



T.C.

**BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MANGAN ESASLI
DİZEL - BİYODİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ
BİR DİZEL MOTORDA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARHAN TAN

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Selman AYDIN**

**AĞUSTOS-2022
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır.**

TEZ KABUL VE ONAYI

Tarhan TAN tarafından hazırlanan “**Mangan Esaslı Dizel - Biyodizel Yakıt Karışımlarının Bir Dizel Motorda Kullanımının Araştırılması**” adlı tez çalışması 24/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Erdal ÇILGIN

.....

Danışman

Doç. Dr. Selman AYDIN

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ŞENER

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
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.

(Faint, large, stylized watermark text, possibly reading "X" or "K")

İmza
Tarhan TAN
24/08/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ MANGAN ESASLI DİZEL - BİYODİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ BİR DİZEL MOTORDA KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Tarhan TAN

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selman AYDIN

2022, 74 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Üyesi Selman AYDIN

Doç. Dr. Üyesi Erdal ÇILGIN

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ŞENER

Bu çalışmada, dizel yakıtı ve atık bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtı belli oranlarda karıştırılarak hazırlanan yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla B25 ve B65 yakıt türlerine sırasıyla 100 ppm ve 60 ppm mangan standart çözeltisi eklenmiştir. Bu yakıtlar B100 (%100 biyodizel), B25 (%25 biyodizel ve %75 dizel), B65 (%65 biyodizel ve %35 dizel), KB25 (%25 biyodizel, %75 dizel ve $Mn(NO_3)_2$ katkısı), KB65 (%65 biyodizel, %35 dizel ve $Mn(NO_3)_2$ katkısı) biçiminde hazırlanmıştır. Hazırlanan deney yakıtlarının fiziksel ve kimyasal analizinde yakıtlara mangan katkı maddesi eklenmesi ile yoğunluk, viskozite ve parlama noktasını düşürmüş setan indesi, donma noktası ve ısı değeri bir miktar yükseltmiştir. Yanma ve emisyon testlerinde B100 yakıtı yerine D100 yakıtı baz alınarak, sabit 1500 dev/dak çalışan bir dizel araştırma motorunda farklı ortalama efektif basınç (0 OEB, 2 OEB, 4 OEB ve 6 OEB) parametrelerinde test edilerek grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler incelendiğinde; 6 OEB parametresinde en yüksek değer silindir gaz basıncı, basınç artış oranı, ortalama gaz basıncı ve net ısı salınımında KB25 yakıtında ve kümülatif ısı salınımının ise DY yakıtında gerçekleşmiştir. Emisyon değerleri incelendiğinde 4 OEB ve 6 OEB parametrelerinde HC ve O_2 emisyonları tüm yakıt türlerinde DY yakıtından daha az değere sahip olduğu tespit edilmiştir. CO_2 emisyon değerleri DY yakıtına en yakın yakıt türü 2 OEB ve 6 OEB parametrelerinde KB65 yakıtı, CO ve NO_x emisyonlarında en düşük değer B25 yakıtındadır. Sonuç olarak biyodizel ve mangan standart çözeltisi karışımlarının belirli oranlarda dizel yakıtına katılarak alternatif yakıt olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Biyodizel üretimi, Dizel motor, Emisyon, $Mn(NO_3)_2$ katkısı, Yanma

ABSTRACT

MS THESIS

MANGANESE BASED DIESEL - BIODIESEL FUEL MIXTURE INVESTIGATION OF USAGE IN A DIESEL ENGINE

Tarhan TAN

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selman AYDIN

2022, 74 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Selman AYDIN

Assoc. Prof. Dr. Erdal ÇILGIN

Assist. Prof. Ramazan ŞENER

In this study, in order to improve the chemical and physical properties of the biodiesel blends, biodiesel fuel obtained from waste vegetable oils and diesel fuel were prepared mixed in certain proportions and respectively 100 ppm and 60 ppm manganese standard solutions were added to B25 and B65 fuel types. These fuels are B100 (%100 biodiesel), B25 (25% biodiesel and 75% diesel), B65 (65% biodiesel and 35% diesel), KB25 (25% biodiesel, 75% diesel and $Mn(NO_3)_2$ additive), KB65 (65% biodiesel, 35% diesel and $Mn(NO_3)_2$ contribution). In the physical and chemical analysis of the prepared experimental fuels, the addition of manganese additives to the fuels decreased the density, viscosity and flash point, and increased the cetane index, freezing point and heating value somewhat. In combustion and emission tests, it was compared graphically by testing different average effective pressure (0 BMEP, 2 BMEP, 4 BMEP and 6 BMEP) parameters in a diesel research engine operating at a constant 1500 rpm, based on D100 fuel instead of B100 fuel. When the experimental data are examined; the highest value of cylinder gas pressure, pressure increase rate, average gas pressure and net heat release in KB25 fuel at 6 BMEP parameters and cumulative heat release in DY fuel. When the emission values are examined, HC and O_2 emissions at 4 BMEP and 6 BMEP parameters have less value than DY fuel in all fuel types. The fuel type closest to DY fuel with CO_2 emission values is KB65 fuel at 2 BMEP and 6 BMEP parameters, and the lowest value in CO and NO_x emissions is B25 fuel. As a result, it has been seen that biodiesel and manganese standard solution mixtures can be used as an alternative fuel by adding certain proportions to diesel fuel.

Keywords: Biodiesel production, Diesel engine, Emission, $Mn(NO_3)_2$ contribution, Combustion

ÖNSÖZ

Tez çalışmasının her aşamasında katkılarını eksik etmeyen tez danışman hocam Doç. Dr. Selman AYDIN'a, tez aşamasının başından sonuna kadar desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Halis DEVİREN'e çalışmalarımın deney ve grafik çizim aşamasına yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Ramazan ŞENER, doktora öğrencisi Teknik Öğretmen Abdulkerim YILDIZ ve Teknik Öğretmen Deniz SÜTCÜ hocalarıma teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde büyük emeği olan canım annem Vesile TAN'a, babam Abdülğafur TAN'a ve varlıklarıyla şükrettiğim hayatım boyunca hep yanımda olan başta ablam Gülhan TAN olmak üzere kardeşlerim Cihan TAN, Berzan TAN, Bedriye TAN, Baver TAN ve Narin Dicle TAN kardeşlerime teşekkür ederim.

Eğitim hayatıma ilk adımı atmamı sağlayan dedem Yusuf TAN'a, okulu bana sevdiren dostum Fizik Öğretmeni Zülküf TAN'a, sabır ve manevi destekleriyle her daim yanımda hissettiğim sevgili eşim Elif TAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tarhan TAN
BATMAN-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	IV
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ	V
İÇİNDEKİLER.....	VII
SİMGELER.....	X
KISALTMALAR	XI
TABLO LİSTESİ.....	XII
ŞEKİL LİSTESİ.....	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3. DİZEL MOTORLAR.....	8
3.1. Motorların Tarihçesi	8
3.2. Dizel Motorlarında Yanma ve Yanma Safhaları	8
3.2.1. Tutuşma gecikmesi	9
3.2.2. Kontrolsüz yanma	9
3.2.3. Kontrollü yanma	9
3.2.4. Art yanma	10
3.3. Dizel Yakıtının Fiziksel Özellikleri	10
3.3.1. Viskozite	10
3.3.2. Yoğunluk	10
3.3.3. Uçuculuk noktası	11
3.3.4. Parlama noktası.....	11
3.3.5. Donma noktası	11
3.3.6. Su ve tortu.....	12
3.3.7. Buharlaşma noktası.....	12
3.4. Dizel Yakıtının Kimyasal Özellikleri	13
3.4.1. Setan sayısı	13
3.4.2. Dizel indeksi	13

3.4.3. Ateşleme noktası.....	13
3.4.4. Kükürt miktarı.....	14
3.4.5. Kül miktarı.....	14
3.4.6. Karbon artığı	14
3.4.7. Aromatik yüzdesi	14
4. BİYODİZEL	15
4.1. Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları	15
4.1.1. Biyodizelin avantajları	16
4.1.2. Biyodizelin dezavantajları	16
4.2. Biyodizel Yakıtının Özellikleri.....	16
4.2.1. Viskozite	17
4.2.2. Yoğunluk	17
4.2.3. Setan sayısı	17
4.2.4. Isıl değer	17
4.2.5. Akma noktası	18
4.2.6. Parlama noktası.....	18
4.2.7. Bulutlanma noktası	18
4.2.8. İyot sayısı	18
4.2.9. Su içeriği	19
4.2.10. Karbon artığı	19
4.2.11. Kükürt içeriği.....	19
4.3. Biyodizel Üretim Metotları.....	19
4.3.1. Seyreltme yöntemi	20
4.3.2. Mikroemülsiyon yöntemi.....	20
4.3.3. Piroлиз yöntemi.....	21
4.3.4. Transesterifikasyon yöntemi.....	21
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
5.1. Deneyde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri	23
5.2. Deneyde Kullanılan ICEnginesoft_9.0 Programı	24

5.3. Deneyde Kullanılan Gaz Analiz Cihazı.....	25
5.4. Deneyde Kullanılan Mangan Katkısı.....	26
5.5. Deneyde Kullanılan Yakıtlar	27
5.6. Deney Yakıtlarının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri.....	28
6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	33
6.1. Atık Kızartma Yağından Biyodizel Üretimi.....	33
6.1.1. Alkol ve katalizörün karıştırılması	33
6.1.2. Transesterifikasyon reaksiyonu	33
6.1.3. Gliserin ayırma	34
6.1.4. Gliserinin uzaklaştırılması	35
6.1.5. Metil ester yıkama işlemi.....	37
6.1.6. Biyodizel saflaştırma işlemi.....	39
6.1.7. Biyodizelin filtre işlemi	39
6.1.8. Biyodizelin gözle kontrolü.....	40
6.2. Dizel Motorda Yanma Değerleri	42
6.2.1. Silindir gaz basıncı.....	42
6.2.2. Basınç artış oranı	44
6.2.3. Ortalama gaz sıcaklığı	47
6.2.4. Kümülatif ısı salınımı	50
6.2.5. Net ısı salınımı	53
6.3. Dizel Motorda Emisyon Değerleri.....	56
6.3.1. Karbonmonoksit emisyonlarının incelenmesi	57
6.3.2. Karbondioksit emisyonlarının incelenmesi	58
6.3.3. Hidrokarbon emisyonlarının incelenmesi	60
6.3.4. Azotoksit emisyonlarının incelenmesi.....	61
6.3.5. Oksijen emisyonlarının incelenmesi.....	62
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
8. KAYNAKLAR	68
9. ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGELER

NO _x	: Azot oksitler
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
HC	: Hidrokarbon
O ₂	: Oksijen gazı
S	: Kükürt
SO ₂	: Kükürt dioksit
H ₂	: Hidrojen
N	: Azot
NO	: Azot monoksit
Ni	: Nikel
Ca	: Kalsiyum
Cu	: Bakır
Pb	: Kurşun
Mn	: Mangan
MnO ₂	: Mangan dioksit
MgO	: Magnezyum oksit
Mn(NO ₃) ₂	: Mangan standart çözeltisi
NaOH	: Sodyum hidroksit
CH ₃ OH	: Metil alkol
HNO ₃	: Nitrik asit

KISALTMALAR

DY	: Dizel yakıtı
B100	: Biyodizel yakıtı
B25	: (%25 biyodizel + % 75 dizel)
B65	: (%65 biyodizel + % 35 dizel)
KB25	: (%25 biyodizel + % 75 dizel + Mangan katkısı)
KB65	: (%65 biyodizel + % 35 dizel + Mangan katkısı)
OEB	: Ortalama efektif basınç
TG	: Tutuşma gecikmesi
dev/dak	: Devir/dakika
KMA	: Krank mili açısı
ppm	: Milyondaki partikül miktarı
TSE	: Türk standartları enstitüsü
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
DIN	: Alman standartları
API	: Amerikan petrol endüstrisi
ISO	: Uluslararası standartlar örgütü
ASTM	: Amerikan test ve materyalleri birliği
PAH	: Gaz altı partikül fazı
DPF	: Dizel partikül filtresi
BSFC	: Efektif özgül yakıt tüketimi
EGT	: Egzoz gaz sıcaklığı

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1. Dizel ve biyodizel yakıtlarının özellikleri	15
Tablo 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri	24
Tablo 5.2. Egzoz gazı cihazının teknik özellikleri	25
Tablo 5.3. Deneyde kullanılan yakıt karışım oranları.....	28
Tablo 5.4. B100 yakıt analiz sonucu.....	30
Tablo 5.5. B25 yakıt analiz sonucu.....	30
Tablo 5.6. B65 yakıt analiz sonucu.....	30
Tablo 5.7. KB25 yakıt analiz sonucu	30
Tablo 5.8. KB65 yakıt analiz sonucu	31
Tablo 6.1. Zararlı maddelerin tehlike sınırı	57



ŞEKİL LİSTESİ

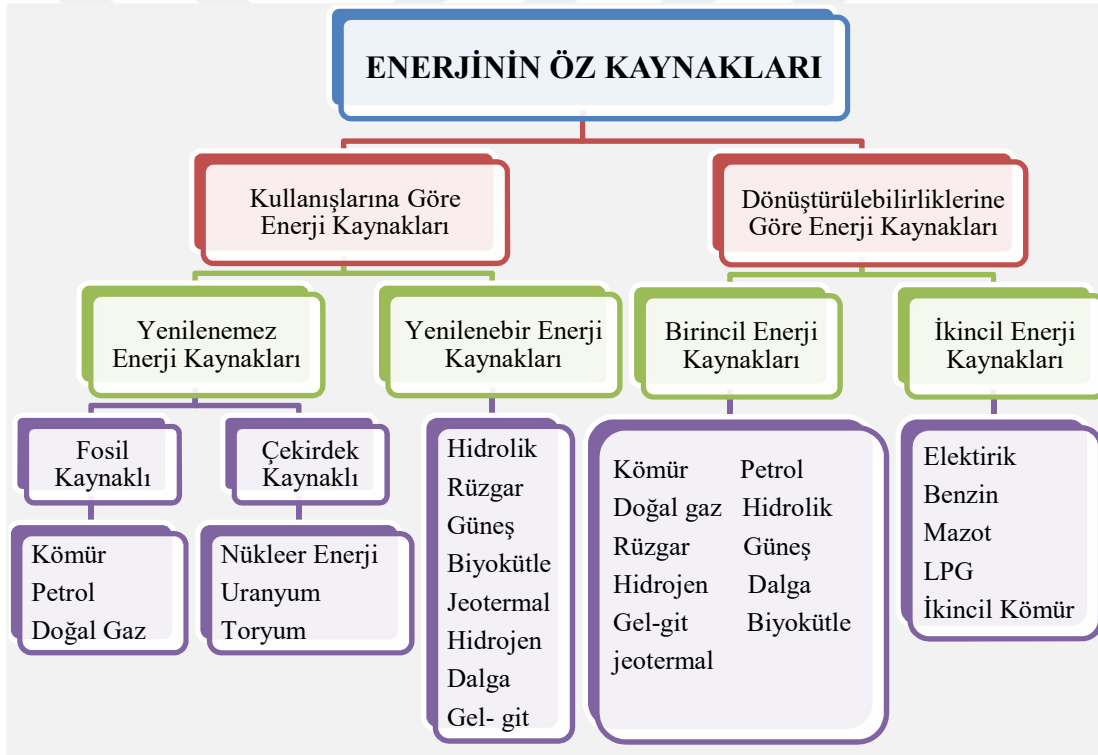
Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının gruplandırılması.....	1
Şekil 1.2. Birincil enerjinin sektörlere bölgelere ve yakıtlara göre dağılımı.....	2
Şekil 3.1. Dizel motorlarda yanma olayı	8
Şekil 4.1. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirme yöntemleri.....	20
Şekil 4.2. Bitkisel yağın transesterifikasyonu	21
Şekil 4.3. Transesterifikasyon işlemi genel şeması	22
Şekil 5.1. Deney motorunun görüntüsü	23
Şekil 5.2. ICEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü	24
Şekil 5.3. Egzoz gazı analiz cihazı	25
Şekil 5.4. Mangan katkı maddesi.....	26
Şekil 5.5. Deneyde kullanılan yakıtlar.....	27
Şekil 5.6. Kimyasal ve fiziksel özelliklerin analizinde kullanılan yakıt karışımları	28
Şekil 5.7. Distilasyon(A) yoğunluk(B) ve viskozite(C) cihazı görüntüsü.....	29
Şekil 5.8. Ölçüm ve ısıtıcı görüntüsü	29
Şekil 6.1. Sodyum hidroksit(A) ve metil alkol(B).....	33
Şekil 6.2. Reaksiyon karışımı	34
Şekil 6.3. Gliserin ve metil esterinin ayrılması	35
Şekil 6.4. Gliserinin yağ esterinden uzaklaştırılması	36
Şekil 6.5. Biyodizel ve saf su karışımı	37
Şekil 6.6. Biyodizel yıkama aşamaları	38
Şekil 6.7. Biyodizelin yıkanmış ve saf hali	39
Şekil 6.8. Biyodizelin filtre edilmesi	40
Şekil 6.9. Saf biyodizel.....	41
Şekil 6.10. 0 OEB parametresine göre silindir gaz basınç değişimi.....	42
Şekil 6.11. 2 OEB parametresine göre silindir gaz basınç değişimi.....	43
Şekil 6.12. 4 OEB parametresine göre silindir gaz basınç değişimi.....	43
Şekil 6.13. 6 OEB parametresine göre silindir gaz basınç değişimi.....	44
Şekil 6.14. 0 OEB parametresine göre basınç artış oranı değişimi	45
Şekil 6.15. 2 OEB parametresine göre basınç artış oranı değişimi	45
Şekil 6.16. 4 OEB parametresine göre basınç artış oranı değişimi	46
Şekil 6.17. 6 OEB parametresine göre basınç artış oranı değişimi	47
Şekil 6.18. 0 OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı değişimi.....	48
Şekil 6.19. 2 OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı değişimi.....	48
Şekil 6.20. 4 OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı değişimi.....	49
Şekil 6.21. 6 OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı değişimi.....	50
Şekil 6.22. 0 OEB parametresine göre kümülatif ısı salınım değişimi.....	51
Şekil 6.23. 2 OEB parametresine göre kümülatif ısı salınım değişimi.....	51
Şekil 6.24. 4 OEB parametresine göre kümülatif ısı salınım değişimi.....	52

Şekil 6.25. 6 OEB parametresine göre kümülatif ısı salınım değişimi.....	53
Şekil 6.26. 0 OEB parametresine göre net ısı salınım değişimi	54
Şekil 6.27. 2 OEB parametresine göre net ısı salınım değişimi	54
Şekil 6.28. 4 OEB parametresine göre net ısı salınım değişimi	55
Şekil 6.29. 6 OEB parametresine göre net ısı salınım değişimi	55
Şekil 6.30. Farklı OEB parametresinde CO emisyon değişimi	58
Şekil 6.31. Farklı OEB parametresinde CO ₂ emisyon değişimi	59
Şekil 6.32. Farklı OEB parametresinde HC emisyon değişimi	60
Şekil 6.33. Farklı OEB parametresinde NO _x emisyon değişimi.....	62
Şekil 6.34. Farklı OEB parametresinde O ₂ emisyon değişimi	63



1. GİRİŞ

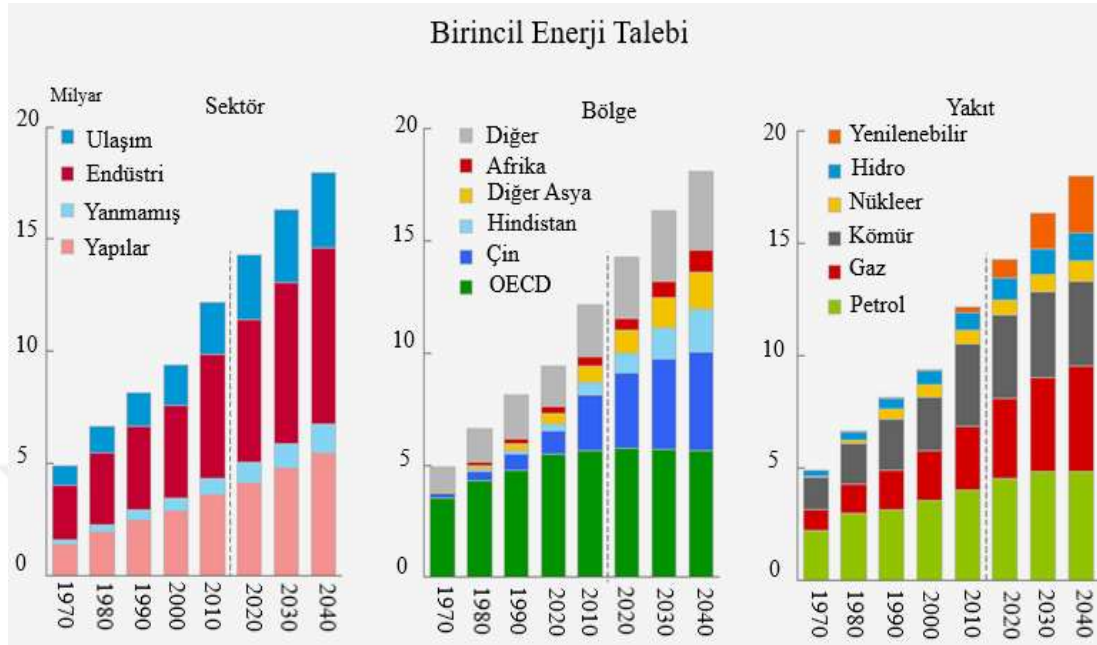
Enerji insanoğlunun ihtiyaçlarını karşılamak için gerek duyduğu en önemli etkidir. Her geçen gün artan dünya enerji ihtiyacı, sanayileşme ve hızlı nüfus artışı nedeniyle enerji ihtiyacı her geçen gün artmakta ve gittikçe büyüyen enerji ihtiyacı açığı artmaktadır. Enerji üretimi açısından dışa bağımlı olan ülkeler için enerji, ekonomik kalkınma projeleri üzerinde büyük bir yük oluşturmaktadır (Keskin, 2005). Günlük yaşam koşullarının her alanında yer alan enerji geçmiş dönemlerde daha çok fosil kaynaklar olarak kömür, petrol ve doğal gaz kullanılırken günümüzde daha çok yenilenebilir ve dönüştürülebilir rüzgar, güneş, hidrolik, biyokütle vb. enerji kaynakları üretilmekte ve tüketilmektedir (Yağlı ve ark., 2016). Şekil 1.1'de enerjinin öz kaynakları verilmiştir.



Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının gruplandırılması (Ülkü ve Yalpr, 2021)

Kullanışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre iki ana başlık altında toplanmıştır. Birincil enerji kaynağı dışarıdan bir müdahale ile değişime uğramasıyla ikincil enerji kaynağına dönüşmüştür. Tükenmez enerji kaynağı, doğal yollar ile elde edilen daima tüketime açık olan yenilenebilir enerji anlamına gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları doğal yollar ile elde edilebildiği için özel üretime veya dış ülkelere

alımına ihtiyaç duyulmamaktadır (Koç ve ark., 2018). Şekil 1.2’de birincil enerjinin sektörlere, bölgelere ve yakıtlara göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 1.2. Birincil enerjinin sektörlere bölgelere ve yakıtlara göre dağılımı (Sezgin, 2019)

Enerji kaynaklardan olan petrol, ulaştırma ve endüstri sektörünün temel enerji kaynağı olarak, dünya birincil enerji tüketimi içinde büyük paya sahiptir. Petrol ve diğer sıvı yakıtlara olan talep çoğunlukla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı ise 2010 yılından 2040 yılına kadar düzenli olarak artmıştır. (Vermeersch, 2000). Biyodizel, dizel motorun yapısında hiçbir değişikliğe gidilmeden kullanılabilir olması, setan sayısının yüksek, parlama noktasının düşük, dizel yakıtına oranla taşınması ve depolanması daha güvenli olması, egzoz emisyon değerlerini düşürmesi ve sera etkisine neden olan CO₂ gazını %100’e kadar iyileştirilmesi gibi avantajları bulunmaktadır (Sundus ve ark., 2017).

