall, E., 1988. Oleic acid in the biosynthesis of the resistant biopolymers of *Botryococcus braunii*. *Phytochemistry*, 27(7), 2095–2098.

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.

Meher, L. C., Sagar, D. V., & Naik, S. N., 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification a review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 10(3), 248-268.

Mutlubas, H., 2016. Kitosan ile mikrodalga biyodizel üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli.

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

Okant, M., 2012. Şanlıurfa ilinin biyodizel üretim potansiyeli, Derleme Makale, Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 16, 4, 11-17.

O' Neil, G.W. vd., 2016. Decolorization improves the fuel properties of algal biodiesel from *Isochrysis* sp. *Fuel*, 179, ss.229–234. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.03.061>.

Özdemir, Ö., Z., Mutlubas, H., 2016. Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri, Kırklareli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Dergisi, 2, 129-143.

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

Öcal, M., 2018. Setan sayısı hakkında 6 soru, BOSCH Dizel Sistemleri Ürün Geliştirme Bölümü, Bursa, Mühendis ve Makine Dergisi, 48,568,25.

Radu, R., Mircea, Z., 1997. The use of sunflower oil in diesel engines, *SAE* paper No. 972979

Rasim Behçet, Selman Aydın, A.Ç., 2012. Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağlardan Üretilen Biyodizellerin Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması. *Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 2(4), 55–62.

Reşitoğlu, İ.,A., 2010. Atık yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

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.

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

Şahin, S., 2013. *Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması* (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Şener, B., Çakar, A., 2008. Biodizel alan eğitiminde araştırma projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fizik Öğretmenliği, İstanbul.

Türkyılmaz, O. ve Özgiresun, C., 2012. Türkiye'nin enerji görünümü, Makine Mühendisleri Raporu, Yayın No. MMO/588

TÜİK 2019, <http://www.tuik.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 27.01.2020, Türkiye İstatistik Kurumu, haber bülteni.

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.

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

Ulusoy, Y. vd., 2004. The Engine Tests of Biodiesel from Used Frying Oil. *Energy Sources*, 26(10), 927–932.

Ulusoy, Y., Tekin, Y., Cetinkaya, M., & Karaosmanoglu, F., 2004. The engine tests of biodiesel from used frying oil. *Energy Sources*, 26(10), 927-932.

Utlı, Z., 2005. Biyodizel üretiminde yenilenebilir enerji kaynağı olarak atık kızartma yağlarının değerlendirilmesi. KK Astsubay Meslek Yüksek Okulu Otomotiv Bilimleri, Balıkesir.

Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E., 2006. An Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Diesel Fuel no. 2 / Waste Sunflower Oil Methyl Ester Blends, 9th International Combustion Symposium, Kırıkkale, 89–103.

Ulusoy Y. Arslan R. ve Kaplan C., 2009. Emission characteristics of sunflower oil methyl ester. *Energy Sources, Part A*, 31(11), 906-910. DOI: 10.1080/15567030802087528

Ulusoy, Y., 2016. Kullanılmış bitkisel yağ metil esterinin traktör motorunda performans ve emisyon etkilerinin araştırılması, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 21, 2, 299-307.

Van Kasteren, J. M. N., & Nisworo, A. P. (2007). A process model to estimate the cost of industrial scale biodiesel production from waste cooking oil by supercritical transesterification. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(4), 442-458.

Yaşar, F., 2016. Yosun yağından biyodizel üretimi ve bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılması, Doktora Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.

Yıldız, M., 2008. Atık yağlardan biyodizel üretimi ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

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)

<https://www.metropolishaber.com/ekonomi/biyodizel-sektorunde-2018-yili-icin-hedefler-yukseltildi-h1243.html> (Erişim Tarihi: 18 Şubat 2020)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Deniz SÜTCÜ
Uyruğu : T.C.

EĞİTİM

Derece	Adı	Bitirme Yılı
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi Otomotiv Öğretmenliği	2009
	Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği	2019
Yüksek Lisans	: Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği ABD	2021

UZMANLIK ALANI

İçten Yanmalı Motorlar, Alternatif Yakıtlar

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Aydın, S., Sütcü, D., (2018) Benzinli Motorlarda Sıkıştırma Oranının Değiştirilmesi, *1.Anadolu Uluslararası Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi*, Diyarbakır/Türkiye.

Aydın, S., Sütcü, D., (2018) Melez (Yarı) Hibrit Sistemi, *1.Anadolu Uluslararası Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi*, Diyarbakır/Türkiye.

Aydın, S., Sütcü, D., (2018) Otomobillerde Otonom Sürüş , *1.Anadolu Uluslararası Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi*,Diyarbakır/Türkiye