Yapılan literatür araştırmasında atık kızartma yağından elde edilen biyodizelin dizel motorlarda kullanılmasında, dizel yakıtına göre performans ve yanma parametrelerinde kötüleşme olduğu bildirildiğinden iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, standart prosedürlere göre atık bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel ve dizel yakıt karışımlarına mangan katkı maddesi Mn(NO₃)₂ eklenerek, elde edilen karışımların dizel araştırma motorunda test edilerek yanma, emisyon parametrelerinin yanında katkılı yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerindeki değişimleri araştırmak ve iyileştirme amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Üstün ve Gürü (2022), şeker pancarı fabrikalarında etil alkol üretimi sonrasında geriye kalan kötü kokulu atık alkol karışımı fuzel yağ olarak adlandırılır. Organik reçine bazlı mangan katkı maddesi elde edilmesinde %98 saflıkta MnO_2 , abietik asit ve spindle oil ortamında sülfürik asit kullanılmış ve $180^{\circ}C$ de bir geri soğutucu altında manyetik karıştırıcı yardımıyla çözelti elde edilmiştir. Etil alkol daha sonra hazırlanan karışımlara eklenmiştir. Benzin içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranında fuzel yağı ve mangan katkı maddesi ilave edilmiştir. Donma noktası, parlama noktası ve viskozitede yapılan testlerde en iyi sonucu %15 oranlı fuzel yakıt karışımı olmuştur. %15'lik fuzel yakıt karışımına 4, 8, 12 ve 16 ppm organik reçine esaslı MnO_2 katkı maddesi ilave edilerek deneylere başlanmıştır. Deneyler 12 ppm mangan ve %15 fuzel karışımlı yakıt baz alınmış, motor performanslarında ortalama olarak tork %4,18, güç %5,04, BSFC (Fren özgül yakıt tüketimi)'de %3,12 artış, EGT (Egzoz gaz sıcaklığı)'de %2,48 azalma olmuştur. Egzoz emisyonların da ise CO ve HC emisyonları sırasıyla ortalama olarak %20,69 ve %10,51 azalma, CO_2 ve NO_x de ise %3,65 ve %5,10'lık artış tespit edilmiştir.

Üstün (2021), dizel (%90) yakıtı ve fuzel (%10) yakıtı belli oranlarda karıştırılarak bir karışım elde edilmiştir. Elde edilen yeni karışım içine 8, 12 ve 16 ppm mangan esaslı katkı maddesi ayrı ayrı ilave edilerek testlere başlanmıştır. Yapılan testler sonucunda dizel ve fuzel yakıt karışımları bir dizel motorunda kullanıldığında motor torkunu ve gücünü azaltmıştır. Özgül yakıt tüketiminde genel olarak artış gözlenirken, en az artış 12 ppm lik katkılı yakıt karışımında gözlenmiştir. Egzoz gazı sıcaklığını en az düşüren katkı maddesi 12 ppm lik yakıt karışımında, CO ve HC emisyonunda en az artış 12 ppm lik yakıt karışımında, CO_2 değerlerinde en fazla düşüş 12 ppm mangan esaslı yakıt karışımında olmuştur. Ayrıca viskozite, yoğunluk, parlama noktası, ısıl değer ve akma noktası gibi yakıtın fiziksel özelliklerinde iyileşmeler olmuştur.

Orman (2019), atık motor yağlarının doğrudan dizel motorlarında kullanılarak ekonomik bir değere kavuşturulması amaçlanmıştır. Mn katkı maddesi sentezlenerek motor yağına 16 ppm mangan katkı maddesi ilave edilmiştir. Yapılan deney sonucunda yağ sıcaklığını %5, egzoz gazı sıcaklığını %1 özgül yakıt tüketiminde %9 iyileştirme sağlamış ve CO emisyon değerini %4 düşürmüştür. Ayrıca yakıt enjeksiyon basıncı

195, 235 ve 265 bar'a çıkarıldığında motor performans parametrelerinde iyileşme gözlenmiştir.

Çelik ve ark. (2015), kanola yağı metil esteri içerisine farklı hacimlerde n-heptan kimyasal maddesi eklenerek yakıtın özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneyler incelendiğinde en iyi performans ve emisyon değerlerine sahip kanola yağı metil esteri içerisine hacimce %4 n-heptan ilave edilen karışım olmuştur. Kanola yağından elde edilen biyodizel ve %4 n-heptan karışımına farklı hacimlerde organik esaslı mangan katkı maddesi eklenerek, motor performansı ve emisyon değerleri üzerinde inceleme yapılmıştır. Kanola yağı metil esteri içerisine hacimce %4 n-heptan karışımına, 12 ppm organik esaslı mangan katkı maddesi eklenerek en iyi sonuç elde edilmiştir. KH4Mn12 (%4 n-heptanlı yakıt içerisinde 12 ppm Mn katkı ilaveli yakıt) yakıtında KH4 (% 4 n-heptanlı yakıt) yakıtına göre motor gücünde %5,20, motor momentinde %6,44 artış, özgül yakıt tüketiminde ise %3,62 azalma olmuştur. Emisyon değerleri karşılaştırıldığında ise CO, HC ve is emisyonları mangan katkı maddesi ilavesi ile azalırken NO_x emisyonları artmıştır.

Uyar (2013), biyodizel ve dizel yakıtı aynı oranlarda karıştırılıp, elde edilen karışıma %1 dodekanol, %5 propilen glikol ve mangan katkı maddesi ilave edilerek hazırlanan yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerini, motor performansını ve emisyon değerlerini iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmalar sonucunda biyodizel ile elde edilen karışım, dizel yakıtıyla benzerlik göstermiştir. Karışımda biyodizel oranının artırılmasıyla özgül yakıt tüketiminde ve egzoz çıkış sıcaklığında artış olmuştur. Biyodizelin, dizel yakıtına kıyasla CO, HC ve duman emisyonlarında düşüş, NO_x, CO₂, O₂ artış gözlemlenmiştir. B50 yakıtı ve katkı maddeleri ile yapılan deneylerde duman, CO, HC, NO_x ve özgül yakıt tüketiminde düşüş CO₂ ve O₂ emisyonlarında artış olduğu görülmüştür. En uygun dozlarda bile kullanılan mangan katkı maddesi biyodizelin kimyasal yapısında değişiklik göstermiştir. Kullanılan katkı maddeleri yakıtın viskozite, yoğunluk, setan sayısı ve parlama noktası gibi önemli özelliklerini iyileştirmiştir. Biyodizel yakıtının alt ısı değeri, dizel yakıtından daha düşük olması özgül yakıt tüketimini arttırmış, motor performansını ise düşürmüştür. Ayrıca biyodizel yakıtının yağlama özelliğinin daha iyi olması ve doğaya daha az zehirli gaz salınımı yapması dizel motorlar için uygun bir alternatif yakıt olmaktadır.

Gürü ve ark. (2011), yüksek viskozite değerlerine sahip olan ve bunun sonucunda problemlerin yaşandığı 6 numara ağır sanayi yağı olarak bilinen fuel-oil'le

mangan katkı maddesi eklenerek viskozitesinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Yakıt içerisine %0,1, %0,3 ve %0,5 değerlerine sahip olan mangan katkı maddesi eklenmiştir. Yakıtta farklı sıcaklık değerlerinde yapılan deneylerde katkı maddesi bileşeni ve sıcaklığının fuel-oil in viskozite üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sıcaklık arttıkça katkılı ve katkısız viskozite değerlerinde bir miktar azalma, katkı maddesi miktarı artırıldığında ise viskozite değerleri kademeli olarak azalmıştır.

Çelikten ve Gürü (2011), dizel ve biyodizel yakıt karışımları genellikle yakıt değerlerini iyileştirmek için katkı maddelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kanola metil esteri (%50B) ve dizel (%50D) yakıt karışımına sırasıyla 1, 6 ve 12 ppm olmak üzere üç farklı oranda Mn katkı maddesi ilave edildi. Deney sonucunda Mn katkısı motorun tork ve gücünde bir miktar artış, özgül yakıt tüketiminde ise kısmen azalma gözlenmiştir. Belirli oranlarda kullanılan Mn katkı maddesi yakıtın ısıl değerini artırdığı ve buna bağlı olarak yanma olayını iyileştirir. Yanmaya bağlı olarak yakıtın setan sayısını artırırken, donma noktasını azaltmıştır. Ayrıca CO ve HC emisyonları azalırken, CO₂ ve NO_x emisyon değerlerinde bir miktar artış gözlenmiştir.

Hazar ve ark. (2011), dizel motorlarda yakıtın özelliklerini iyileştirmek amacıyla deneyde kullandığımız motorin içerisine ilave edilecek katkı maddesi olarak organometal mangan esas maddesi eklenmiştir. Bileşim elde etmek için reaktör içerisine organik yapıdaki 250g spindle oil, 45g MnO₂ tuzu ve 100g reçine asidi 180°C de 2 saat boyunca reaksiyona sokularak bileşik elde edilmiştir. Bileşikteki MnO₂ miktarı %11,3 tür. Reaksiyon sonunda tortu kısımlarının çözülmesi amacıyla %2 etanol ilave edilmiştir. Organometal katkılı motorin yakıtına 20, 40, 60 ve 80 ppm’lik MnO₂ ilave edilmiştir. Deney sonucunda yakıt özelliklerini iyileştirmek amacıyla sentezlenen MnO₂ katkısının en uygun karıştırma miktarında yakıtın setan sayısı ve motor gücünde artış, donma noktası, viskozite ve alev sıcaklığında azalma olduğu gözlenmiştir.

Temizer (2010), 1 litre dizel yakıtına %5, %10 ve %15 oranlarında metanol, faz ayrışımını önlemek için dodekanol ve Mn metalinin katkı maddesi ilave edilerek çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltinin dizel yakıtında kullanılarak, motorinin donma noktasını düşüren mangan katkı maddesi miktarını belirlemek ve performans etkileri üzerinde çalışılmıştır. Metanol dizel yakıtındaki setan sayısını düşürürken, MnO₂ katkısı setan sayısında artış sağlanmış donma noktası, viskozite ve parlama noktası değerlerinde azalma olmuştur. Dizel yakıtındaki metanol oranı arttıkça NO_x emisyon değerleri artmış, CO emisyon değerlerinde ise azalmıştır.

Yenioğlu (2009), kanola yağından üretilen biyodizel yakıtta Mn, CO ve Cu tuzları eklenerek yakıt üzerindeki kimyasal ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Kanola biyodizel yakıtına ilave edilen katkı maddeleri ayrı ayrı incelendiğinde viskozite değerinde en iyi azalma mangan katkısında olmuştur. Akma noktasında en iyi azalma mangan katkısında gerçekleşmiştir. Deneylerde kullanılan katkı maddeleri belli oranlara kadar eklendiğinde azalma olduğu tespit edilirken, katkı maddesi oranı artıkça fiziksel ve kimyasal özelliklerde değişimin olmadığı görülmüştür. Ayrıca biyodizel ve dizel yakıtının motor performansı bakımından incelendiğinde güç, tork ve özgül yakıt tüketimi üzerinde fazla bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir.

Keskin ve ark. (2007), yağ asitlerinden metil ester üretilerek, reçine asitleri metalik yakıt katkı maddelerinin üretimi için NiO ve MnO₂ ile belli oranlarda reaksiyona sokularak dizel yakıtta oluşabilecek değerlerin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Her bir metalik yakıt katkı maddesi test yakıtları hazırlamak için %60 biyodizel ve %40 dizel yakıt karışımı yapılarak 8 µmol/l ve 12 µmol/l oranında katkı maddesi ilave edilmiştir. Biyodizel yakıtına ilave edilen metalik katkı maddeleri akma noktası ve viskozite değerlerini iyileştirmiş, biyodizel yakıtlarının egzoz emisyon gazlarında CO emisyonlarında %64,28 ve duman opaklığında %30,91 azaltmıştır. Biyodizel yakıtında genel olarak NO_x emisyonu düşük olduğu gözlenmiştir.

Keskin (2005), tall yağından üretilen biyodizel yakıtta farklı katkı maddeleri eklenerek (Ni, MoO₃, MgO, MnO₂, CO₃O₄) yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon değerleri üzerinde iyileştirme amaçlanmıştır. Deneyler sonucunda Mg ve Mn içerikli katkı maddeleri ile viskozite değerinde, diğer katkı maddelerine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Biyodizel yakıttan elde edilen motor torku, dizel yakıtı göre artmıştır. Biyodizelin düşük motor devirlerindeki CO emisyonları, dizel yakıttan daha düşüktür. Biyodizel yakıtı ilave edilen katkı maddelerinin NO_x emisyonları düşük motor devirlerinde artış olurken, yüksek motor devirlerinde ise azalma olmuştur. Biyodizel yakıtlarda oluşan kirletici emisyon miktarı dizel yakıtı oranla daha düşüktür. Özellikle is ve CO emisyonları yönünden avantajlıdır.

Gürü ve ark. (2002), yakıt katkı maddesi olarak Mg, Ca, Cu ve Mn'nin organik bileşiklerini kullanılmıştır. Yapılan deneylerde mangan içerikli yakıt katkı maddesi diğer metalik katkı maddelerine oranla dizel yakıtı üzerinde daha iyileştirici etkiye sahiptir. Kullanılacak oran olarak belirlenen 54 µmol Mn/l katkı maddesi, dizel yakıtın donma sıcaklığını 12,4°C azaltırken, aynı oranda kullanılan mangan katkı maddesi setan

sayısını 46,22'den 48,24'e çıkarmıştır. O₂ ve CO emisyonlarında sırasıyla %0,2 ve %14 azalma görülmüştür.

Guinther ve ark. (2002), dizel motorların yaymış oldukları yüksek partikül madde miktarını azaltmayı amaçlamıştır. Dizel Partikül Filtresi (DPF) düşük hız ve sıcaklıkta motorun çalışması sırasında partikül madde biriktirir ve depolarken yüksek hız ve sıcaklıkta çalışan motorda birikmiş partikül maddesini yakar. Dizel Partikül Filtresinde kurum oksidasyon sıcaklığını düşürmenin yöntemlerinden biri de Mn içeren yakıt katkı maddesi kullanılmasıdır. Dizel Partikül Filtresi içindeki kurum birikme hızı ve denge noktası sıcaklığı üzerinde pozitif bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu faydaların hem sabit durumda hem de geçici çalışmada düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık rejimleri sırasında egzoz geri basıncını azalttığı gösterilmiştir.

Karakaya (2000), dizel yakıtı ilave edilen Mn, Mg, Cu ve Ca çözeltileri içinde en yüksek donma noktasına sahip katkı maddesi Mn dir. Katkısız motorinin setan sayısı 46,2 iken, katkılı motorinin setan sayısı artışla 48,68 olmuştur. Mangan katkısı viskozite ve alevlenme noktasını düşürmüştür. Ayrıca emisyon değerlerinde katkılı motorin yakıtında yanma sonucunda oluşan CO₂ miktarında artış görülürken, CO miktarında ise azalma olduğu görülmüştür.

Yang ve ark. (1998), doğal emişli dizel motorlu bir motorun polisiklik aromatik hidrokarbonlar(PAH) emisyonu üzerindeki etkilerini araştırmak için mangan bazlı katkı maddesi kullanılmıştır. PAH tamamlanmamış yanmanın olduğu yakıtlarda ana ürün olduğundan yakıtta orijinal olarak ortaya çıkar. Dizele 400 mg/kg Mn bazlı katkı maddesi eklenerek ortalama toplam PAH emisyonunun %37,2 azalma olduğu görülmüştür. Dizel motordaki Mn bazlı katkı maddesinin oksidasyon sürecini artıran ve önemli miktarda PAH emisyonunu azaltan bir katalizör görevi görmektedir. Turbo şarjlı motorda ki emisyon miktarı, doğal emişli motordan ortalama olarak %92,4 daha düşüktür. Bunun nedeni turbo şarjlı motorun daha yüksek basınca ve sıcaklığa sahip olduğundan, buna bağlı olarak yakıtın daha iyi bir şekilde ve eksiksiz yanmasını sağlamaktadır.

Dizel motorlarda yanma olayı, yanma odasına yakıtın püskürtülmeye başladığı andan yanma ürünlerinin dışarı atıldığı egzoz zamanı başlangıcına kadar geçen süre içerisindeki fiziksel ve kimyasal olayları kapsamaktadır. Dizel motorlarda yanma tutuşma gecikmesi, kontrolsüz yanma, kontrollü yanma ve art yanma olmak üzere dört safhadan oluşmaktadır. Püskürtme A noktasından başlayarak tutuşma başlangıcı olan B noktasına kadar ki geçen süreye tutuşma gecikmesi denir. Tutuşma gecikmesi sonunda B-C noktası arasında kontrolsüz yanma başlar ve maksimum basıncın olduğu C noktasına kadar kontrolsüz yanma işlemi devam eder. C-D noktaları arasında kontrollü yanma fazı olup D noktasından sonra yanma sürecinde maksimum silindir içi sıcaklığına ulaşıldıktan sonra art yanma başlar. Maksimum yanmanın oda sıcaklığına ulaşana kadar E noktasına kadar devam eder (Safgönül ve ark., 1995).

3.2.1. Tutuşma gecikmesi

Dizel motorlarda piston tarafından sıkıştırılan hava üzerine enjektörler tarafından damlacıklar halinde püskürtülen dizel yakıtı, ısınmış olan havadan ısı alarak buharlaşma gerçekleşir ve alev oluşur (Borat ve ark., 1992). Enjektörden püskürtülen yakıtın püskürtme başlangıcı ile kendi kendine tutuşması arasında geçen 0,001- 0,0015 saniyelik süreye tutuşma gecikmesi denir (Aydın, 2011). Püskürtme anında silindir içerisindeki havanın basıncına ve sıcaklığına, setan sayısına, püskürtülen yakıtın damlacık boyutuna ve yakıtın buharlaşması tutuşma gecikmesi süresini etkilemektedir (Denton, 2000). Setan sayısı tutuşma gecikmesinde etkili olup, setan sayısı arttıkça tutuşma gecikmesi azalır. Setan sayısının yüksek olması ve yakıtın tutuşmaya başlaması enjektörlere çok yakın bir yerde gerçekleşeceğinden, enjektörlerin uç kısmında tıkanmalara neden olacaktır. Setan sayısının düşük olmasında ise geciken tutuşmaya bağlı olarak silindir içinde biriken yakıtın yanmaya başlaması ile aniden ateşlenerek, motorun vuruntulu ve çok sert çalışmasına neden olacaktır (Aydın, 2010).

3.2.2. Kontrolsüz yanma

Tutuşma gecikmesinden sonra ana yanmayı oluşturan ikinci safha kontrolsüz yanma safhasıdır. Püskürtülen yakıt demetinin dış kısmında buharlaşma ve hava ile karışma daha iyi bir şekilde gerçekleşmektedir. Kontrolsüz yanma safhasında, tutuşma gecikmesi sırasında silindir içerisinde birikmiş olan yakıt aniden ateşlenerek ani basınç yükselmesine neden olmaktadır. Basınç artış hızı fazla ise silindir, piston vs.

elemanların birbirine çarpması sonucu sert bir sesle dizel vuruntusu meydana gelir. Dizel motorların daha sessiz ve yumuşak çalışması için tutuşma gecikmesinin kısaltılması ve silindir içinde biriken yakıtın az tutulması gerekmektedir. Dizel motorlarda basınç artış hızı genellikle 0,2-0,3 MPa/°KMA değerleri arasındadır (Keskin, 2005).

3.2.3. Kontrollü yanma

KontROLSÜZ yanmadan sonra üçüncü safha olan kontrollü yanma başlar. Tutuşma gecikmesi sırasında yanma odasında biriken yakıtın ani olarak yanmasından sonra kontrollü yanma aşamasına geçilir. Kontrollü yanma safhasında yakıtın yanma hızı, buharlaşma hızı ve yakıt buharının hava ile karışımın oluşum hızı ile belirlenir. Sıcaklıkların yüksek olduğu pistonun üst ölü noktaya yakın konumunda, yanmanın tamamlanmasına çalışılmaktadır. Karışım ve buharlaşma yeterince hızlı değilse, yanma genişlemenin ileriki safhalarında tamamlanmış olacaktır. Ancak genişleme sonucu sıcaklık ve basınç düşeceğinden, yakıtın tümünün yanma olasılığı da azalacaktır. Bu durumda tam yanmamış karbon partikülleri açığa çıkacaktır. Tam yanma gerçekleşmediğinden motordan istenilen verim elde edilemeyecek bu da motorun verimini düşürecektir (Safgönül ve ark., 1995).

3.2.4. Art yanma

Yanma sürecinde maksimum silindir içi sıcaklığına ulaşıldıktan sonra son safha olan art yanma başlar. Art yanmada yanma hızı yine difüzyon hızı ve karışım oluşum hızı ile belirlenmektedir. Zengin karışımlarda tam yanmamış yanma ürünleri de art yanma safhasında yanarlar. Genişleme zamanında gerçekleşen art yanma üst ölü noktadan sonra 70-80° KMA kadar devam eder. Yanma olayının egzoz zamanına geçilmeden önce tamamlanması gerekmektedir (Safgönül ve ark., 2008).

3.3. Dizel Yakıtının Fiziksel Özellikleri

3.3.1. Viskozite

Viskozite, sıvıların akmaya karşı dirençlerinin ve iç sürtünmelerinin bir ölçüsüdür. Motorin viskozitesi ideal yakıt-hava karışımının elde edilmesini ve buna bağlı olarak silindir içerisinde meydana gelecek yanmayı doğrudan etkilediğinden viskozite önemli

bir parametredir. Çok yüksek viskozite, pompalama işini zorlaştıracak gibi püskürtme sonrası, yakıt zerreciklerinin boyutunu iri olmasına neden olacağından tutuşma gecikmesini artırır. Ayrıca soğuk havalarda yakıtın püskürtülmesinde sorunlar yaşanabileceğinden, yanma olayının verimini düşürerek yanmamış HC miktarının atmasına neden olacaktır (Acaroğlu ve ark., 2018). Viskozite azaldıkça borulardaki akış direnci düşmekte buna bağlı olarak yakıt damlacık çapları küçüleceğinden daha iyi bir yanma gerçekleşir ve is emisyonlarında azalmalar olur. Ancak viskozitenin çok düşük olması yakıt sistemindeki kaçakları arttırmaktadır. Viskozitenin standartların üstünde olması ise yakıt pompası ve enjektörlerin iyi yağlanmamasına, damlacık boyutlarının daha büyük olmasına bu da enjektörlerde tıkanma ve sıkışmalara neden olacaktır (Keskin, 2005).

3.3.2. Yoğunluk

Yoğunluk, kütleli olarak uygun hava yakıt oranının sağlanabilmesi için silindir içine gönderilen yakıtın yoğunluk değeri önemlidir. Dizel yakıtların yoğunluk değerleri 815-934 kg/m³ arasındadır. Dizel yakıtlardaki yoğunluk motorlarda yanmayı ve ısı değeri etkilemektedir. Yoğunluğun yüksek değerlere sahip olması aynı ortam koşullarında, silindir içerisine daha yoğun bir yakıtın gönderilmesi ile yanma olayının verimini düşürerek yanmamış hidrokarbon miktarının atmasına neden olacağından is emisyonları da artacaktır (Acaroğlu ve ark., 2018).

3.3.3. Uçuculuk noktası

Sıvıların gaz durumuna geçme sıcaklığına uçuculuk noktası denir. Uçuculuk özelliği yüksek dizel yakıtı, özellikle küçük dizel motorlarında yakıt tüketimini azaltırken, aynı zamanda emisyon değerini de düşürür. Yakıtın uçuculuk kabiliyetinin iyi olmaması viskozite, kendiliğinden tutuşma sıcaklığı, setan sayısı ve yoğunluk gibi yakıt özelliklerini de etkiler (Nişancı, 2007).

3.3.4. Parlama noktası

Parlama noktası, içinde termometre olan bir kaba yakıt konularak alttan ısıtılır. Her 5°C ısınmada yakıtın üzerine bir alev tutularak geri çekilir. Isınan yakıt belli bir sıcaklığa ulaştıktan sonra yakıtın üst kısmında parlama olur ve bir süre sonra

kendiliğinden söner. Belirlenen bu sıcaklık yakıt içindeki ürünlerin buharlaşmaya başladığı sıcaklık derecesidir. Parlama noktası doğrudan motor performansı ile ilişkili değil yakıtın emniyetli olarak kullanılması ve depolanmasıyla ilgilidir. Yakıtların parlama noktasının 65-150°C değerleri arasında olmalı ancak 36°C'nin de altına düşmemelidir (Özdemir, 2011; Acaroğlu ve ark., 2018).

3.3.5. Donma noktası

Donma noktası, yakıtın tamamen katılaştığı veya donduğu sıcaklık derecesine denir. Bu da soğuk havalarda yakıtın kullanılabilirliğini gösterir (Acaroğlu ve ark., 2018). Belli sıcaklık değerleri altına düşen yakıt önce kristalleşir ve sıcaklığın daha fazla düşmesiyle de yakıt donmaya başlar. Donmuş yakıt, yakıt sisteminin tıkanmasına bu da yakıtın akışını engelleyerek aracın sağlıklı çalışmasında sorunlar teşkil edecektir. Yakıtın donmasını engellemek için yakıtın donma sıcaklığı bölgenin dış hava sıcaklığından 5-10 °C daha düşük olmalıdır (Özdemir, 2011).

3.3.6. Su ve tortu

Yakıt içinde bulunan su ve tortu partikülleri ciddi hasarlara yol açabilmektedir. Dizel yakıtta istenmeyen partikül maddeler enjektör ve yakıt pompası parçalarının aşınmasına ve zarar görmesine neden olmaktadır. Motor parçalarında oluşabilecek zararları minimum seviyeye indirmek için gözenekli filtrelerde bir veya iki defa süzildikten sonra pompa ve enjektörlere gönderilmesi gerekir (Acaroğlu ve ark., 2018; Titem, 2005).

3.3.7. Buharlaşma noktası

Dizel motorlarda yakıtın başlangıç hareketi için düşük sıcaklıklarda buharlaşabilen yakıtlar tercih edilmektedir. Arıtma yöntemlerinden etkilenen yakıtın buharlaşma özelliği arttıkça kendi kendine tutuşabilme özelliği kötüleşeceğinden yanma sırasında is oluşum miktarı da artacaktır (Akdemir ve ark., 2011).

3.4. Dizel Yakıtının Kimyasal Özellikleri

3.4.1. Setan sayısı

Setan sayısı yakıtın kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren ölçü olup yakıtın vuruntuya karşı gösterdiği dirençtir. Setan sayısı yanmanın seyrine etki eden önemli kimyasal parametrelerden biridir. Setan sayısı yüksek olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi periyodu kısalmış ve yanma düzenli bir şekilde devam eder. Setan sayısı düşük olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi uzar buna bağlı olarak da püskürtülen yakıt miktarı artar. Yanmanın başlaması ile silindir içine biriken yakıt ani bir basınç artışı meydana gelir. Bu ani basınç artışı motor parçalarına etki ederek motorun gürültülü çalışmasına ve yanmanın kötüleşmesine neden olacaktır. Bu duruma dizel vuruntusu adı verilmektedir. Vuruntulu çalışan bir motorda güç kaybı, ilk harekette zorlanma, karbon birikintisi, motorun geç ısınması, fazla yakıt tüketimi gibi aksaklıklar meydana gelebilmektedir (Aydın ve Sayın, 2014). Dizel motorlarda setan sayısı 70'nin üzerinde olduğunda yanma kötüleşmekte ve is miktarı artmakta, 40'ın altına düştüğünde ise tutuşma gecikmesi süresi uzamakta ve dizel vuruntusu meydana gelmektedir (Acaroğlu ve ark., 2018).

3.4.2. Dizel indeksi

Dizel indeksi, dizel yakıtların kendi kendine tutuşma süresini ifade etmesidir. Dizel yakıtta setan sayısının ölçülmesi pratik bir durum olmadığından yerine aynı durumu ifade eden dizel indeksi sayısı kullanılmaktadır (Acaroğlu ve ark., 2018; Safgönül ve ark., 1995).

3.4.3. Ateşleme noktası

Dizel motorlarda kullanılan yakıtların yanma odası içerisinde kendiliğinden yanma kabiliyetine ateşlenme noktası denir. Yüksek ateşleme noktasına sahip olan yakıtlar düşük sıcaklıkta yandığı için motor kolay çalışır, yanma esnasında yakıtın vuruntu meyillini azaltır, tutuşmayı kolaylaştırır, emisyon dumanlarını azaltır ve yüksek verim elde edilir (Bilginperk, 1984; Beytekin, 2019).

3.4.4. Kükürt miktarı

Kükürt ham petrol içinde bulunup dizel yakıtta istenmeyen bir maddedir. Ham petrol yanma esnasında oksijenle reaksiyona girerek kükürt dioksit'e dönüşür. Kükürt dioksit egzozdan atılarak insan sağlığına ciddi zararlar verir. Yüksek kükürt miktarı partikül filtresinin tıkanmasına, katalitik konvertörün arızalanmasına neden olur (Acaroğlu ve ark., 2018).

3.4.5. Kül miktarı

Kül oluşumu dizel yakıtı içerisinde bulunan aşındırıcı küçük katı parçacıklar, yağ veya yakıtın içerisinde bulunan suda çözülebilir metalik bileşenlerden oluşur (Öz ve ark. 2006). Katı parçacıklar yakıt pompası, enjektörler, segmanlar ve pistonların aşınmasına neden olduğu gibi motor parçaları üzerinde birikintilere neden olacağından motor performansında kayıplar olacaktır (Acaroğlu ve ark., 2018).

3.4.6. Karbon artığı

Karbon artığı, yakıtta tam bir yanma gerçekleşmemesine bağlı olarak karbon ve is oluşturma özelliğini belirtir. Dizel yakıtındaki karbon atığının miktarı arttıkça yanma sırasında karbon atığının tamamını yakmakta zorlanacak olup bir kısmını yakamayarak is yapmasına neden olacaktır. Böylece karbon artığı enjektör deliklerini tıkararak işlevsiz hale gelmesine neden olacaktır (Çelik, 2015).

3.4.7. Aromatik yüzdesi

Aromatikler yoğunluk olarak en fazla HC içerisinde bulunup, birim hacim başına en yüksek alt ısı değere sahip olduklarından is'li yanarlar. Aromatik yüzdesi fazla olan yakıtın yanma sonucunda yanmayan karbon birikintisi supap ve enjektör meme uçlarında kurum oluşturarak yanma odası hacminin azalmasına neden olacaktır. Yanma odasında biriken artık maddeler yanma verimini azaltarak, motor performans değerlerini de olumsuz etkiler. Dizel yakıtta aromatik bileşen oranının düşürülmesi doğrudan HC emisyonunun düşmesini sağlamaktadır (Nişancı, 2007).

4. BİYODİZEL

Yenilenemeyen yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi yeni alternatif yakıt türlerine olan gereksinimi artırmıştır. Biyodizel asidik oranı düşük tüm bitkisel ve hayvansal yağlardan transesterifikasyon, piroliz, seyreltme ve mikroemülsiyon yöntemlerle viskozite değerleri düşürülerek elde edilebilen yenilenebilir alternatif bir yakıt çeşididir. Biyodizel ve dizel yakıt özellikleri benzer olduğundan dizel motorun yapısında hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabilen çevreci ve ekolojik bir alternatif yakıt türüdür (Efe ve ark., 2018; Mohsin ve ark., 2014). Biyodizel; kanola, aspir, soya, pamuk, ayçiçeği, keten tohumu, yerfıstığı, fındık ve palmye yağı gibi bitkisel yağlardan elde edildiği gibi lokanta ve yemek fabrikalarında atık ve bozulmuş yağlar kullanılarak da üretilmektedir (Küçükşahin, 1999). Bitkisel yağlar dışında biyodizel üretiminde kullanılan hayvansal yağlar da bulunmaktadır. Balık yağı, domuz yağı ve tavuk yağlarından elde edilebildiği gibi hammadde olarak hayvansal iç yağlardan da biyodizel üretilmektedir (Altun ve Öner, 2010). Şekil 4.1’de dizel ve biyodizel yakıt özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Dizel ve biyodizel yakıtlarının özellikleri (NREL, 2008)

Yakıt Özellikleri	Dizel	Biyodizel
Yakıt Standardı	ASTM D 975	ASTM D 6751
Alt Isıl Değeri (kj/kg)	42.000-44.000	39.000-42.000
Kinematik Viskozite (mm ² /sn) 40°C	2-4	2-6
Yoğunluk (gr/cm ³)	800-850	850-900
Setan Sayısı	40-55	48-65
Parlama Noktası (°C)	60-80	100-170
Kaynama Noktası (°C)	188-340	315-350
Bulutlanma Noktası (°C)	-35...+5	-3...+15
Akma Noktası (°C)	-35...-15	-15...+10
Karbon (Ağırlığın % si)	87	77
Hidrojen(Ağırlığın % si)	13	12
Oksijen(Ağırlığın % si)	0	11
Kükürt(Ağırlığın % si)	Max 0,0015	0,0-0,0024

Dizel ve biyodizel yakıtların özellikleri kıyaslandığında büyük farkların olmadığı görülmektedir. Biyodizelin parlama noktası dizel yakıtından daha yüksek olması sayesinde biyodizelin kullanımı, taşınması ve depolanması daha güvenilir bir şekilde

sağlanır. Dizel yakıt özelliklerini iyileştirmek için biyodizel yakıtı ile belirli oranlarda karıştırılır. Elde edilen dizel-biyodizel yakıt karışımındaki amaç yanma sonucunda oluşan zararlı gazların çevreye salınım miktarını düşürmek, motorlardaki yağlanma derecelerini artırarak motor gücünü azaltan birikintilerin çözülmesini sağlamaktır (Özdemir ve Mutlubaş, 2016).

4.1. Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları

4.1.1. Biyodizelin avantajları

- Biyodizel kullanımı dizel yakıtı oranla %47 daha az partikül, %50 daha az ozon delici gaz emisyonu, %48 daha az CO emisyonu, %67 daha az yanmamış HC emisyonu sağlamaktadır (Uluengin, 2017).
- Biyodizel ülkemizin yerel kaynaklarından üretildiğinden yabancı kaynaklara gerek duyulmamaktadır.
- Biyolojik olarak ayrışabilir ve zehirli değildir.
- Aromatik bileşiklerde, dizel yakıtı oranla daha az miktarda kükürt içerir.
- Parlama noktasının, dizel yakıtı oranla daha yüksek olması biyodizel yakıtın taşınmasında ve depolanmasında daha güvenli olmasını sağlar.
- Dizel motorunun teknik yapısında herhangi bir değişiklik yapılmadan biyodizel yakıtı kullanılabilir.
- Oksijen içeriği daha fazla olmasıyla, yanma verimi daha yüksek değerlere sahiptir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

4.1.2. Biyodizelin dezavantajları

- Biyodizel'in ısı değeri dizel yakıtına oranla biraz düşük olması, motordaki yanma sonucunda bir miktar güç kaybına neden olur.
- Biyodizel soğuk iklim bölgelerinde hava şartlarından daha çabuk etkilendiğinden kullanımı sınırlandırılmıştır (Öğüt ve Oğuz, 2006).
- Dizel yakıtı göre viskozitesi biraz daha yüksektir.
- Uçuculuğu dizel yakıtı göre daha düşüktür.
- Biyoyakıtlar yüksek bozulabilirliğe sahip olması, depolanmalarında sorun teşkil etmektedir.

- İyot sayısının yüksek olması yakıt enjektör deliklerinin tıkanmasına ve yanma odasında hasarın meydana gelmesine neden olmaktadır.
- Piston başı, segman yuvası, silindir başı, subap kılavuzları ve enjektör memesi gibi elemanlarda karbon birikmesine neden olmaktadır (Aydın, 2014).

4.2. Biyodizel Yakıtının Özellikleri

4.2.1. Viskozite

Viskozite, sıvıların akmaya karşı gösterdikleri dirençtir. Sıcaklık arttıkça bir sıvının viskozitesi azalır. Yani sıvılar ısıtıldıkça daha kolay akarlar. Dizel motorlarda kullanılan yakıtın viskozitesi yüksek olması kabul edilen bir durum değildir. Viskozitesi yüksek yakıtlar enjektörlerden daha iri tanecik halinde püskürtülür. Böylece yakıtın yanması kötüleşir bu da beraberinde motorda performans değerlerinde kayıplara neden olur (İlkılıç ve ark., 2011).

4.2.2. Yoğunluk

Yoğunluk, motor performansını doğrudan etkileyen parametredir (Barabas ve Adrian, 2017). Yoğunluk yanmaya doğrudan bağlı bir parametre değildir fakat yoğunluğun fazla olması karbon miktarını artırdığı için ısı değeri yükseltir. Yoğunluk ne kadar düşük ise alevlenme noktası da o kadar düşük olur. Biyodizel de yoğunluğun yüksek olması yakıt içerisindeki gliserinin tam olarak uzaklaştırılmadığını gösterir (Ivanis, 2016). Biyodizel yakıtların yoğunlukları dizel yakıtı oranla biraz daha fazladır. Biyodizel yakıt yoğunluğunun yüksek olması pompadan gönderilen yakıt miktarını azaltarak motorun verimini düşürür (İlkılıç ve ark., 2011).

4.2.3. Setan sayısı

Yakıtın kendiliğinden tutuşabilirliğinin bir ölçüsüdür. Biyodizel yüksek setan sayısına sahiptir. Dolayısıyla motorine göre çok daha iyi yanar, motordaki düzensiz çalışmaları yok eder ve vuruntuyu ortadan kaldırır. Böylece motorun daha verimli ve daha yüksek performansında çalışması sağlanmış olur. Setan sayısının yüksek olması tutuşma safhasını uzatarak, püskürtülen yakıt miktarının artışına neden olacağından yakıtın tamamı bir anda yanmasıyla ani basınç artışı olacaktır. Bu da motorun vuruntulu

alışmasına ve motor performansında kayıplara neden olacaktır (Kaya, 2017; İlkılıç ve ark., 2011).

4.2.4. Isıl değer

Yakıtların birim kütlesinin tam olarak yanmasıyla ortaya çıkan ısı miktarına ısı değeri denir. Bitkisel yağlardan üretilen biyodizelin oksijen içeriğinden dolayı ısı değeri yaklaşık %11 dizel yakıtına göre daha düşüktür. Motor performansı olarak dizel motoruna ulaşmak için yakıt miktarını artırmak gerekir ki, bu da yakıt sarfiyatını arttırır (Tosun, 2017).

4.2.5. Akma noktası

Akma noktası yakıtın hala aktığı ve pompalanabildiği en düşük sıcaklıktır. Biyodizel, dizel yakıttan daha yüksek akma değeri sahtir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Soğuk bölgelerde ve havalarda kullanılan biyodizel akış özelliğinin yeterli olmaması beraberinde filtre tıkanmalarına neden olmaktadır. Bu da biyodizel kullanım alanını kısıtlamaktadır (anakı ve Şanlı, 2008).

4.2.6. Parlama noktası

Parlama noktası sıvı buharının parlayabilir bir atmosfer meydana getirdiği en düşük sıcaklıktır. Biyodizelin dizel yakıttan üstün olan bir özelliği de parlama noktasının yüksek olmasıdır. Bu üstün özellik biyodizelin depolama, taşıma kolaylığı ve güvenliğini beraberinde getirmektedir (Akyarlı ve ark., 2004).

4.2.7. Bulutlanma noktası

Bulutlanma noktası, soğuk iklim şartlarında soğuyan sıvı yakıtın içerisinde kristalleşmenin ilk görüldüğü sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Biyodizel üretiminde kullanılan hayvansal ve bitkisel yağlar yüksek miktarlarda doymuş yağ asidi içermesi yüksek sıcaklıklarda kristalleşmeye neden olur. Kullanılan yakıtın sıcaklığı bulutlanma noktası sıcaklığından yüksek ise yakıt sorunsuz bir şekilde kullanılır ancak yakıt sıcaklığı bulutlanma noktası sıcaklığının altına düşükçe yakıtta kristalleşmeler oluşacağından filtrede tıkanmalara neden olacaktır (Akyarlı ve ark., 2004; Eryılmaz, 2009).

4.2.8. İyot sayısı

İyot sayısı yüksek yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara ve yanma odasında hasara neden olmaktadır (Kaya, 2007).

4.2.9. Su içeriği

Normal şartlarda bitkisel yağlardan üretilen biyodizel yakıtı içerisinde su bulunması istenmez. Su ve yakıt oranlarının uygun olması yanma sıcaklığını ve NO_x emisyonlarını azaltır. Ancak yüksek basınçlı enjektör sisteminde su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde bölgesel çürümelere sebep olabilir. Bitkisel yağlar için prEN ISO 12937 ye göre belirlenen maksimum değer kütlenin % 0,0075'i geçmemelidir (Kaya, 2007).

4.2.10. Karbon artığı

Karbon artığı enjektör deliklerinde veya yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır. Bu da enjektör memelerinin karbon bağlamasına ve meme deliklerinin tıkanmasına neden olur. ASTM D6751 standardında biyodizelin karbon artığı maksimum %0,05 olarak sınırlandırılmıştır (Yeşilyurt, 2017).

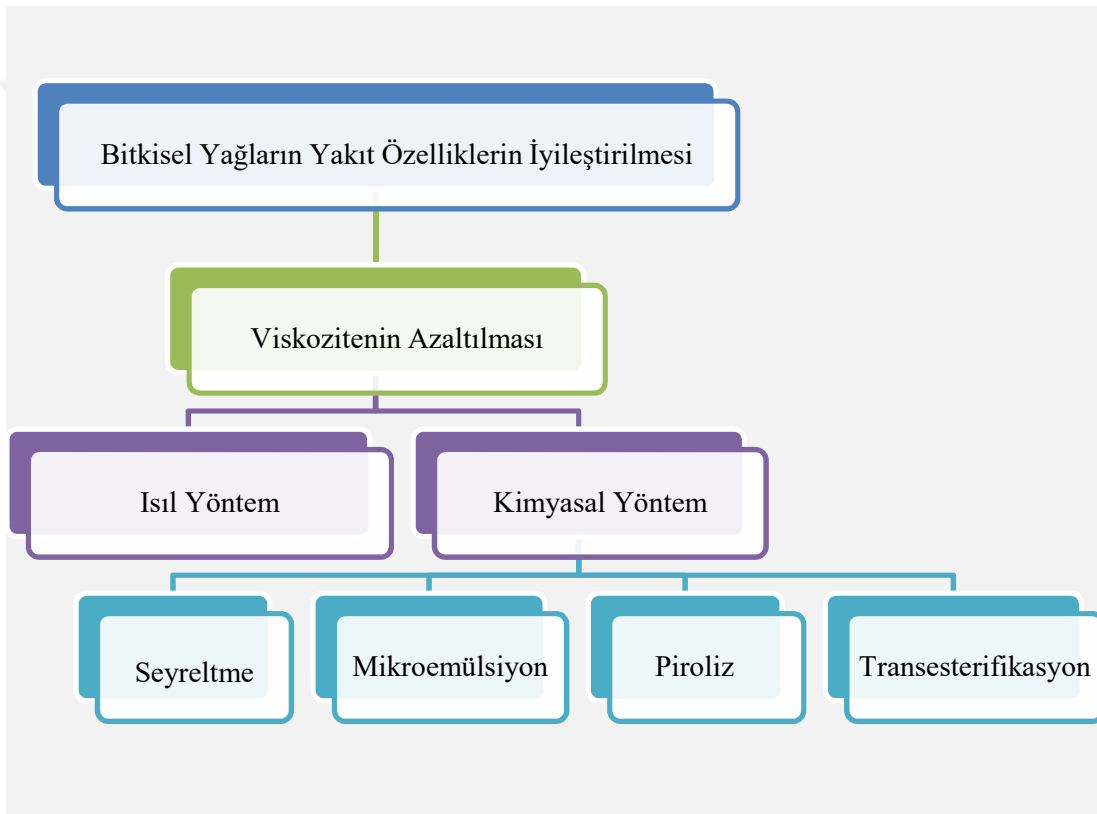
4.2.11. Kükürt içeriği

Kükürt, motora ve çevreye verdiği zararlar sebebi ile yakıt içinde istenmez. Yakıttaki kükürt miktarının fazla olması motor parçalarının aşınmasına ve tortu oluşmasına neden olmaktadır. Biyodizel yakıtlarında kükürt miktarı çok azdır. TS EN 14214 standardında biyodizelin kükürt içeriği en fazla 10 mg/kg olarak verilmiştir (Yeşilyurt, 2017).

4.3. Biyodizel Üretim Metotları

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak için iki yöntem üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu yöntemlerden ilki motor ayarlarının değiştirilmesi ikincisi bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesidir. Motor üzerinde yapılacak öncelikli ayarlamalar; püskürtme basıncının ve püskürtme zamanının değiştirilmesidir. Ayrıca motor üzerinde yapılacak değişimler maliyetli olması bu yöntemin

kullanılmasını kısıtlamıştır. Yakıt üzerindeki iyileştirme çalışmaları genellikle bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması üzerine olmuştur. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında ısıl yöntem ve kimyasal yöntem üzerinde durulmuştur. Isıl yöntem ile motorda kullanılacak bitkisel yağların ön ısıtma ile sıcaklığı artırılarak yakıtın viskozitesi düşürülerek kullanılması amaçlanmıştır. Fakat bu yöntemin hareket halindeki araç motorunda uygulanması zor olduğu için tercih edilmemektedir. Kimyasal yöntemde seyreltme, mikroemülsiyon, piroliz ve transesterifikasyon olmak üzere dört başlık altında bulunur (Koçer ve Durmuş, 2019). Şekil 4.1’de bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirme yöntemleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirme yöntemleri (Alptekin ve Çanakçı, 2006)

4.3.1. Seyreltme yöntemi

Kullanılmayan atık yağlar ve bitkisel yağlar belirli oranlarda dizel yakıtıyla karıştırılmaktadır. Böylece viskozite değeri düşürülür ve dizel yakıtların kullanım miktarı da azaltılmış olur. Elde edilen yakıtın dizel yakıtı göre maliyetinin daha düşük olduğu ve motor performans değerlerinin de dizel yakıtı yakın olması bitkisel yakıtlar üzerindeki çalışmaları hızlandırmıştır. Dizel-Biyodizel yakıt karışım oranları genellikle

B20, B40, B60, B80 şeklinde kullanılmaktadır. Uygulamada kullanılan en yaygın karışım B20 yakıtıdır (Ulusuy ve Alibaş, 2002; Mutlubaş, 2016).

4.3.2. Mikroemülsiyon yöntemi

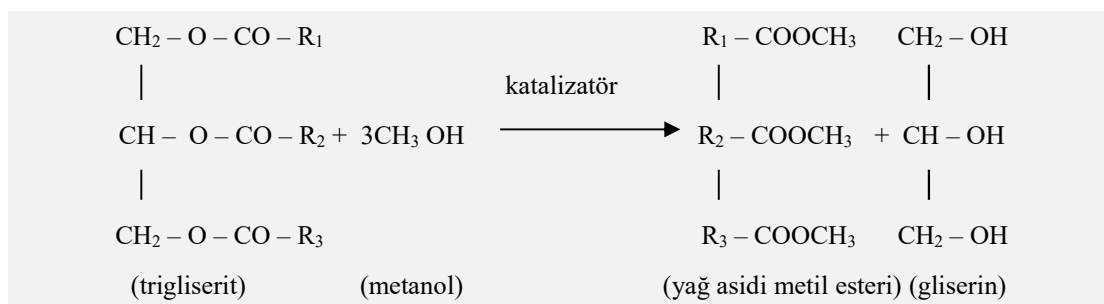
Metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikroemülsiyon durumuna getirilmesi ile viskozite değerinin düşürülmesi işlemidir. Bu yöntemde alkollerin setan sayılarının düşük olması ve düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesi dezavantajlarını da beraberinde getirir (Eliçin, 2011).

4.3.3. Piroliz yöntemi

Bitkisel yağlardan piroliz yöntemiyle ürün elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan ilki bitkisel yağları kapalı bir kap içinde molekülleri yüksek sıcaklık altında parçalayarak daha küçük moleküller elde ederek viskozite sayısını azaltmaktır. Fakat bu yöntem için yüksek maliyet gerekmektedir. İkinci yöntem ise standart ASTM distilasyonu ile ısıl parçalanma etkisinde tutmaktır. Bu yöntemle elde edilen bitkisel yağ, dizel yakıtına daha yakın özellik taşımaktadır (Mutlubaş, 2016).

4.3.4. Transesterifikasyon yöntemi

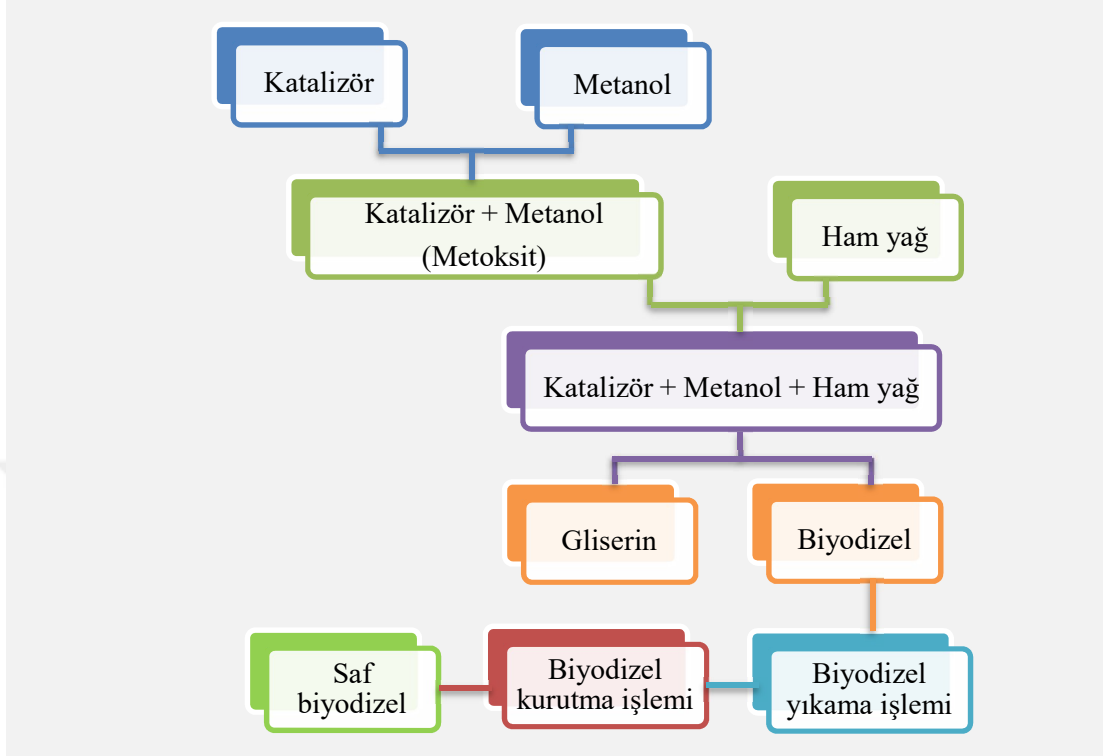
Bitkisel ve hayvansal yağların dizel motorlarda kullanılmasını engelleyen en önemli etken viskozitenin yüksek değerlere sahip olmasıdır. Şekil 4.2’de bitkisel yağın transesterifikasyonu işlemi verilmiştir.



Şekil 4.2. Bitkisel yağın transesterifikasyonu (Mutlubaş ve Özdemir, 2016)

Transesterifikasyon yönteminde bitkisel yağın (trigliserit), metil alkol ve katalizör ile reaksiyona sokularak yağ asidi metil esteri (biyodizel) ve gliserin elde edilir. Gliserin yağ esterinden uzaklaştırılarak reaksiyon sonucunda viskozitesi yaklaşık %90 azaltılmış

biyodizel elde edilmiş olur. (Alptekin, 2013). Şekil 4.3’de transesterifikasyon işlemi genel şeması verilmiştir.



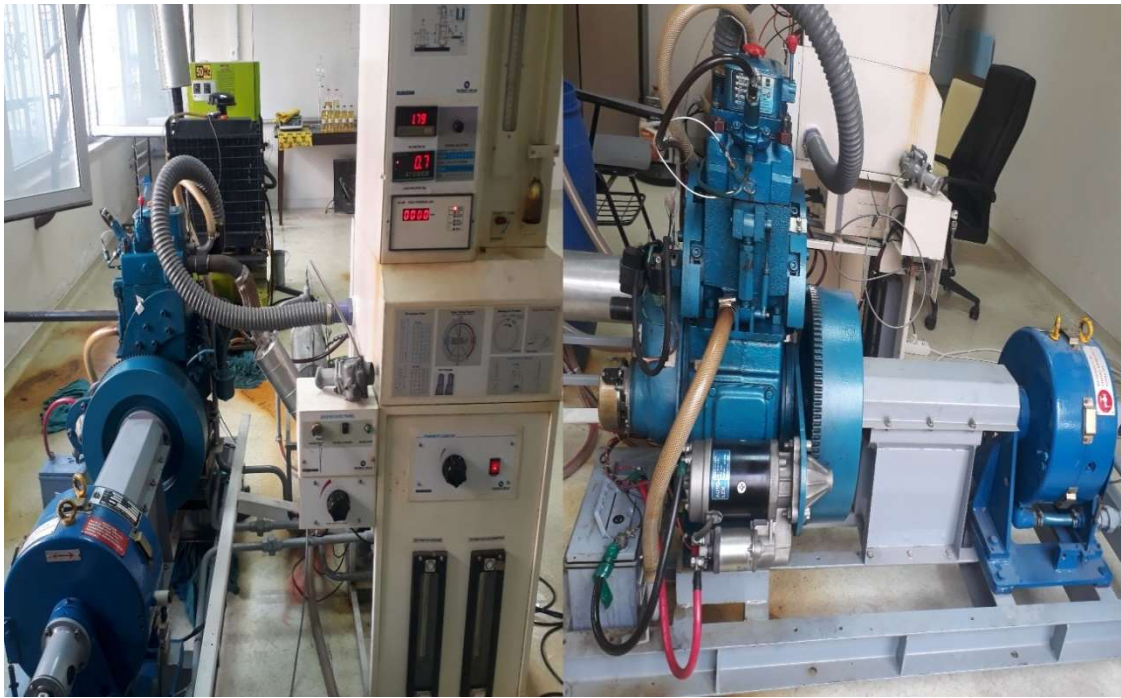
Şekil 4.3. Transesterifikasyon işlemi genel şeması (Aydın, 2010)

Katalizör ve metanol birbiri içinde tam olarak çözüldükten sonra suyundan ve partiküllerinden arındırılmış bitkisel yağa ilave edilerek tepkimeye sokulur. Elde edilen karışımdan yoğunluk farkıyla dibe çöken gliserin ayrıştırılır. Üst kısımda kalan biyodizel, yıkama işlemine tabi tutularak yakıt içinde kalan gliserin ve partiküllerin dibe çökmesi sağlanır. Yıkama işleminden sonra biyodizel yakıtında kalan suyun ısıtılarak kurutma işlemine tabi tutulduktan sonra saf biyodizel yakıtı elde edilmiş olur.

5. MATERİYAL VE YÖNTEM

5.1. Deneyde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri

Motor deney çalışmaları Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölümüne bağlı atölyede gerçekleştirilmiştir. Yanma ve emisyon değerleri için dizel yakıtı baz alınarak DY, B25, B65, KB25 ve KB65 yakıt karışımlarının silindir gaz basıncı, basınç artış oranı, ortalama gaz sıcaklığı, kümülatif ısı salınımı ve net ısı salınımı değerleri Şekil 5.1’de görülen deney motor düzeneğinde tespiti yapılarak, grafiksel olarak değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Deney motorunun görüntüsü

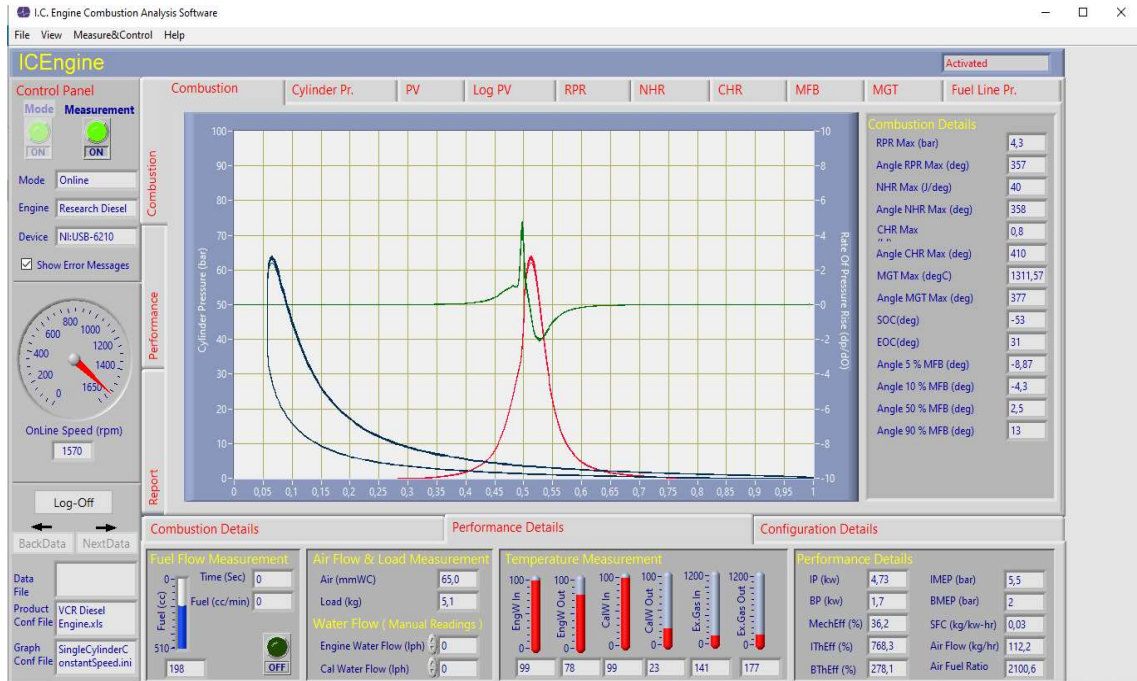
Yanma ve emisyon değerlerinin tespitinde kullanılan dizel motorunun teknik özellikleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Test yakıtlarının dizel araştırma motorunda yanma ve emisyon değerleri 0 OEB, 2 OEB, 4 OEB ve 6 OEB parametrelerinde ve aynı deney koşullarında alınmıştır.

Tablo 5.1. Deney motorunun teknik özellikleri

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

5.2. Deneyde Kullanılan Icenginesoft_9.0 Programı

Yapılan çalışmada yanma verileri için ICEngineSoft_9.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. ICEngineSoft_9.0 uygulaması eş zamanlı olarak motordan aldığı verileri bilgisayara aktarmaktadır. Şekil 5.2'de silindir gaz basıncının 2 OEB'deki B25 yakıtının ICEngineSoft_9.0 programına ait ekran görüntüsü verilmiştir.

**Şekil 5.2.** ICEngineSoft_9.0 programının ekran görüntüsü

5.3. Deneyde Kullanılan Gaz Analiz Cihazı

Deney çalışmalarında CAPELEC marka CAP 3200 model emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzoz gazı cihazıyla DY, B25, B65, KB25 ve KB65 yakıt karışımları test edilmiştir. Beş farklı yakıtın CO₂, CO, HC, NO_x ve O₂ egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Egzoz gazı emisyon cihazı Şekil 5.3’de görülmektedir.



Şekil 5.3. Egzoz gazı analiz cihazı

Çalışmalarda egzoz emisyon cihazı olarak CAPELEC marka CAP 3200 model dizel ve benzinli emisyon cihazının teknik özellikleri Tablo 5.2’de görülmektedir.

Tablo 5.2. Egzoz gazı cihazının teknik özellikleri

Araç tipi	Dizel + Benzin
O ₂ ölçüm aralığı	0-%21,7
CO ₂ ölçüm aralığı	0-%20
HC ölçüm aralığı	20000 ppm
CO ölçüm aralığı	0-%15
N duman koyuluğu	0-%100
K opasite	0-%9,99
NO _x ölçüm aralığı	0-5000 ppm
Motor devri	0-10000 rpm
Yağ sıcaklığı	0-150 °C
Cihazın ağırlığı	7 kg
Çalışma voltajı	220 V AC

5.4. Deneyde Kullanılan Mangan Katkısı

Deney çalışmasında kullanılan mangan katkı maddesi sentez laboratuvar kimyasalları firmasından hazır şekilde temin edilmiştir. Yer yüzünde katı halde bulunan Mn bileşikleri 300 den fazla minerale sahip olup, ticari olarak en fazla kullanılan bileşik mangan dioksit (MnO_2) tir. Mangan dioksit %78-85 arasında batarya sanayisinde, %74-84 arasında kimya sanayisinde kullanılmaktadır. Şekil 5.4’de mangan katkı maddesi görülmektedir.



Şekil 5.4. Mangan katkı maddesi

Kullanılan katkı maddesinin yoğunluk değeri 1.014 gr/cm^3 olup dizel ve biyodizel yoğunluk değerinden bir miktar yüksektir. Günümüzde halen kullanılmakta olan fosil yakıtların azalmasıyla alternatif yakıt olarak kullanılan bitkisel yağlardan üretilen yakıtların özelliklerini iyileştirmek ve dizel yakıtına eşdeğer yakıt elde etmek için çeşitli kimyasal katkı maddeleri kullanılmakta olup, bu çalışmada mangan katkı maddesi kullanılmıştır. Literatür çalışmalarında Mn esaslı katkı maddesinin yanma artırıcı görevi gördüğünden, setan sayısında artış olduğu buna bağlı olarak da donma noktasını azalttığı görülmüştür. Ayrıca mangan katkı maddesi, biyodizel yakıtının dezavantajları

arasında yüksek viskozite ve yoğunluk, düşük ısıl değerlerini de iyileştirmiştir (Anonim).

5.5. Deneyde Kullanılan Yakıtlar

Yakıtların hazırlanması Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölümüne bağlı atölyede gerçekleştirilmiştir. Deney için hazırlanan yakıtlar egzoz emisyon ve yanma testleri için D100 yakıtı baz alınırken yakıtların kimyasal ve fiziksel özelliklerinin tespiti için B100 yakıtı baz alınmış olup D100, B100, B25, B65, KB25 ve KB65 altı farklı yakıt üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Şekil 5.5’de deneyde kullanılan yakıt numuneleri verilmiştir.



Şekil 5.5. Deneyde kullanılan yakıtlar

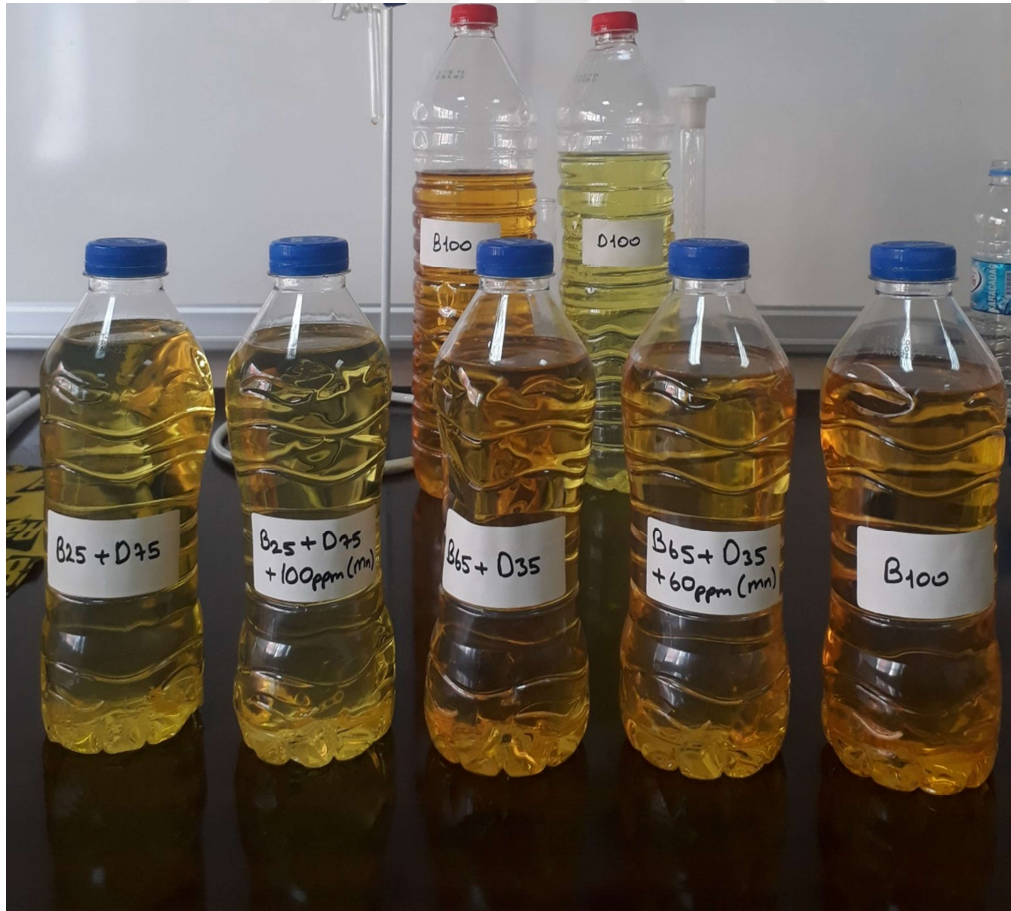
Dizel ve biyodizel yakıt karışımlarından elde edilen 1000 ml'lik yakıt numuneleri hazırlanarak, B25 ve B65 yakıt karışımlarına sırasıyla 100 ppm ve 60 ppm mangan standart çözeltisi $Mn(NO_3)_2$ eklenerek, mangan katkılı KB25 ve KB65 yakıtları elde edilmiştir. Yakıt karışım oranları Tablo 5.3'te görülmektedir.

Tablo 5.3. Deneyde kullanılan yakıt karışım oranları

D100	Dizel
B100	Biyodizel
B25	%25 Biyodizel + %75 Dizel
B65	%65 Biyodizel + %35 Dizel
KB25	%25 Biyodizel + %75 Dizel +100ppm (Mn)
KB65	%65 Biyodizel + %35 Dizel + 60ppm (Mn)

5.6. Deney Yakıtlarının Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

B100, B25, B65, KB25 ve KB65 yakıtlarının kimyasal ve fiziksel özelliklerinin tespiti için Şekil 5.6'da yakıt analizinde kullanılan yakıt karışım numuneleri verilmiştir.



Şekil 5.6. Kimyasal ve fiziksel özelliklerin analizinde kullanılan yakıt karışımları

Yakıt karışımlarını elde etmek için dizel yakıt Diyarbakır'da Total akaryakıt istasyonundan temin edilip, katkı maddesi için 'mangan standart çözeltisi' sentez laboratuvar kimyasalları satan firmadan temin edilmiştir. Özel bir kuruma ait yemekhaneden atık kızartma yağı alınarak, Batman Üniversitesi Otomotiv Bölümü atölyesinde biyodizel üretimi yapılmıştır. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de deney çalışmalarında kullanılacak bazı cihaz görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.7. Distilasyon(A) yoğunluk(B) ve viskozite(C) cihazı görüntüsü



Şekil 5.8. Ölçüm ve ısıtıcı görüntüsü

Yakıt analizleri için B100, B25, B65, KB25 ve KB65 yakıtları TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) tarafından analizleri yapılarak her yakıt için ayrı ayrı viskozite, yoğunluk, parlama noktası, donma noktası, setan indisi ve alt ısı değer parametreleri standartlara uygun olarak analizleri yapılmış olup ve çıkan sonuçlar Tablo 5.4, Tablo 5.5, Tablo 5.6, Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.4. B100 yakıt analiz sonucu

Yakıt analizi (B100)	Birim	Analiz sonucu	Analiz metodu
Viskozite 40 °C	<i>mm²/s</i>	5,292	ASTM D 445
Yoğunluk 15 °C	<i>kg/m³</i>	890,8	ASTM D 4052
Parlama noktası	<i>°C</i>	165,5	ASTM D 93
Donma noktası	<i>°C</i>	-2	ASTM D 2386
Setan indisi	-	53,7	EN ISO 4264
Isıl değer	<i>kJ/kg</i>	39,34	ASTM D 240

Tablo 5.5. B25 yakıt analiz sonucu

Yakıt analizi (B25)	Birim	Analiz sonucu	Analiz metodu
Viskozite 40 °C	<i>mm²/s</i>	3,344	ASTM D 445
Yoğunluk 15 °C	<i>kg/m³</i>	848,6	ASTM D 4052
Parlama noktası	<i>°C</i>	70,5	ASTM D 93
Donma noktası	<i>°C</i>	-4	ASTM D 2386
Setan indisi	-	53,6	EN ISO 4264
Isıl değer	<i>kJ/kg</i>	43,67	ASTM D 240

Tablo 5.6. B65 yakıt analiz sonucu

Yakıt analizi (B65)	Birim	Analiz sonucu	Analiz metodu
Viskozite 40 °C	<i>mm²/s</i>	4,216	ASTM D 445
Yoğunluk 15 °C	<i>kg/m³</i>	869,7	ASTM D 4052
Parlama noktası	<i>°C</i>	84,5	ASTM D 93
Donma noktası	<i>°C</i>	-3	ASTM D 2386
Setan indisi	-	50,2	EN ISO 4264
Isıl değer	<i>kJ/kg</i>	41,42	ASTM D 240

Tablo 5.7. KB25 yakıt analiz sonucu

Yakıt analizi (KB25)	Birim	Analiz sonucu	Analiz metodu
Viskozite 40 °C	<i>mm²/s</i>	3,291	ASTM D 445
Yoğunluk 15 °C	<i>kg/m³</i>	846,4	ASTM D 4052
Parlama noktası	<i>°C</i>	68,5	ASTM D 93
Donma noktası	<i>°C</i>	-3	ASTM D 2386
Setan indisi	-	53,3	EN ISO 4264
Isıl değer	<i>kJ/kg</i>	43,83	ASTM D 240

Tablo 5.8. KB65 yakıt analiz sonucu

Yakıt analizi (KB65)	Birim	Analiz sonucu	Analiz metodu
Viskozite 40 °C	mm ² /s	4,184	ASTM D 445
Yoğunluk 15 °C	kg/m ³	869,0	ASTM D 4052
Parlama noktası	°C	84,5	ASTM D 93
Donma noktası	°C	-3	ASTM D 2386
Setan indisi	-	50,8	EN ISO 4264
Isıl değer	kJ/kg	41,50	ASTM D 240

- **Viskozite:** B100, B25 ve B65 yakıtlarında ki viskozite analiz sonuçları sırasıyla 5,292, 3,344 ve 4,216 mm²/s olarak belirlenmiştir. Yakıtlara standart mangan çözeltisi eklendiğinde KB25 ve KB65 yakıtlarının viskozite analiz sonuçları sırasıyla 3,291 ve 4,184 mm²/s değerleri elde edilmiş ve sonuç olarak Mn katkı maddesi viskozite değerini düşürdüğü tespit edilmiştir.
- **Yoğunluk:** B100, B25 ve B65 yakıtlardaki yoğunluk analiz sonuçları sırasıyla 890,8, 848,6 ve 869,7 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Yakıtlara standart mangan çözeltisi eklendiğinde KB25 ve KB65 yakıtlarının yoğunluk analiz sonuçları sırasıyla 846,4 ve 869 mm²/s değerleri elde edilmiş ve sonuç olarak Mn katkı maddesi yoğunluk değerini düşürdüğü tespit edilmiştir.
- **Parlama noktası:** B100, B25 ve B65 yakıtlardaki parlama noktası analiz sonuçları sırasıyla 165,5, 70,5 ve 84,5 °C olarak belirlenmiştir. Yakıtlara standart mangan çözeltisi eklendiğinde parlama noktasındaki KB25 yakıt değeri 2°C düşerek 68,5°C, KB65 yakıtı ise 84,5°C lik değeri ile sabit kaldığı tespit edilmiştir.
- **Donma noktası:** B100, B25 ve B65 yakıtlardaki donma noktası analiz sonuçları sırasıyla -2, -4 ve -3 °C olarak belirlenmiştir. Yakıtlara standart mangan çözeltisi eklendiğinde donma noktasındaki KB25 yakıt değeri -3 °C, KB65 yakıtı ise -3°C lik değeri ile sabit kaldığı tespit edilmiştir.
- **Setan indisi:** B100, B25 ve B65 yakıtlardaki setan indisi analiz sonuçları sırasıyla 53,7, 53,6 ve 50,2 olarak belirlenmiştir. Yakıtlara standart mangan çözeltisi eklendiğinde karışımdaki setan indisi KB25 yakıt değerini 53,3 olarak

bir miktar düşürürken, KB65 yakıt değerini ise 50,8 olarak artış sağladığı gözlemlenmiştir.

- **Isıl değer:** B100, B25 ve B65 yakıtlardaki ısı değer analiz sonuçları sırasıyla 39,34, 43,67 ve 41,42 kJ/kg olarak belirlenmiştir. Yakıtlara standart mangan çözeltisi eklendiğinde ısı değeri KB25 ve KB65 yakıtlarının analiz sonuçları sırasıyla 43,83 ve 41,50 kJ/kg değerleri elde edilmiş ve sonuç olarak Mn katkı maddesi ısı değeri yükseldiği gözlemlenmiştir.



6. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

6.1. Atık Kızartma Yağından Biyodizel Üretimi

Biyodizel üretim aşamasında bitkisel yağların özelliklerini iyileştirmek için daha önceki çalışmalarda biyodizel üretiminde elde edilen viskozite değerleri, dizel yakıtına yakın değerlerde olduğundan en yaygın olarak tercih edilen transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Biyodizel üretimi metil alkol, etil alkol, izopropil alkol ve bütil alkol çeşitleriyle yapılabilmektedir. Ancak daha önce yapılan çalışmalarda metil alkol saydığımız diğer alkollerden daha uygun maliyete sahip olduğu ve daha iyi sonuçlar elde edildiğinden çalışmada metil alkole öncelik verilmiştir (Meher ve ark., 2006). Reaksiyon işlemini tamamlamak için çalışmada sodyum hidroksit katalizörü kullanılmıştır (Gerpen, 2005).

6.1.1. Alkol ve katalizörün karıştırılması

Biyodizel üretiminde ilk aşama katalizörün elde edilmesi aşamasıdır. Ticari olarak temin edilen Sigma-Aldrich marka sodyum hidroksit ve dekanol marka % 99 saflıkta metil alkol kullanılmıştır. Şekil 6.1’de sodyum hidroksit ve metil alkol görülmektedir.



Şekil 6.1. Sodyum hidroksit(A) ve metil alkol(B)

Atık bitkisel yağlardan biyodizel üretimini Batman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü deney atölyesinde yapıldı. Karışımın elde edilmesi için kullanılan atık kızartma yağının % 0,5 oranında sodyum hidroksit (NaOH) katalizörü ve

% 20 oranında metil alkol (CH_3OH) kullanılmıştır (Çıldır ve ark., 2006). Belli oranlarda karıştırılan alkol ve katalizör bir kaba boşaltarak, dijital ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ve manyetik balık kullanılarak karışım yaklaşık 30 dakika boyunca 400 rpm da sodyum hidroksit katalizörü metil alkol içinde tam olarak çözülmesi sağlandı.

6.1.2. Transesterifikasyon reaksiyonu

Alkol ve katalizör (Şekil 6.2) belli oranlarla karıştırılıp birbiri içinde çözüldükten sonra kapalı bir kaba alındı. Atık kızartma yağı reaksiyona girmeden önce partiküllerden ve sudan arındırılması gerekmektedir. Atık yağ, partiküllerden arındırmak için filtre kâğıdı kullanıldı. Süzülen yağ sudan arındırmak için manyetik ısıtıcı yardımıyla 1 saat boyunca $100\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta 600 rpm de karıştırılarak yağ içindeki su buharlaştırıldı.



Şekil 6.2. Reaksiyon karışımı

Alkol ve katalizör karışımı, suyundan ve partiküllerinden arındırılmış atık yağ ile karıştırıldı. Karışımındaki alkolün buharlaşmasını engellemek için kabın üzeri alüminyum folyo ile kapatıldı. Yeni karışım manyetik ısıtıcı yardımıyla 2 saat boyunca $55\text{ }^\circ\text{C}$

sıcaklıkta ve karışımın daha homojen bir şekilde gerçekleşmesi adına manyetik balık yardımıyla 600 rpm de karıştırıldı.

6.1.3. Gliserin ayırma

Transesterifikasyon reaksiyonu tamamlandıktan sonra karışım ayırma hunisine alındı. Reaksiyon biyodizel ve gliserinden oluşan iki faz yoğunluk farkına bağlı olarak ayrılır. Yoğunluğu fazla olan gliserin damıtma hunisinin alt kısmına çöker (Altun, 2009). Şekil 6.3’de Gliserin ve metil esterinin ayrılması gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Gliserin ve metil esterinin ayrılması

Faz ayırma çalışmalarında farklı saatlerde bekleme denemeleri yapılmış olup ilk denemede 48 saat bekleme sürecinde gliserin katı hale geldiğinden damıtma hunisinden

damıtılamadığı, ikinci denemede 24 saat bekleme sürecinde gliserinin damıtma hunisinde damla damla aktığı, son denemede 3 saat bekletildiğinde gliserinin dip kısmına tam çöktüğü ve diğer denemelere göre daha akışkan yapıya sahip olduğu için ayırma hunisinden de daha kolay şekilde aktığı görülmüş, daha sonraki deneylerde 3 saat baz alınarak yapılmıştır.

6.1.4. Gliserinin uzaklaştırılması

Gliserin ve yağ esterinin birbirinden ayrıştıktan sonra damıtma işlemine tabi tutularak gliserin damıtılarak uzaklaştırılmış. Elde edilen gliserin içerisinde bir miktar su ve alkol kalabilmekte alkol ve sudan arındırılan gliserin kimya, kozmetik ve ilaç sanayisinde kullanılır (Yenioğlu, 2009). Şekil 6.4’de gliserinin yağ esterinden uzaklaştırılması görülmektedir.

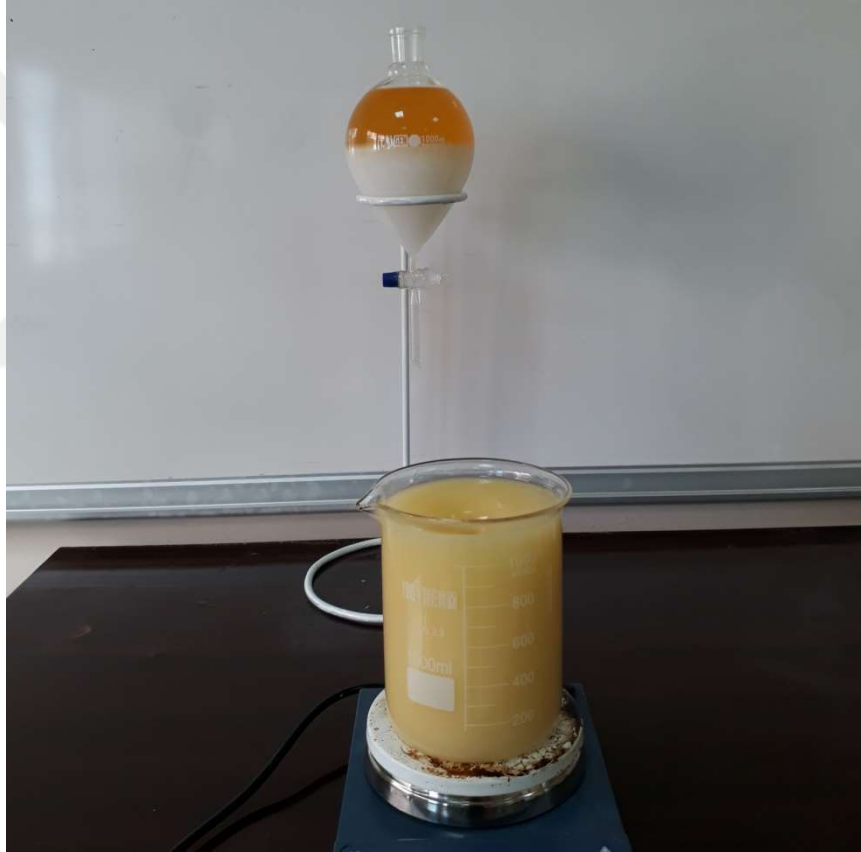


Şekil 6.4. Gliserinin yağ esterinden uzaklaştırılması

Yapılan çalışmada 500 ml atık bitkisel yağ, 2,5 gr sodyum hidroksit ve 100 ml metil alkol kullanılması sonucu toplam 70 ml gliserin elde edilmiştir. Bir sonraki aşamaya geçmeden önce elde ettiğimiz metil ester bir ay boyunca dinlendirilerek ayrışmayan gliserinin dibe çökmesi sağlandı.

6.1.5. Metil ester yıkama işlemi

Biyodizel ve gliserin birbirinden ayırdıktan sonra yıkama işlemine geçildi. Biyodizel içinde tepkimeye girmeyen katalizör ve sabunların atılması için yıkanarak istenmeyen maddelerden arındırılır. Şekil 6.5’de biyodizel ve saf su karışımı görülmektedir.



Şekil 6.5. Biyodizel ve saf su karışımı

Yıkama işleminde ticari olarak temin edilen pers marka saf su kullanıldı. Magnezyum ve kalsiyum kirecinden arındırılmış saf su, üretilen biyodizel yakıtının daha verimli olmasını sağlamaktadır. Çalışmada 500 ml biyodizel ve 500 ml saf su kullanılmıştır. Manyetik ısıtıcı yardımıyla 70-80 °C ye kadar ısıtılan saf su içine biyodizel eklenerek manyetik karıştırıcı yardımıyla daha homojen bir karışım elde edilmesi amacıyla toplam

15 dakika 600 rpm de karıştırıldı. Şekil 6.6'da Biyodizel yıkama aşamaları görülmektedir.



Şekil 6.6. Biyodizel yıkama aşamaları

Toplam 15 dakika karıştırılan biyodizel-saf su hızlı bir şekilde ayırma hunisinde askıya alınıp, toplamda 45 dakika askıda bırakılarak yoğunluğu fazla olan maddeler alt kısımda toplanması sağlandı. Yapılan çalışmada ilk yıkamada dibe çöken sabun miktarı renginden de anlaşılacağı gibi daha bulanıktır. İkinci yıkamada dibe çöken sabun renginde açılma ve üst kısımda kalan biyodizel de bir miktar daha berraklaşma olmuştur. Üçüncü yıkamada dibe çöken sabun miktarında azalma olduğundan suyun daha da berraklaştığı ve biyodizel de istenilen sarı renge yaklaşılmıştır. Dördüncü ve son yıkamada işlem tekrarlanır ve karışım askıya alınıp 45 dakikanın sonunda alt kısımdaki su içinde sabun maddesinin olmadığı ve suyun tam berrak olduğu, üst kısımdaki biyodizelin istenilen açık sarı görünümünde olduğundan daha fazla yıkama işlemine gerek duyulmadan yıkama işlemine son verilerek bir sonraki işleme geçildi.

6.1.6. Biyodizel saflaştırma işlemi

Biyodizel yıkama işleminden sonra yakıt içinde kalmış suyun uzaklaştırılması için kurutma işlemine tabi tutulur. Şekil 6.7’de biyodizelin yıkanmış ve saf hali görülmektedir.



Şekil 6.7. Biyodizelin yıkanmış ve saf hali

Kurutma işleminde manyetik ısıtıcı ve manyetik balık’ tan faydalanıldı. Manyetik balık karıştırıcısı kullanılmasıdaki amaç homojen karışım sağlanması ve biyodizel içinde bulunan suyun belli bir sıcaklığa ulaşıldıktan sonra oluşan su damlacıklarının ani patlamalarının önüne geçilerek, oluşabilecek olası tehlikenin önüne geçmektir. Biyodizel manyetik ısıtıcı yardımıyla 120 °C sıcaklıkta 600 rpm’de yaklaşık olarak 60 dakika boyunca ısıtılacak biyodizel içinde bulunan suyun buharlaşması yöntemiyle uzaklaştırılmasını sağlamıştır.

6.1.7. Biyodizelin filtre işlemi

Biyodizel yıkama işlemi tamamlandıktan sonra filtre işlemi dört numaralı filtre kâğıdı ile gerçekleştirildi. Biyodizelin filtre yapılmasındaki amaç temiz yakıt elde edilerek partiküllerin yakıt içine geçişini engelleyerek olası araç arızalarının önüne geçmektir. Şekil 6.8’de biyodizelin filtre edilmesi görülmektedir.



Şekil 6.8. Biyodizelin filtre edilmesi

6.1.8. Biyodizelin gözle kontrolü

Atık kızartma yağı filtre işleminden sonra içindeki sudan arındırmak için ısıtılarak buharlaştırılır. Sodyum hidroksit katalizörü metil alkol içinde çözülünceye kadar karıştırıldı. Karışım yağ içine eklenerek 15 dakika karıştırıldıktan sonra damıtma hunisine alınarak 45 dakika beklenerek iki ayrı fazın oluşması sağlandı. Biyodizel ve gliserin olmak üzere iki faz elde edildi. Gliserin damıtma hunisi yardımıyla damıtıldı. Şekil 6.9’da biyodizel yakıtının saf hali görülmektedir.



Şekil 6.9. Saf biyodizel

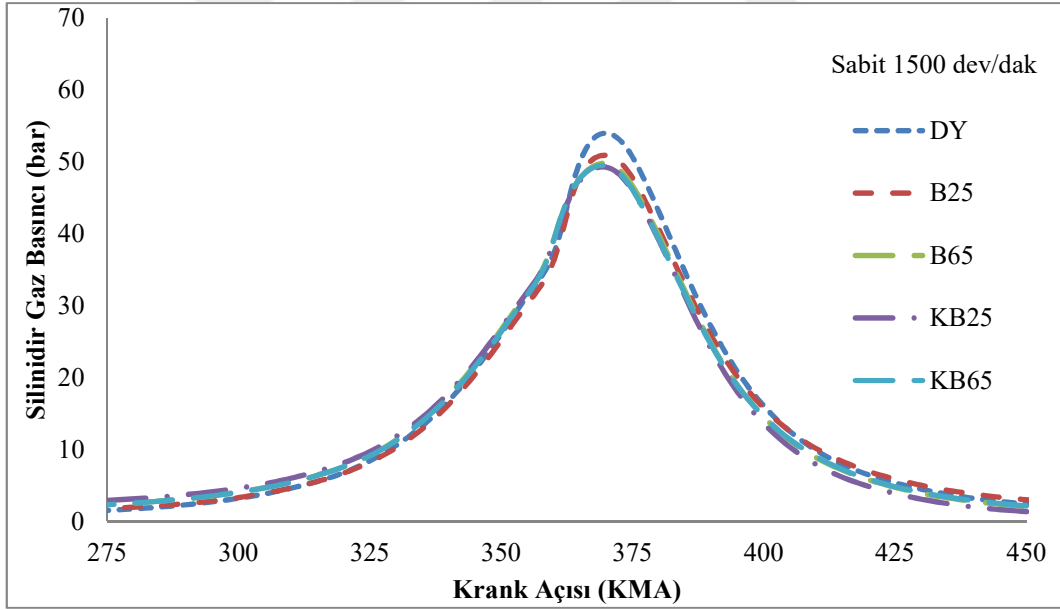
Elde edilen biyodizel, 70-80 °C sıcaklıktaki saf su ile dört defa yıkandıktan sonra suyundan uzaklaştırmak üzere 120 °C ye kadar ısıtılarak suyu buharlaştırıldı. Biyodizel depolanmak için filtre kâğıdı ile süzüldü. Üretim aşamasında biyodizel ve gliserin olmak üzere iki farklı faz oluştu. Oluşan fazlardan üstteki kısım açık sarı renkte altta kalan kısım ise daha az ve siyah renktedir. Yapılan deneylerde 500 ml ve 800 ml atık kızartma yağı ile yapılan çalışmada biyodizel oranı % 86-89 değerleri arasında, alt kısımda kalan gliserinin ise % 11-14 değerleri arasında olduğu tespiti yapılmıştır. Sonuç olarak tüm aşamalardan sonra ortaya açık sarı renkli biyodizel elde edilmiştir.

6.2. Dizel Motorda Yanma Değerleri

Deney çalışmalarında DY, B25, B65, KB25, KB65 olmak üzere beş farklı yakıt türü test edilmiştir. Dizel ve biyodizel yakıtlarından elde edilen B25 ve B65 yakıt karışımlara sırasıyla 100 ppm ve 60 ppm mangan standart çözeltisi eklenerek KB25 ve KB65 yakıtları elde edilmiştir. Yakıtlar 1500 dev/dak sabit motor devrinde 0, 2, 4 ve 6 OEB parametrelerinde, dizel motorunda testler yapılmıştır. Motor deneylerinde silindir gaz basıncı, basınç artış oranı, ortalama gaz sıcaklığı, kümülatif ısı salınımı ve net ısı salınımı değerleri incelenmiştir.

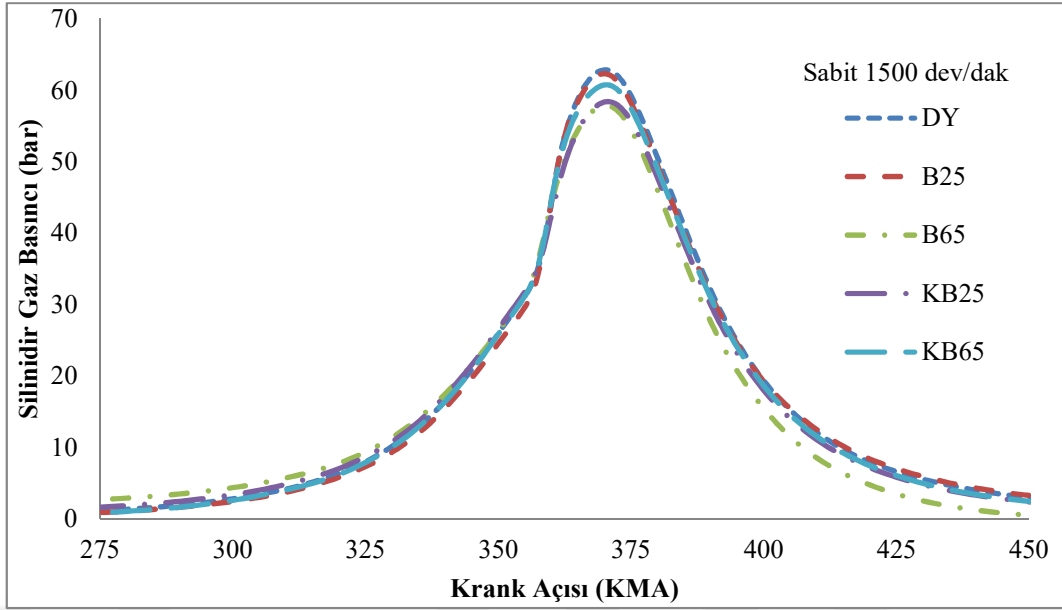
6.2.1. Silindir gaz basıncı

Test yakıtları için kullanılan beş farklı yakıt türü 1500 dev/dak'da sabit devirde ve farklı OEB parametrelerinde silindir gaz basıncının krank mili açısına göre değişimleri bar cinsinden Şekil 6.10, Şekil 6.11, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te verilmiştir.



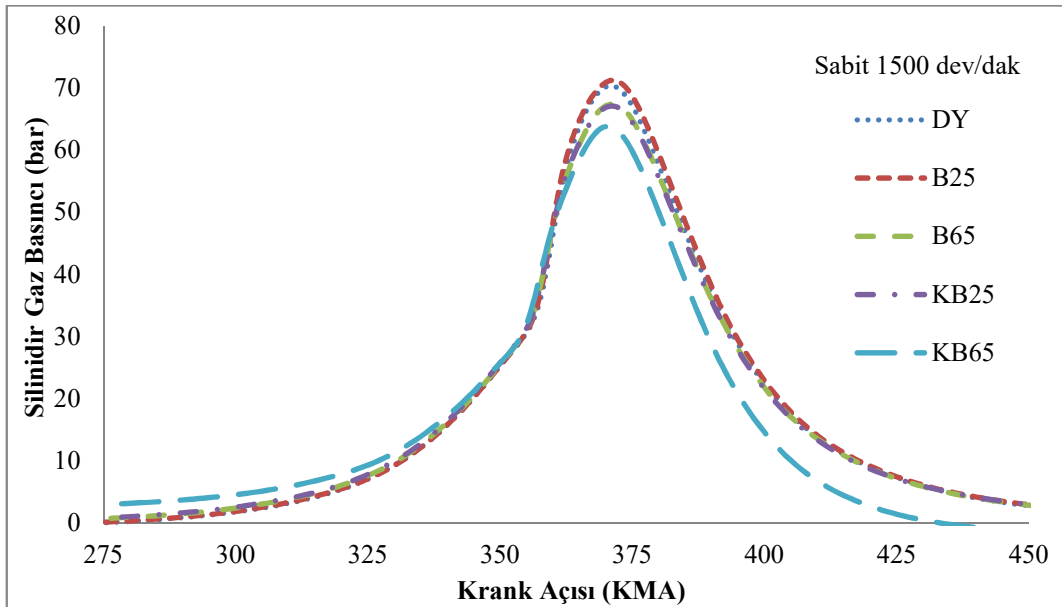
Şekil 6.10. 0 OEB parametresine göre silindir gaz basınç değişimi

0 OEB parametresine göre incelendiğinde 370 KMA'da silindir gaz basıncı artış değerleri sırasıyla en yüksek DY, B25, B65, KB65, KB25 yakıtlar için sırasıyla 54,01, 50,94, 49,83, 49,49, 49,29 bar olduğu görülmektedir. En yüksek (DY) ve en düşük (KB25) yakıtlar arasındaki silindir gaz basıncı farkı %8,73 olup, DY yakıtına en yakın B25 yakıtı arasındaki fark ise %5,68'tür.



Şekil 6.11. 2 OEB parametresine göre silindir gaz basınç değişimi

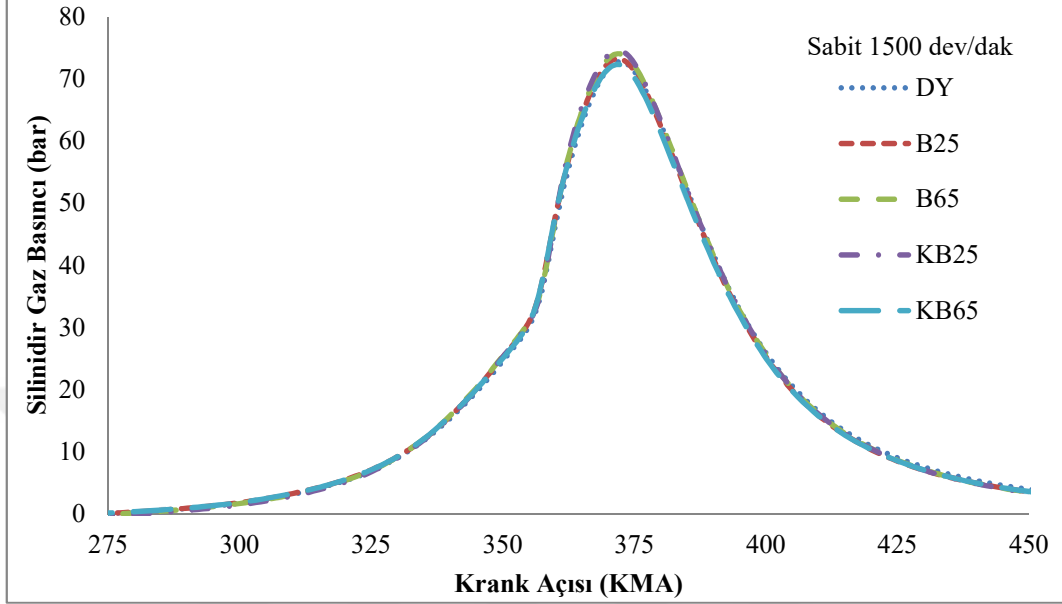
2 OEB parametresine göre incelendiğinde 370 KMA'da silindir gaz basıncı artış değerleri sırasıyla en yüksek DY, B25, KB65, KB25, B65 yakıtlar için sırasıyla 62,87, 62,34, 60,76, 58,38, 57,9 bar olduğu görülmektedir. En yüksek (DY) ve en düşük (B65) yakıtlar arasındaki silindir gaz basıncı farkı %7,9 olup, DY yakıtına en yakın B25 yakıtı arasındaki fark ise %0,84'tür.



Şekil 6.12. 4 OEB parametresine göre silindir gaz basınç değişimi

4 OEB parametresine göre incelendiğinde 371 KMA'da silindir gaz basıncı artış değerleri sırasıyla en yüksek B25, DY, B65, KB25, KB65 yakıtlar için sırasıyla 71,15,

70,09, 67,29, 66,94, 63,23 bar olduğu görülmektedir. En yüksek (B25) ve en düşük (KB65) yakıtlar arasındaki silindir gaz basıncı farkı %11,13 olup, B25 yakıtına en yakın DY yakıtı arasındaki fark ise %1,48'tür.

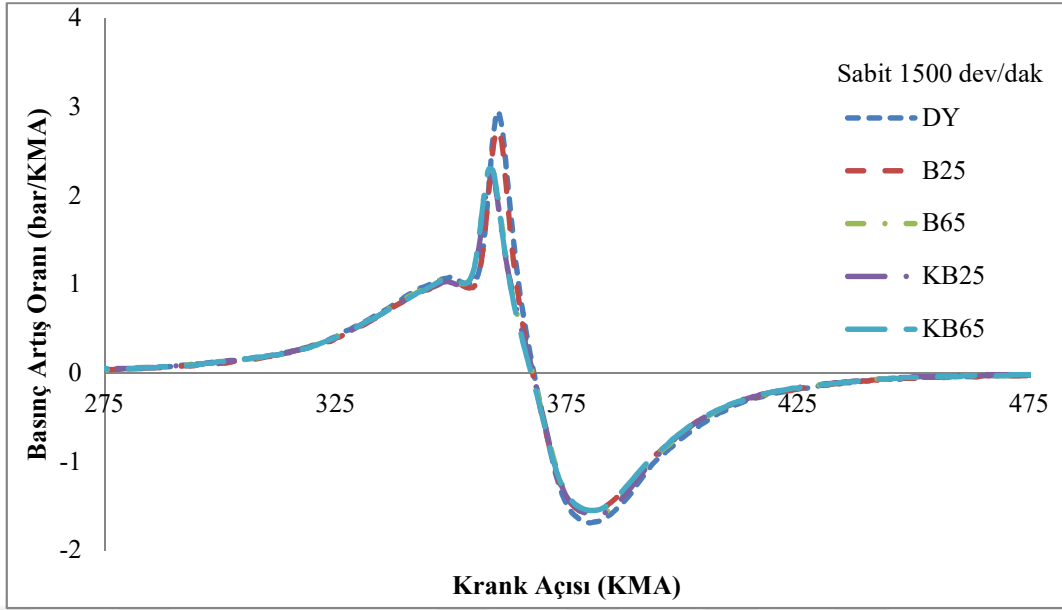


Şekil 6.13. 6 OEB parametresine göre silindir gaz basınç değişimi

6 OEB parametresine göre incelendiğinde 372 KMA'da silindir gaz basıncı artış değerleri sırasıyla en yüksek KB25, B65, B25, DY, KB65 yakıtlar için sırasıyla 74,62, 74,06, 73,28, 72,78, 72,32 bar olduğu görülmektedir. En yüksek (KB25) ve en düşük (KB65) yakıtları arasındaki silindir gaz basıncı farkı %3,08 olup, KB25 yakıtının DY yakıtı arasındaki fark ise %2,46'dır. Tüm şekiller incelendiğinde motor parametresi artırıldıkça silindire gönderilen yakıt oranı artacağından silindir gaz basıncında da artış gözlemlenmiştir. 4 OEB'de B25 ve 6 OEB'de KB25 yakıtlarının silindir gaz basınçlarının dizel yakıtından yüksek olması dizel-biyodizel yakıt karışım oranına ve mangan katkı maddesinin ısı değeri yükseltmesinden kaynaklanmaktadır.

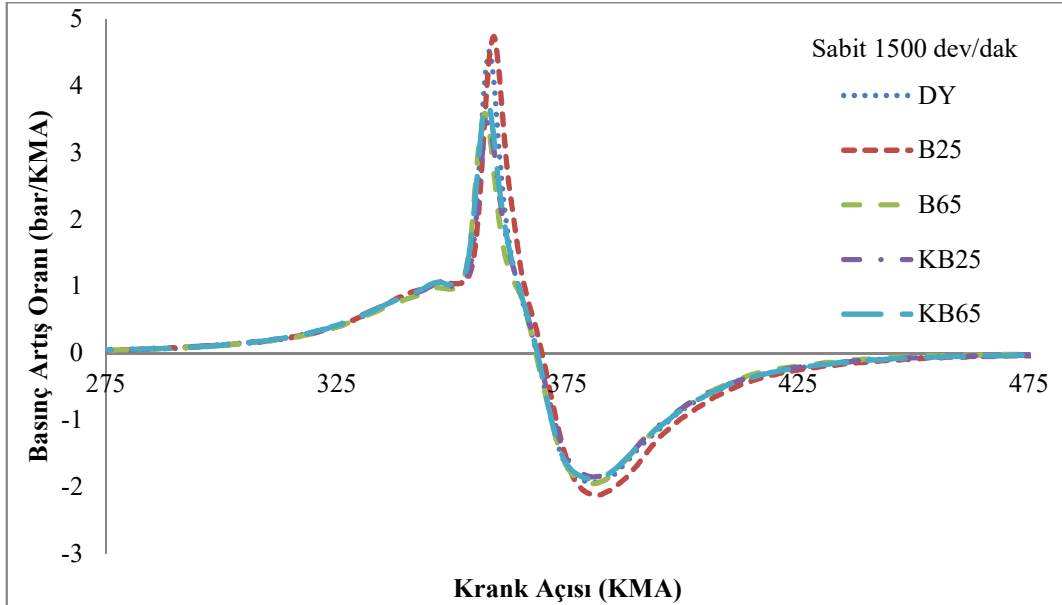
6.2.2. Basınç artış oranı

Test yakıtları için kullanılan beş farklı yakıt türü 1500 dev/dak da sabit devirde ve farklı OEB parametrelerinde basınç artış oranı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri bar/KMA cinsinden Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de verilmiştir.



Şekil 6.14. 0 OEB parametresine göre basınç artış oranı değişimi

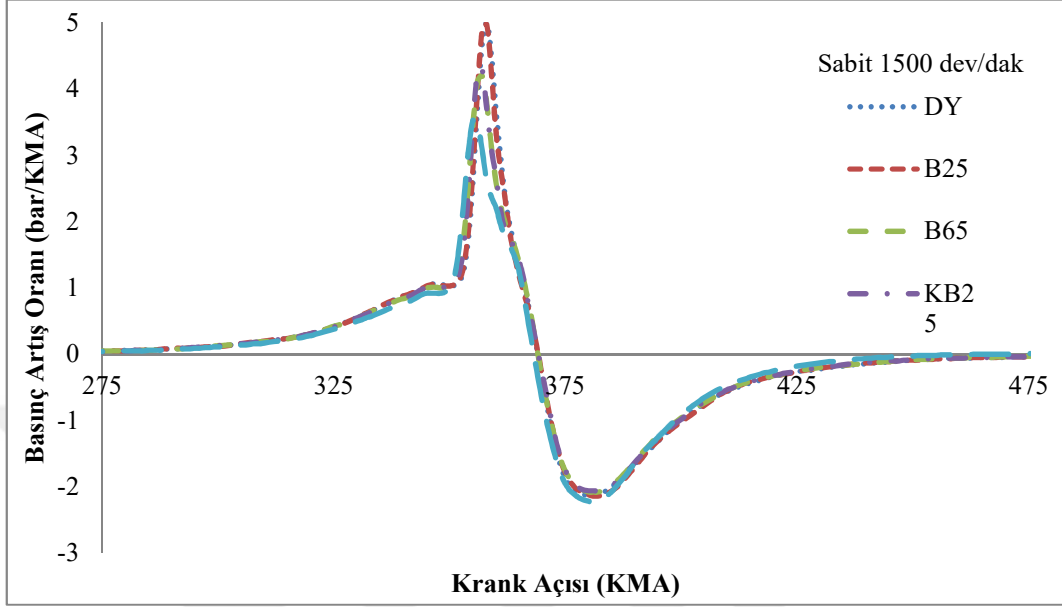
0 OEB parametresine göre incelendiğinde 360 KMA'da silindir basınç artış oranı değerleri sırasıyla en yüksek DY, B25, B65, KB65, KB25 yakıtlar için sırasıyla 2,95, 2,76, 2,01, 1,98, 1,94 bar/KMA olduğu görülmektedir. En yüksek (DY) ve en düşük (KB25) yakıtlar arasındaki basıncı artış oranı farkı %34,23 olmuştur. DY yakıtına en yakın B25 yakıtı arasındaki fark ise %6,44'tür.



Şekil 6.15. 2 OEB parametresine göre basınç artış oranı değişimi

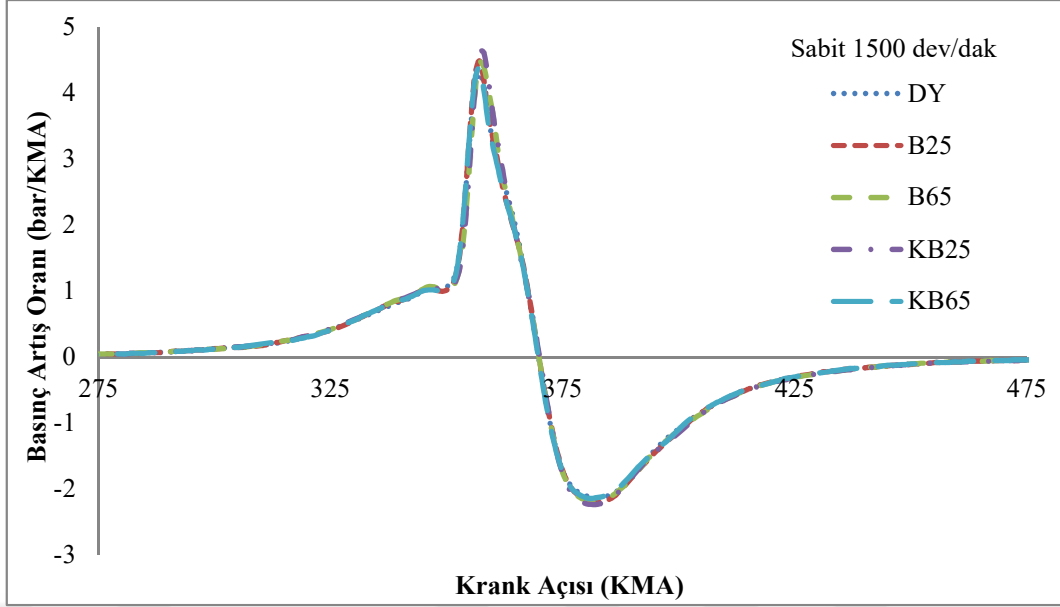
2 OEB parametresine göre incelendiğinde 359 KMA'da silindir basınç artış oranı değerleri sırasıyla en yüksek B25, DY, KB65, KB25, B65 yakıtlar için sırasıyla 4,74,

4,07, 3,22, 3,06, 2,71 bar/KMA olduğu görülmektedir. En yüksek (B25) ve en düşük (B65) yakıtlar arasındaki basıncı artış oranı farkı %42,82 olup, B25 yakıtının DY yakıtı arasındaki fark ise %14,13 tür.



Şekil 6.16. 4 OEB parametresine göre basınç artış oranı değişimi

4 OEB parametresine göre incelendiğinde 358 KMA'da silindir basınç artış oranı değerleri sırasıyla en yüksek DY, B25, B65, KB25, KB65 yakıtlar için sırasıyla 5, 4,97, 3,78, 3,69, 2,6 bar/KMA olduğu görülmektedir. En yüksek (DY) ve en düşük (KB65) yakıtlar arasındaki basıncı artış oranı farkı %48 olmuştur. DY yakıtına en yakın B25 yakıtı arasındaki fark ise %0,003'tür.



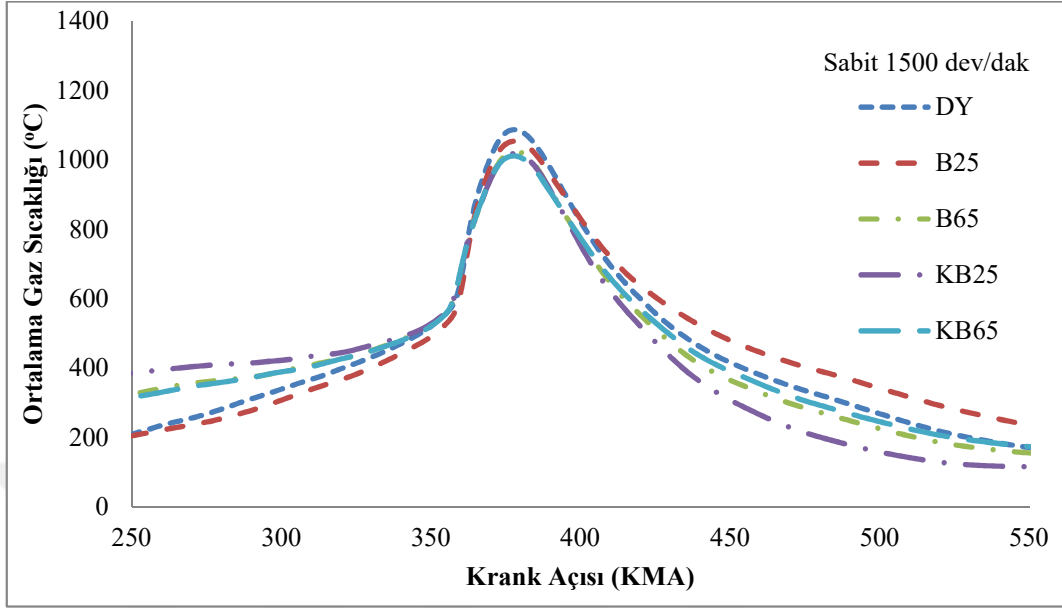
Şekil 6.17. 6 OEB parametresine göre basınç artış oranı değişimi

6 OEB parametresine göre incelendiğinde 357 KMA'da silindir basınç artış oranı değerleri sırasıyla en yüksek KB25, B25, B65, KB65, DY yakıtlar için sırasıyla 4,63, 4,49, 4,46, 4,39, 4,31 bar/kma olduğu görülmektedir. En yüksek (KB25) ve en düşük (DY) yakıtlar arasındaki basıncı artış oranı farkı %6,91 olmuştur. Tüm yükteki şekiller incelendiğinde motor parametresi artırıldıkça, silindire gönderilen yakıt miktarı artacağından silindir basınç artış oranlarında artış gözlenmiştir. En yüksek basınç artış oranları 0 ve 4 OEB'de DY, 2 OEB'de B25 ve 6 OEB'de yakıt basınç oranları arasındaki fark azalarak KB25 yakıtında gözlemlenmiştir. B25 yakıtı 2 OEB parametresine göre ani basınç artışına maruz kalması tutuşma gecikmesinin uzun sürmesine bağlı olarak yakıtın setan sayısına ve silindire alınan havanın basıncına ve sıcaklığına bağlıdır. 6 OEB parametresine göre tüm yakıt değerlerinin DY yakıtından yüksek olması tutuşma gecikmesine bağlı olarak yakıtın damlacık boyutunun büyüklüğüne bu da mangan katkı maddesinin viskozite üzerindeki değerinden kaynaklanmaktadır. Motor parametresi artıkça yakıtlar arasındaki basınç artış oranları azalması, tutuşma gecikmesi süresinin kısılması sonucu daha kontrollü bir yanmanın olduğu söylenebilir (Safgönül ve ark., 2008).

6.2.3. Ortalama gaz sıcaklığı

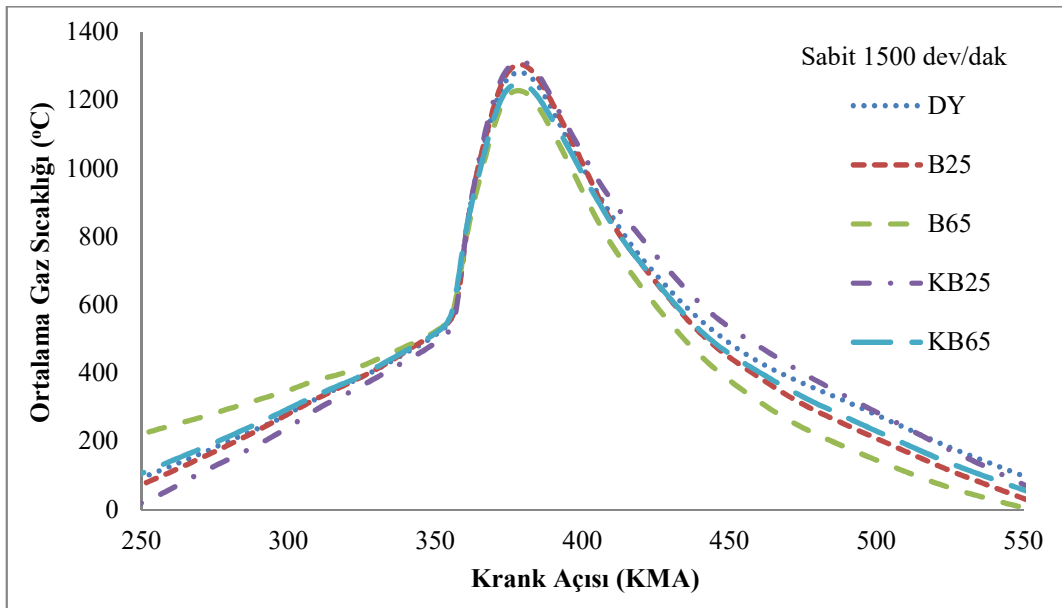
Test yakıtları için kullanılan beş farklı yakıt türü 1500 dev/dak'da sabit devirde ve farklı OEB parametrelerinde ortalama gaz sıcaklığı değerlerinin krank mili acısına

göre değişimleri °C cinsinden Şekil 6.18, Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’de verilmiştir.



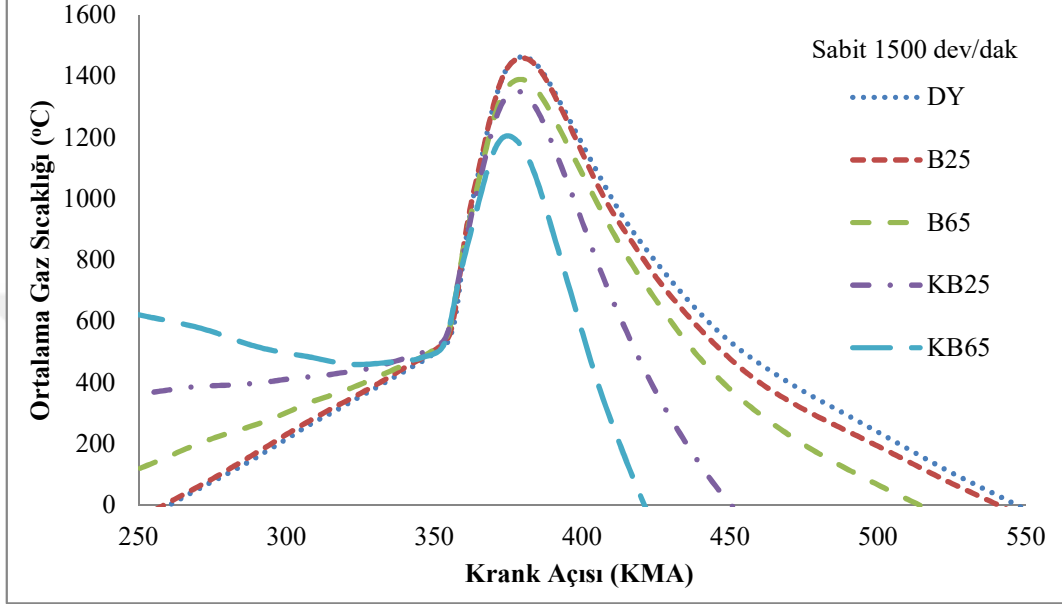
Şekil 6.18. 0 OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı değişimi

0 OEB parametresine göre incelendiğinde 380 KMA’da ortalama gaz sıcaklığı değerleri sırasıyla en yüksek DY, B25, B65, KB25, KB65 yakıtlar için sırasıyla 1087,38, 1054,47, 1024,66, 1019,26, 1011,79 °C olduğu görülmektedir. En yüksek (DY) ve en düşük (KB65) yakıtlar arasındaki ortalama gaz sıcaklığı farkı %6,95 olup, DY yakıtına en yakın B25 yakıtı arasındaki fark ise %3,02’dir.



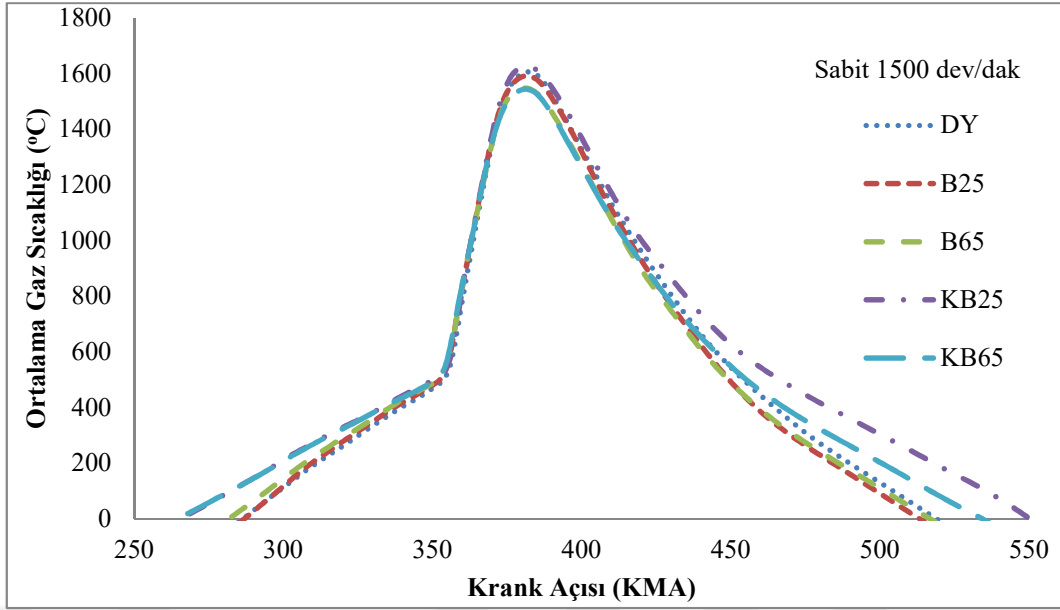
Şekil 6.19. 2 OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı değişimi

2 OEB parametresine göre incelendiğinde 379 KMA’da ortalama gaz sıcaklığı değerleri sırasıyla en yüksek KB25, B25, DY, KB65, B65 yakıtlar için sırasıyla 1313,43, 1304,1, 1281,25, 1247,84, 1227,3 °C olduğu görülmektedir. En yüksek (KB25) ve en düşük (B65) yakıtlar arasındaki ortalama gaz sıcaklığı farkı %6,55 olmuştur. KB25 yakıtının DY yakıtı arasındaki fark ise % 2,45’tir.



Şekil 6.20. 4 OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı değişimi

4 OEB parametresine göre incelendiğin de 380 KMA’da ortalama gaz sıcaklığı değerleri sırasıyla en yüksek DY, B25, B65, KB25, KB65 yakıtlar için sırasıyla 1463,59, 1460,04, 1389,21, 1345,27, 1163,36 °C olduğu görülmektedir. En yüksek (DY) ve en düşük (KB65) yakıtlar arasındaki ortalama gaz sıcaklığı farkı %20,51 olmaktadır. DY yakıtına en yakın B25 yakıtı arasındaki fark ise %4,85’dir.

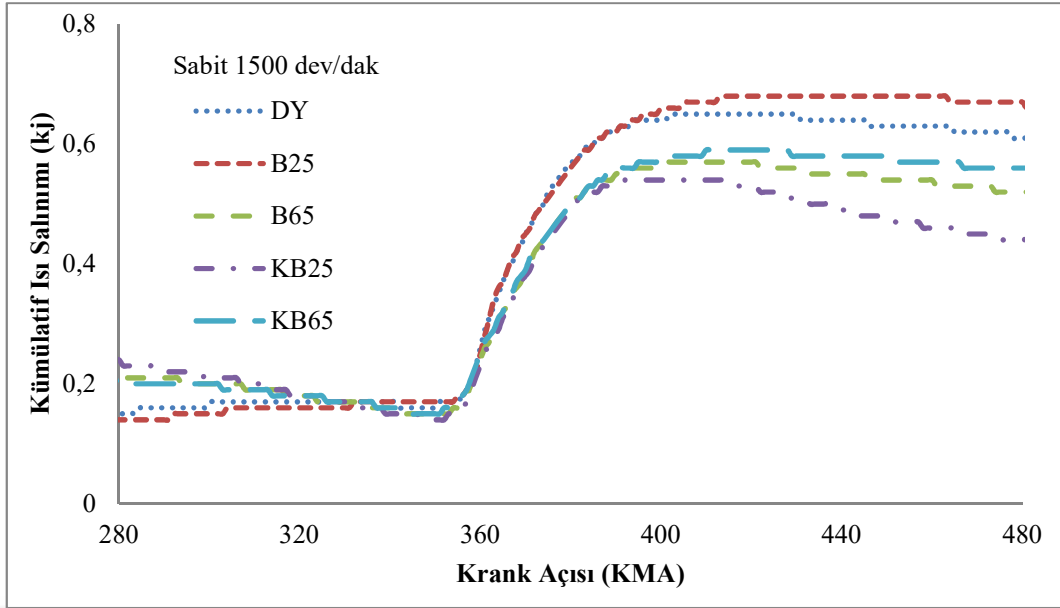


Şekil 6.21. 6 OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı değişimi

6 OEB parametresine göre incelendiğinde 380 KMA'da ortalama gaz sıcaklığı değerleri sırasıyla en yüksek KB25, DY, B25, B65, KB65 yakıtlar için sırasıyla 1624,07, 1600,48, 1588,75, 1547,69, 1542,45 °C olduğu görülmektedir. En yüksek (KB25) ve en düşük (KB65) yakıtlar arasındaki ortalama gaz sıcaklığı farkı %5,02 olup, DY yakıtı arasındaki fark ise %1,45'tir. Tüm şekiller incelendiğinde motor parametresi artırıldıkça, silindire gönderilen yakıt miktarı artacağından ortalama gaz sıcaklığında da artış gözlenmiştir. 0 OEB ve 4 OEB'de DY, 2 OEB ve 6 OEB parametrelerinde ise en yüksek ortalama gaz sıcaklığına KB25 yakıtı sahiptir. Biyodizel yakıtı dizel yakıtından daha az ısı değere sahiptir. Mangan katkı maddesi KB25 yakıtına eklenerek ısıl değerini artırması ortalama gaz sıcaklığını artırmıştır. Ayrıca yoğunluk değerinin azalması alevlenme şiddetini artırarak da ortalama gaz basıncının artmasında etkili olmuştur (Heywood, 1988).

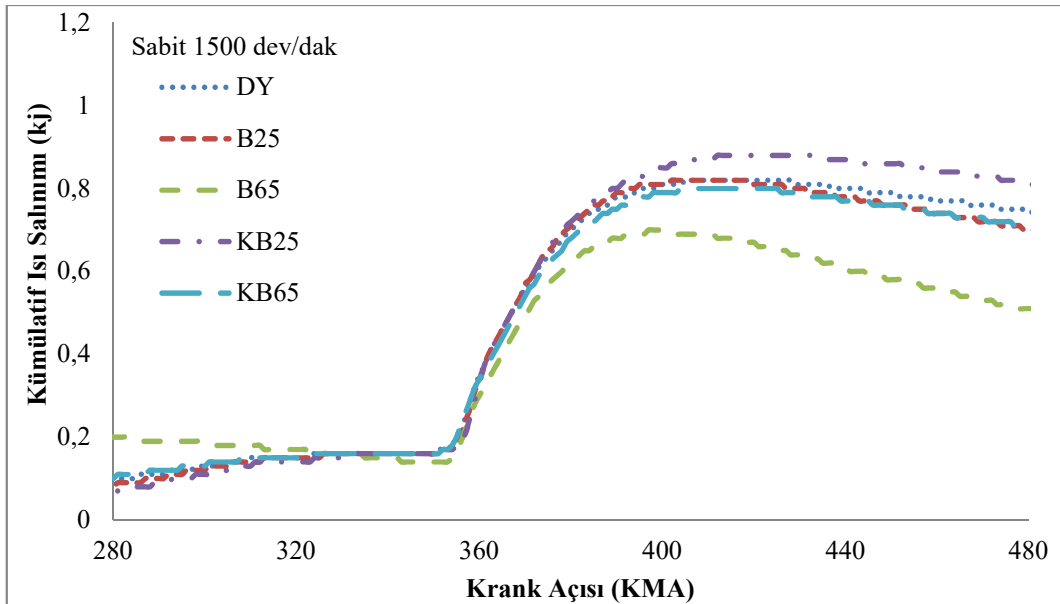
6.2.4. Kümülatif ısı salınımı

Test yakıtları için kullanılan beş farklı yakıt türü 1500 dev/dak'da sabit devirde ve farklı OEB motor parametrelerinde kümülatif ısı salınımı değerlerinin krank mili acısına göre değişimleri KJ cinsinden Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24 ve Şekil 6.25'te verilmiştir.



Şekil 6.22. 0 OEB parametresine göre kümülatif ısı salınım değişimi

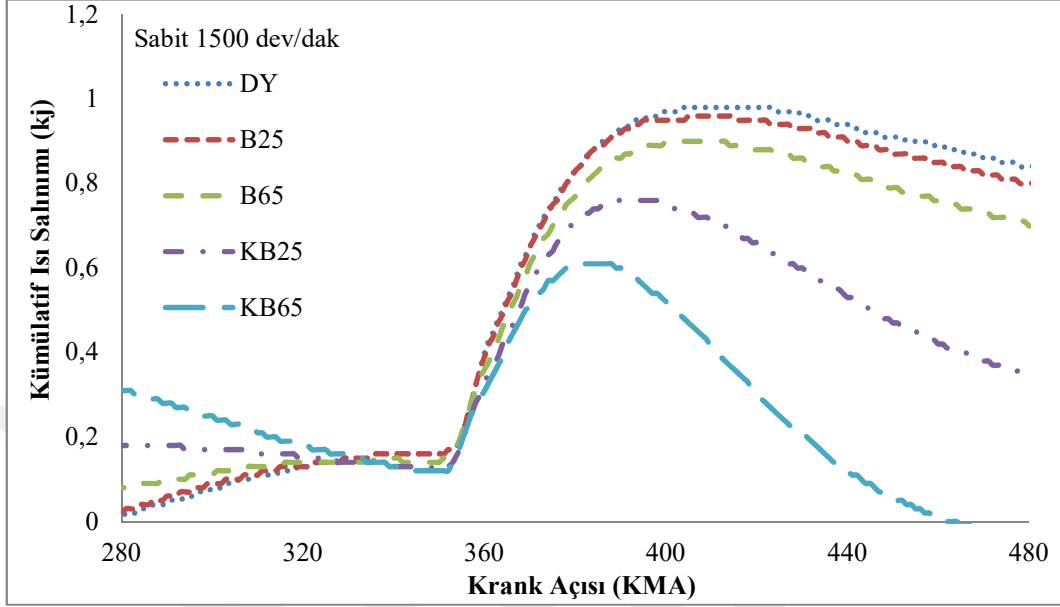
0 OEB parametresine göre incelendiğinde 413 KMA'da kümülatif ısı salınımı değerleri sırasıyla en yüksek B25, DY, KB65, B65, KB25 yakıtlar için sırasıyla 0,68, 0,65, 0,59, 0,57, 0,54 KJ olduğu görülmektedir. En yüksek (B25) ve en düşük (KB25) yakıtlar arasında ki kümülatif ısı salınımı farkı %20,58 olup, B25 yakıtına en yakın DY yakıtı arasındaki fark ise %4,41'dir.



Şekil 6.23. 2 OEB parametresine göre kümülatif ısı salınım değişimi

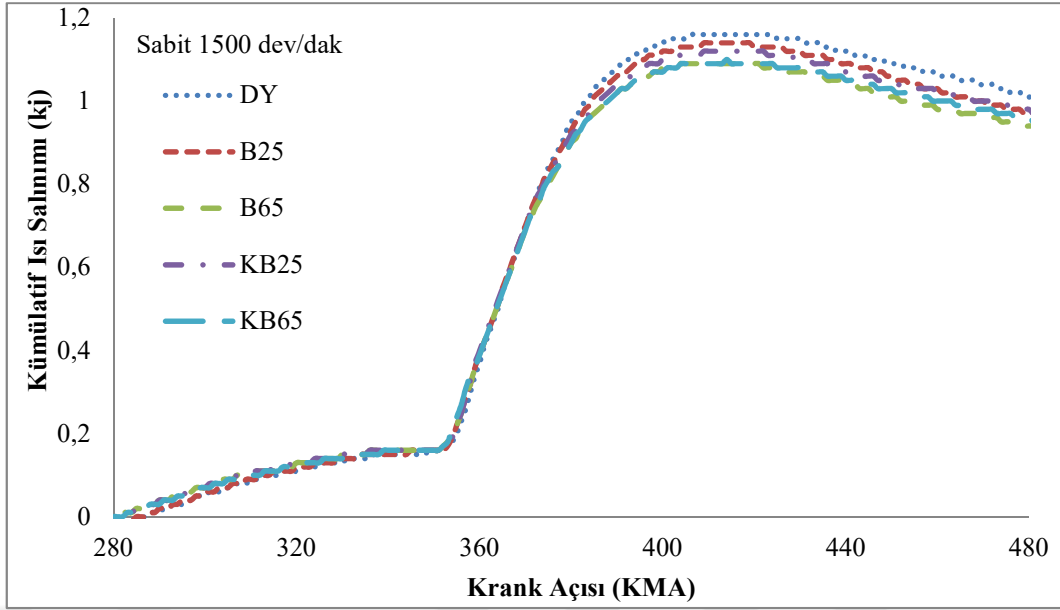
2 OEB parametresine göre incelendiğinde 402 KMA'da kümülatif ısı salınımı değerleri sırasıyla en yüksek KB25, B25, DY, KB65, B65 yakıtlar için sırasıyla 0,86, 0,82, 0,81,

0,79, 0,7 KJ olduğu görülmektedir. En yüksek (KB25) ve en düşük (B65) yakıtlar arasındaki kümülatif ısı salınımı farkı %18,6 olup, KB25 yakıtının DY yakıtı arasındaki fark ise %5,81'dir



Şekil 6.24. 4 OEB parametresine göre kümülatif ısı salınım değişimi

4 OEB parametresine göre incelendiğinde 405 KMA'da kümülatif ısı salınımı değerleri sırasıyla en yüksek DY, B25, B65, KB25, KB65 yakıtlar için sırasıyla 0,98, 0,96, 0,9, 0,73, 0,47 KJ olduğu görülmektedir. En yüksek (DY) ve en düşük (KB65) yakıtlar arasındaki kümülatif ısı salınımı farkı %52,04 tür. DY yakıtına en yakın B25 yakıtı arasındaki fark ise %2,04'dir.

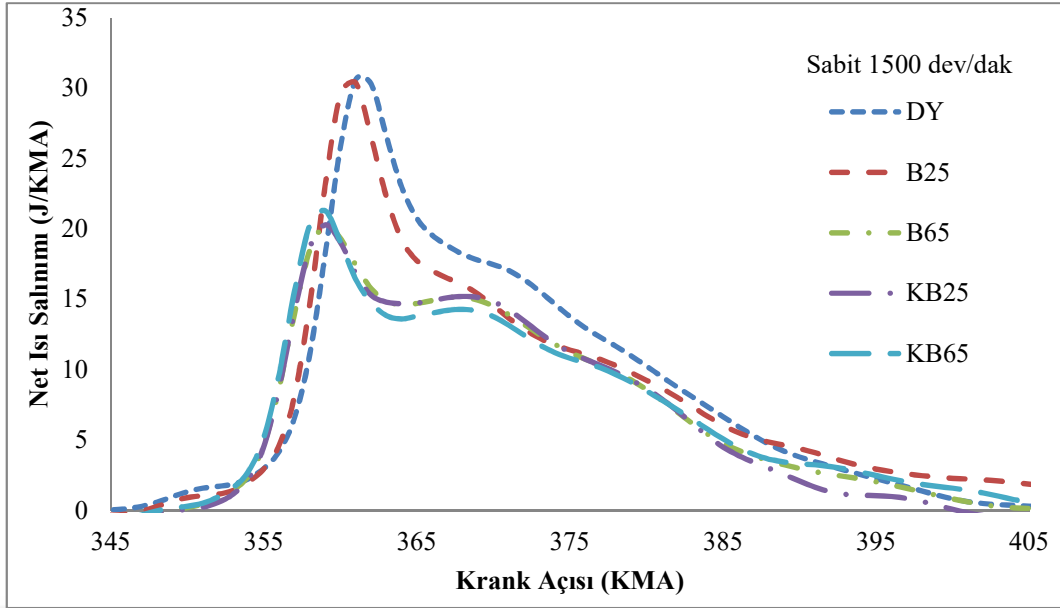


Şekil 6.25. 6 OEB parametresine göre kümülatif ısı salınım değişimi

6 OEB parametresine göre incelendiğinde 406 KMA'da kümülatif ısı salınımı değerleri sırasıyla en yüksek DY, B25, KB25, B65, KB65 yakıtlar için sırasıyla 1.16, 1.13, 1.11, 1.09, 1.09 KJ olduğu görülmektedir. En yüksek (DY) ve en düşük (B65 ve KB65) yakıtlar arasındaki kümülatif ısı salınımı farkı %6,03 tür. DY yakıtına en yakın B25 yakıtı arasındaki fark ise %2,58'tir. Kümülatif ısı salınımı, krank açısına bağlı olarak yanma odasında açığa çıkan toplam ısı enerjisi olarak tanımlanır. Şekiller incelendiğinde motor parametresinin artmasıyla ısı salınımında artış olmuş fakat ısı salınım değerleri arasındaki fark gittikçe azalmıştır. 0 OEB'de B25, 2 OEB'de KB25, 4 ve 6 OEB parametrelerinde ise DY yakıtı en yüksek kümülatif ısı salınımına sahiptir. B25 ve KB25 yakıt değerlerinin kümülatif ısı salınım değerinin yüksek olması biyodizel yakıtındaki yüksek oksijen içeriği, mangan katkı maddesinin setan sayısı üzerindeki etkisi olduğu söylenebilir (Aksoy ve Yılmaz, 2019).

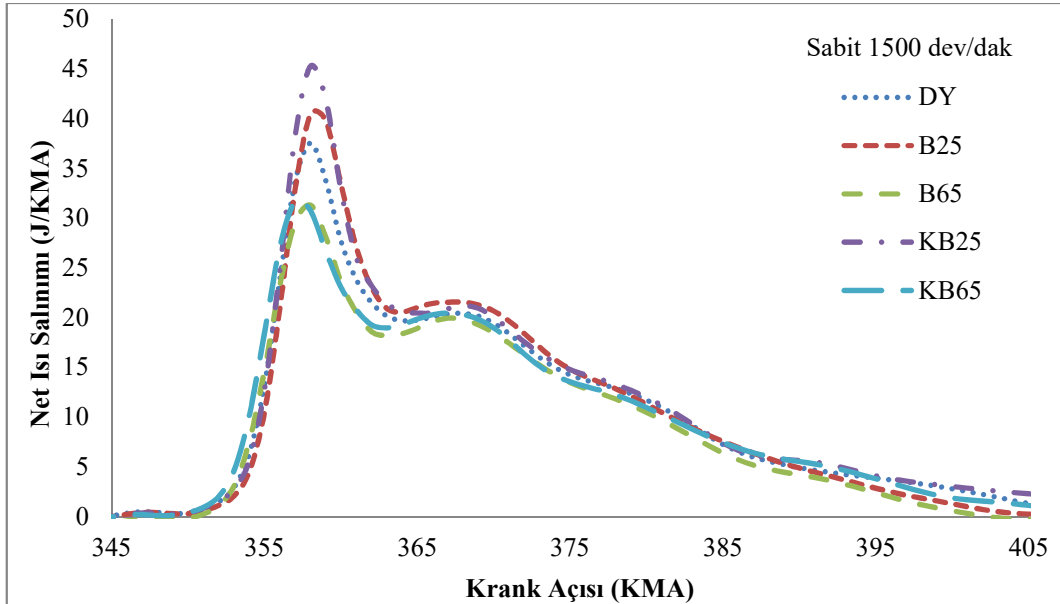
6.2.5. Net ısı salınımı

Test yakıtları için kullanılan beş farklı yakıt türü, 1500 dev/dak'da sabit devirde ve farklı OEB motor parametrelerinde net ısı salınımı değerlerinin krank mili acısına göre değişimleri J/KMA cinsinden Şekil 6.26, Şekil 6.27, Şekil 6.28 ve Şekil 6.29'da verilmiştir.



Şekil 6.26. 0 OEB parametresine göre net ısı salınım değişimi

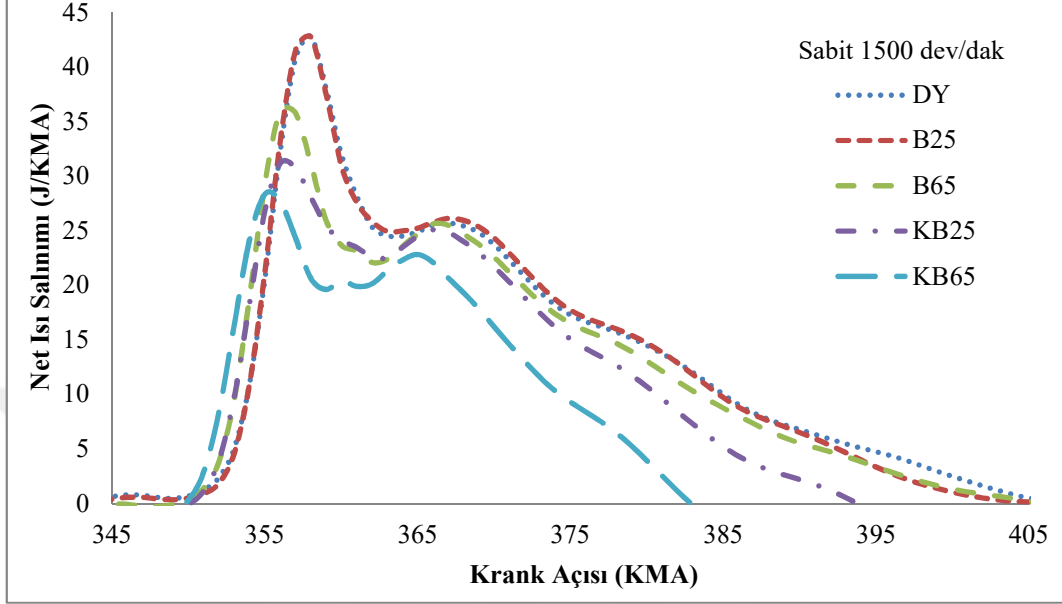
0 OEB parametresine göre incelendiğinde 361 KMA'da net ısı salınımı değerleri sırasıyla en yüksek DY, B25, B65, KB25, KB65 yakıtlar için sırasıyla 30,61, 30,39, 17,43, 16,82, 16,42 J/KMA olduğu görülmektedir. En yüksek (DY) ve en düşük (KB65) yakıtlar arasındaki net ısı salınımı farkı %46,35 olup, DY yakıtına en yakın B25 yakıtı arasındaki fark ise %0,71'tir.



Şekil 6.27. 2 OEB parametresine göre net ısı salınım değişimi

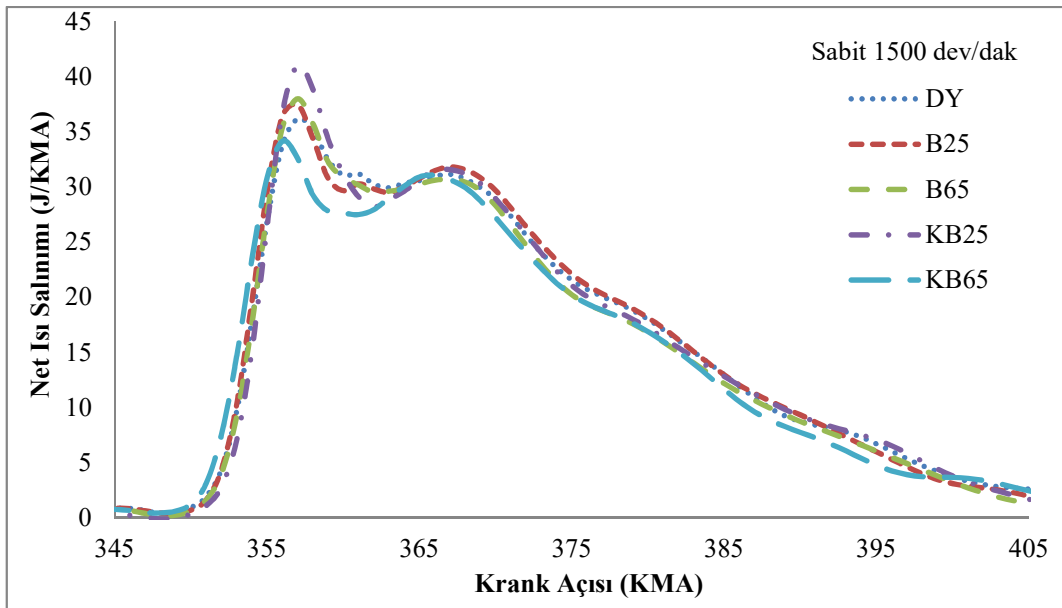
2 OEB parametresine göre incelendiğinde 357 KMA'da net ısı salınımı değerleri sırasıyla en yüksek KB25, B65, B25, DY, KB65 yakıtlar için sırasıyla 41,5, 38,02, 37,5, 37,0, 37,0 J/KMA olduğu görülmektedir.

36,19, 32,59 J/KMA olduğu görülmektedir. En yüksek (KB25) ve en düşük (KB65) yakıtlar arasındaki net ısı salınımı farkı %20,60'tır. DY yakıtı arasındaki fark ise %11,83 tür.



Şekil 6.28. 4 OEB parametresine göre net ısı salınım değişimi

4 OEB parametresine göre incelendiğinde 358 KMA'da net ısı salınımı değerleri sırasıyla en yüksek DY, B25, B65, KB25, KB65 yakıtlar için sırasıyla 42,81, 42,76, 31,15, 28,07, 20,64 J/KMA olduğu görülmektedir. En yüksek (DY) ve en düşük (KB65) yakıtı arasındaki net ısı salınımı farkı %51,78'dir.



Şekil 6.29. 6 OEB parametresine göre net ısı salınım değişimi

6 OEB parametresine göre incelendiğinde 357 KMA'da net ısı salınımı değerleri sırasıyla en yüksek KB25, B65, B25, DY, KB65 yakıtlar için sırasıyla 41,05, 38,02, 37,5, 36,19, 32,59 J/KMA olduğu görülmektedir. En yüksek (KB25) ve en düşük (KB65) yakıtlar arasındaki net ısı salınımı farkı %20,6 olup, KB25 yakıtının DY yakıtı arasındaki fark ise %11,83 tür. Tüm şekiller incelendiğinde motor parametresi arttıkça genel olarak net ısı salınımında artış gözlenirken, 6 OEB'de bir miktar düşüş gözlenmiştir. 0 ve 4 OEB'de DY, 2 ve 6 OEB parametrelerinde ise en yüksek net ısı salınımına ait yakıt türü de KB25'tir. Tüm yakıtlar içinde en yüksek net ısı salınımı değeri 42,81 j/KMA ile DY yakıtı olmuştur. DY yakıtındaki değerin yüksek olması parametre miktarının artmasına bağlı olarak çevirim başına yakılan yakıtın yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. KB25 yakıtına eklenen mangan katkısı yakıtın ısısal değerinin artırdığından 2 ve 6 OEB parametrelerinde net ısı salınımı yüksek çıkmıştır (Yağız, 2019).

6.3. Dizel Motorda Emisyon Değerleri

İçten yanmalı motorlarda yakıt ve havanın yanma odasında karışmasıyla kimyasal reaksiyon oluşur. Kimyasal reaksiyonda yakıt-hava karışımının tam olarak yanmaması ve yanmayan kirletici ürünlerin egzozla atılması hava kirliliğine ve insan sağlığının bozulmasına neden olmaktadır. Motorda kullanılan hava-yakıt karışımındaki hava miktarının yakıt miktarından fazla olmasına ($HFK > 1$) fakir karışım denir. Böylece tam yanma sonunda egzoz gazı içerisinde CO_2 , H_2O , SO_2 , N_2 ve O_2 emisyon gazları bulunur. Teorik tam yanmada, yanmaya katılan hava miktarının teorik havaya eşit ($HFK = 1$) olduğundan egzoz gazı içerisinde CO_2 , H_2O , SO_2 ve N_2 emisyon gazları bulunur. Teorik tam yanmanın tam yanmadan farkı egzoz emisyonunda O_2 bulunmamasıdır. Eksik yanmada ise karışım içindeki yakıt oranının hava oranından fazla ($HFK < 1$) olmasına zengin karışım denir. Hava miktarının gerektiği miktardan az olması, yanma olayının eksik gerçekleşmesine buda CO_2 , H_2O , SO_2 ve CO emisyon gazları salınımına neden olacaktır. Tablo 6.1'de zararlı emisyonların insan sağlığı üzerinde ki alınış süreleri ve miktarları verilmiştir (Acaroğlu ve ark., 2008; Ergeneman ve ark., 1997).

Tablo 6.1. Zararlı maddelerin tehlike sınırı (Ergeneman ve ark., 1997)

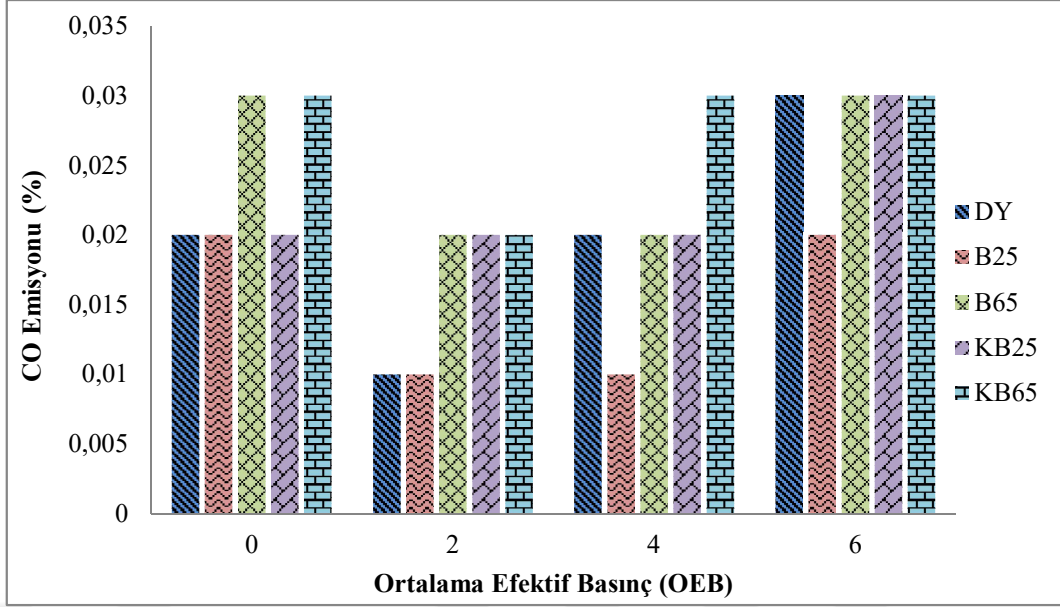
Kirletici Maddeler	MAK	MİK	DTK
CO (ppm)	9	50	5000
HC (ppm)	20	300	30000
NO (ppm)	0.15	--	--
NO ₂ (ppm)	0.05	5	200
SO ₂ (ppm)	0.1	5	400
Pb (mg/m ³)	0.003	--	--

- MAK: Sürekli olarak solunduğunda insan sağlığına zarar vermez.
- MİK: 8 saat boyunca solunduğunda insan sağlığına zarar vermez.
- DTK: Çok kısa süre solunduğunda insan sağlığına zarar verir.

DY, B25, B65, KB25, KB65 yakıtlarının CO, CO₂, HC, NO_x ve O₂ emisyonları 0 OEB, 2 OEB, 4 OEB ve 6 OEB parametrelerinde ölçümleri yapılarak elde edilen değerler grafik üzerinde gösterilmiştir.

6.3.1. Karbonmonoksit emisyonlarının incelenmesi

Yanma ürünlerinde karbonmonoksit bulunması, ortamda yeteri miktarda oksijenin olmamasından kaynaklanmaktadır. Hava-Yakıt karışımında hava miktarının az olması yanma reaksiyonda ki O₂ miktarı yetersiz olacak ve yakıt karbonunun hepsi karbondioksit dönüşümüne uğrayarak CO olarak kalacaktır. Ayrıca CO gazı solunum yoluyla alınması vücudun oksijen almasını engelleyerek zehirlenmeye ve boğulmaya neden olur (Ergeneman ve ark., 1997). Yapılan testlerde yakıtların CO emisyon değişimi Şekil 6.30 incelendiğinde;



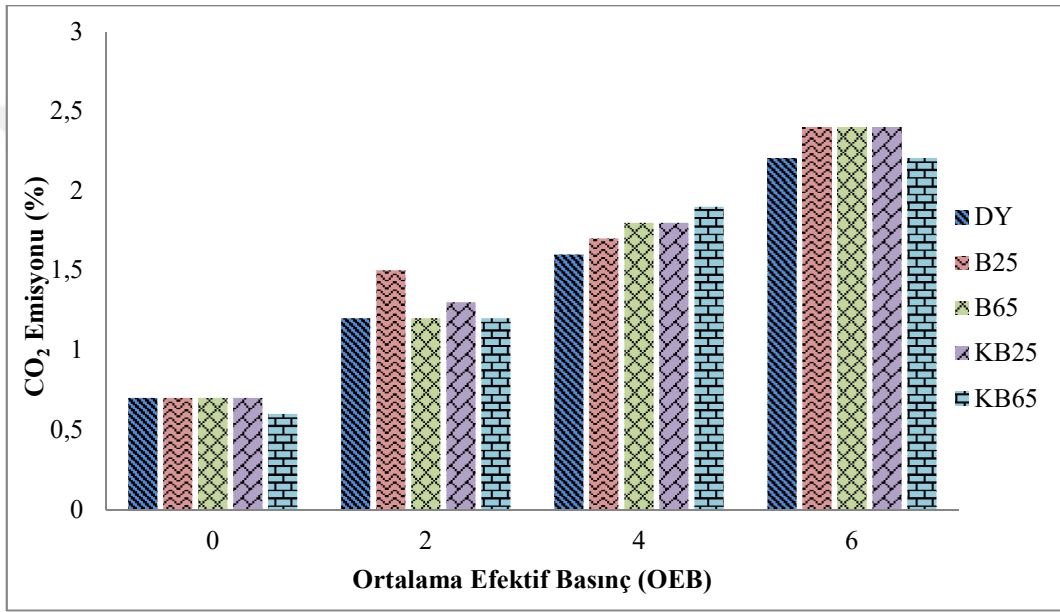
Şekil 6.30. Farklı OEB parametresinde CO emisyon değişimi

- ✓ 0 OEB parametresine göre B65 ve KB65 emisyon değerleri %0,03 ile en yüksek DY, B25 ve KB25 emisyon değerleri %0,02 ile en düşük CO emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 2 OEB parametresine göre B65, KB25 ve KB65 emisyon değerleri %0,02 ile en yüksek DY ve B25 emisyon değerleri %0,02 ile en düşük CO emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 4 OEB parametresine göre KB65 emisyon değeri %0,03 ile en yüksek DY, KB25 ve KB65 emisyon değerleri %0,02, B25 emisyon değeri %0,01 ile en düşük CO emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 6 OEB parametresine göre DY, B65, KB25 ve KB65 emisyon değerleri %0,03 ile en yüksek B25 emisyon değeri %0,02 ile en düşük CO emisyon değerine sahiptir.

Tüm yakıt türleri incelendiğinde en düşük CO emisyon değerlerine sahip olan B25 yakıt karışımına ait olup 0 ve 6 OEB parametrelerine bakıldığında emisyon değeri %0,02 iken, en düşük CO emisyon değerleri % 0,01 ile 2 ve 4 OEB parametrelerinde olduğu görülmüştür. Ayrıca biyodizel yakıtında bulunan oksijen miktarı da CO emisyon gazlarını düşürmede etkili olmuştur.

6.3.2. Karbondioksit emisyonlarının incelenmesi

Karbondioksit yapısında karbon molekülü içeren yakıtların oksijenle birleşerek yanma odasında tam yanmasıyla ortaya çıkan yanma ürünüdür (Şahin, 2021). Yanma odasında tepkimeye giren O_2 ve CO emisyonları sıcaklığa bağlı olarak tepkime sonucunda CO_2 'ye dönüşürler. Karbon içerikli yakıtların genellikle fakir karışım ile çalışması, yanma odasına alınan karışımın türbülanslı yanması sayesinde alevin tüm bölgelere ulaşarak CO emisyonlarını CO_2 'ye dönüştürecektir (Sütcü, 2021). Yapılan testlerde yakıtların CO_2 emisyon değişimi Şekil 6.31 incelendiğinde;



Şekil 6.31. Farklı OEB parametresinde CO_2 emisyon değişimi

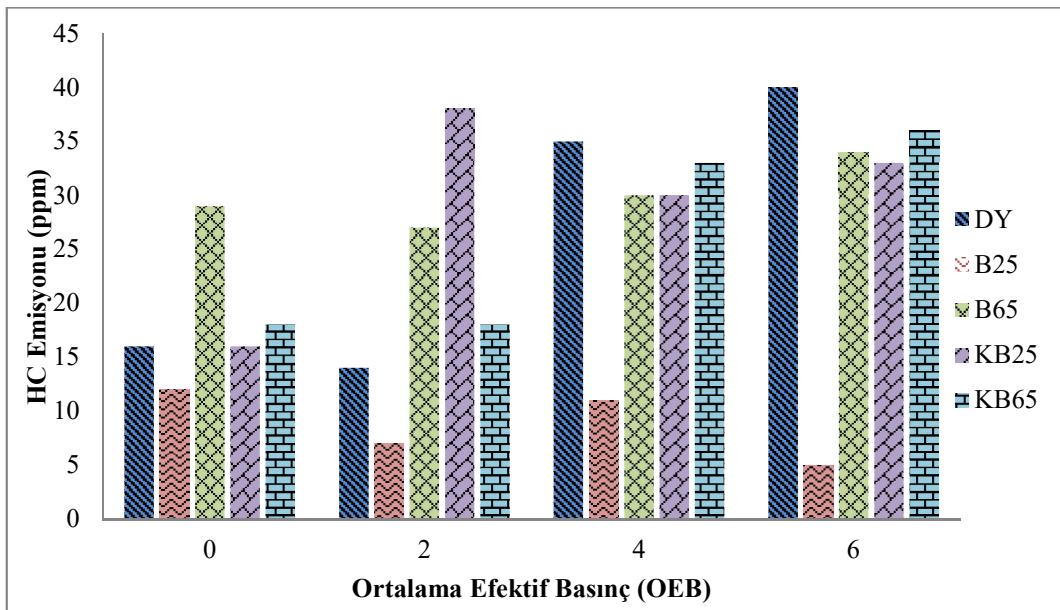
- ✓ 0 OEB parametresine göre DY, B25, B65 ve KB25 yakıtların emisyon değerleri %0,07 ile en yüksek KB65 emisyon değeri %0,06 ile en düşük CO_2 emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 2 OEB parametresine göre B25 emisyon değeri %1,5 ile en yüksek KB25 emisyon değeri %1,3 ve DY, B65, KB65 emisyon değerleri %1,2 ile en düşük CO_2 emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 4 OEB parametresine göre KB65 emisyon değeri %1,9 ile en yüksek KB25 ve B65 emisyon değerleri %1,8, B25 emisyon değeri %1,7 ve DY emisyon değeri %1,6 ile en düşük CO_2 emisyon değerine sahiptir.

- ✓ 6 OEB parametresine göre B25, B65, KB25 emisyon değerleri % 2,4 ile eşit ve en yüksek DY ve KB25 yakıt emisyon değerleri %2,2 ile en düşük CO₂ emisyon değerine sahiptir.

Tüm yakıt türleri incelendiğinde genel itibarıyla yükün artışına bağlı olarak tüm CO₂ emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. 0 ve 6 OEB parametrelerinde yakıt emisyonlarına sırasıyla bakıldığında %0,06 den %2,2 de en az yükselen CO₂ emisyon değerleri KB65 yakıt türüdür. Artırılan parametre miktarıyla birlikte yanma odasına daha fazla hava alınmasıyla yanmada iyileşmelerle beraber daha çok CO emisyonunu CO₂ emisyonuna dönüşmesinden dolayı emisyon değerleri yükte doğru orantılı olarak artmıştır.

6.3.3. Hidrokarbon emisyonlarının incelenmesi

Egzoz gazlarının içinde HC emisyonlarının bulunması yakıtın tam olarak yanmamasından kaynaklanmaktadır. Hava-Yakıt karışımlarının silindir içinde karışım oranlarının çok zengin veya çok fakir olmasından kaynaklı yanma reaksiyonun yavaşlayarak, yanmanın tamamlanamaması durumudur. Silindir, silindir kafası ve piston üst yüzeyine alevin ilerlemeyerek istenilen sıcaklığın elde edilememesi ve ısı kayıplarının olmasıyla alevin sönmesi sonucu yanmamış HC gazları oluşur (Ergeneman ve ark., 1997). Yapılan testlerde yakıtların HC emisyon değişimi Şekil 6.32 incelendiğinde;



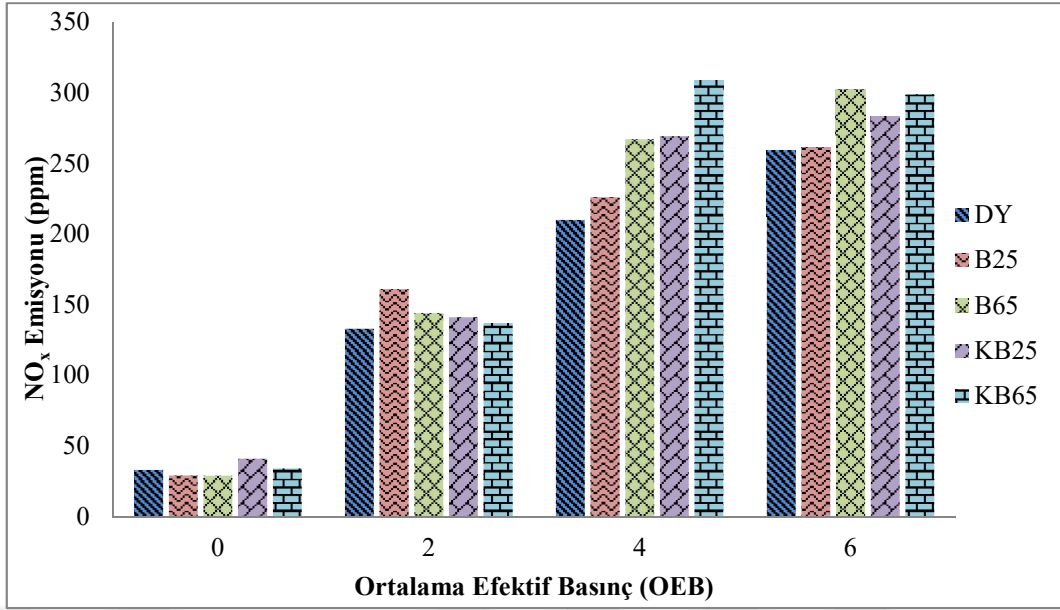
Şekil 6.32. Farklı OEB parametresinde HC emisyon değişimi

- ✓ 0 OEB parametresine göre B65 emisyon değeri 29 ppm ile en yüksek KB65 emisyon değeri 18 ppm, DY ve KB25 emisyon değerleri 16 ppm ve B25 emisyon değerleri 12 ppm ile en düşük HC emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 2 OEB parametresine göre KB25 emisyon değeri 38 ppm en yüksek B65 emisyon değeri 27 ppm, KB65 emisyon değeri 18 ppm, DY emisyon değeri 14 ppm ve B25 emisyon değeri 7 ppm ile en düşük HC emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 4 OEB parametresine göre DY emisyon değeri 35 ppm ile en yüksek KB65 emisyon değeri 33 ppm, KB25 ve B65 emisyon değerleri 30 ppm, B25 emisyon değeri 11 ppm ile en düşük HC emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 6 OEB parametresine göre DY emisyon değeri 40 ppm ile en yüksek KB65 emisyon değeri 36 ppm, B65 emisyon değeri 34 ppm, KB25 emisyon değeri 33 ppm, B25 emisyon değeri 5 ppm ile en düşük HC emisyon değerine sahiptir.

Tüm yakıt türleri incelendiğinde parametrenin artmasıyla silindir içi sıcaklığın yeterince oluşmadığı ve buna bağlı olarak yanma veriminin yeterince artmaması, B25 yakıtı dışındaki HC emisyonlarını artırmıştır (Öztürk ve ark., 2020). 4 OEB ve 6 OEB parametrelerdeki bütün yakıt emisyon değerleri DY yakıtından düşük olması ve en düşük emisyon değerlerine B25 yakıtının sahip olması biyodizel yakıtındaki oksijen miktarına ve dizel- biyodizel yakıt karışım oranlarına bağlıdır (Aydın ve Sayın, 2014).

6.3.4. Azotoksit emisyonlarının incelenmesi

Silindir içi yanmada ulaşılan 1600 °C nin üstündeki sıcaklıklarda havadaki azotun oksijenle reaksiyona girmesiyle azot oksitler (NO, NO₂, N₂O₂ vb.) oluşur. NO_x emisyonlarını etkileyen parametrelerden biri de hava fazlalık katsayısı (HFK) dir. HFK=1.1 olması NO_x emisyonlarının en yüksek olduğu durumdur. Fakir karışım durumunda silindir iç sıcaklığı, tepkimeye giren gaz miktarıyla silindir iç sıcaklığı düşeceğinden azot oksit emisyonları azalacaktır. Ayrıca azot oksitler akciğer hastalıklarına, solunum yolu enfeksiyonlarına ve bitki örtüsüne zarar verme gibi etkilere sahiptir (Ergeneman ve ark., 1997). Yapılan testlerde yakıtların NO_x emisyon değişimi Şekil 6.33 incelendiğinde;



Şekil 6.33. Farklı OEB parametresinde NO_x emisyon değişimi

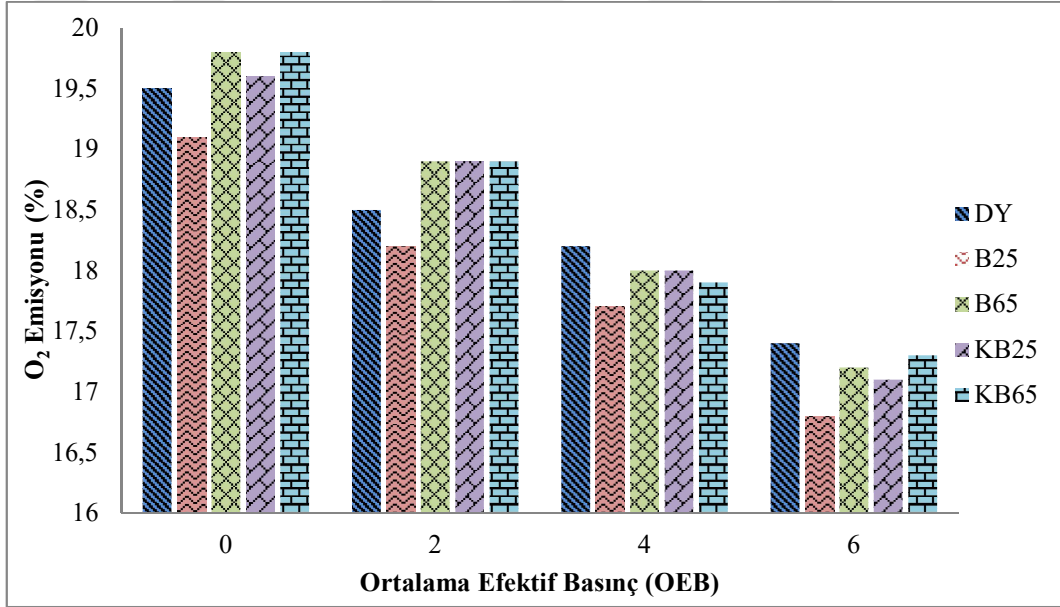
- ✓ 0 OEB parametresine göre KB25 emisyon değeri 41 ppm ile en yüksek KB65 emisyon değeri 34 ppm, DY emisyon değerleri 33 ppm, B25 ve B65 emisyon değerleri 29 ppm ile en düşük NO_x emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 2 OEB parametresine göre B25 emisyon değeri 161 ppm ile en yüksek B25 emisyon değeri 144 ppm, KB25 emisyon değeri 141 ppm, KB65 emisyon değeri 137 ppm, DY emisyon değeri 133 ppm ile en düşük NO_x emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 4 OEB parametresine göre KB65 emisyon değeri 309 ppm ile en yüksek KB25 emisyon değeri 269 ppm, B65 emisyon değeri 267 ppm, B25 emisyon değeri 226 ppm, DY emisyon değeri 210 ppm ile en düşük NO_x emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 6 OEB parametresine göre B65 emisyon değeri 302 ppm ile en yüksek KB65 emisyon değeri 299 ppm, KB25 emisyon değeri 283 ppm, B25 emisyon değeri 261 ppm, DY emisyon değeri 259 ppm ile en düşük NO_x emisyon değerine sahiptir.

Tüm yakıt türleri incelendiğinde düşük yüklerde minimum seviyelerde olan emisyon değerleri, kademeli olarak motor parametresinin artmasıyla NO_x emisyon değerlerinde de artış gözlenmiştir. 0 OEB ve 6 OEB parametrelerdeki yakıt emisyonlarına sırasıyla bakıldığında 33 ppm den 259 ppm de emisyon değeri en az yükselen NO_x emisyon değerleri dizel yakıt türünde olmuştur. Dizel yakıtı, biyodizel yakıt karışımli yakıtlara

oranla daha az emisyon salınımı yapması, parametrenin artışına bağlı olarak yakıt tüketimin artmasıyla genişleyen yanma ile silindir içi sıcaklığın artması NO_x emisyonlarını artırmıştır.

6.3.5. Oksijen emisyonlarının incelenmesi

Dizel yakıtta bulunan karbon atomları, havadaki % 21'lik oksijen gazıyla temasa geçerek yanma reaksiyonunu gerçekleştirir (Şahin, 2021). Yanma reaksiyonunda yanma işlemine yardımcı olan O_2 yanma sonunda ya eksiksiz yanar ya da yanmayan kısmı egzozdan dışarı atılarak işlem son bulur. Oksijen, havanın ve yakıtın içinde bulunan egzoz emisyon ürünlerindendir (Aytaç ve İlkılıç, 2019). Yapılan testlerde yakıtların O_2 emisyon değişimi Şekil 6.34 incelendiğinde;



Şekil 6.34. Farklı OEB parametresinde O_2 emisyon değişimi

- ✓ 0 OEB parametresine göre B65 ve KB65 emisyon değerleri %19,8 ile en yüksek KB25 emisyon değeri %19,6, DY emisyon değeri %19,5, B25 emisyon değeri %19,1 ile en düşük O_2 emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 2 OEB parametresine göre KB25, KB65 ve B65 emisyon değerleri %18,9 ile en yüksek DY emisyon değeri %18,5, B25 emisyon değeri %18,2 ile en düşük O_2 emisyon değerine sahiptir.

- ✓ 4 OEB parametresine göre DY emisyon değeri 18,2 ile en yüksek KB25 ve B65 emisyon değeri %18, KB65 emisyon değeri %17,9, B25 emisyon değeri %17,7 ile en düşük O₂ emisyon değerine sahiptir.
- ✓ 6 OEB parametresine göre DY emisyon değeri %17,4 ile en yüksek KB65 emisyon değeri %17,3, B65 emisyon değeri %17,2, KB25 emisyon değeri %17,1, B25 emisyon değeri %16,8 ile en düşük O₂ emisyon değerine sahiptir.

Tüm yakıt türleri incelendiğin de düşük yüklerde yüksek seviyelerde olan oksijen emisyon değerleri, kademeli olarak yükün artmasıyla O₂ emisyon değerlerinde azalma gözlenmiştir. 0 OEB ve 6 OEB yakıt emisyonlarına sırasıyla bakıldığında %19,1 den %16,8 de emisyon değeri en çok düşen O₂ emisyon değerleri B25 yakıt türünde olmuştur. Düşük parametrelerde istenilenden daha fazla O₂ reaksiyona girerek yanmanın kalitesini bozmasından emisyon değerleri yüksek çıkmıştır. Motorun parametresi arttıkça zengin karışım elde edileceğinden tüm yakıtlardaki O₂ emisyon gazları kademeli olarak azalacaktır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünyada fosil yakıtların giderek azalması ve bunlara bağlı olarak artan yakıt fiyatları beraberinde yeni enerji kaynaklarına olan gereksinimi arttırmıştır. Tükenmekte olan fosil yakıtların yerine yenilenebilen enerji kaynak arayışlarına başlanmıştır. Kaynak arayışlarının başında düşük maliyet, bol miktarda hammadde ve atık maddeler üzerinde durulmaktadır. Bu çalışmada öncelikle atık bitkisel yağdan biyodizel üretimi yapılmıştır. Özel bir kurumdan temin edilen atık durumda olan bitkisel yağ ve ticari olarak temin edilen sodyum hidroksit ve metil alkol kimyasalları kullanılarak 1000 ml'lik yakıt numunelerine ayrılmıştır. Literatür çalışmaları baz alınarak, kullanılan mangan katkı maddesi ppm cinsinden 60 ve 100 ppm olarak 1 litrelik yakıt karışımlarına ilave edilmiştir. Biyodizel üretim aşamaları sırasıyla alkol ve katalizörün karıştırılması, transesterifikasyon reaksiyonu, gliserin ayırma, gliserinin uzaklaştırılması, metil ester yıkama işlemi, biyodizel saflaştırma işlemi, biyodizel filtre işlemi, biyodizelin gözle kontrolü yapıldıktan sonra deney çalışmalarına geçilmiştir.

- B100 ve D100 yakıtları $Mn(NO_3)_2$ çözeltisiyle B25 (%25 biyodizel + %75 dizel), B65 (%65 biyodizel + % 35 dizel), KB25 (%25 biyodizel + %75 dizel + mangan katkısı), KB65 (%65 biyodizel + % 35 dizel + mangan katkısı) farklı yakıt karışımları hazırlanmış ve yakıtların özellikleri test edilmiştir.
- Viskozite: KB25 ve KB65 yakıtlarının katkı maddesi viskozite değerini düşürmüştür. Yoğunluk, KB25 ve KB65 yakıtlarının katkı maddesi yoğunluk değerini düşürmüştür. Parlama noktası, KB25 yakıt değerini düşürmüştür, KB65 yakıtı ise sabit kalmıştır. Donma noktası, KB25 yakıt değerini yükseltmiş, KB65 yakıtı ise sabit kalmıştır. Setan indisi, KB25 yakıt değeri bir miktar düşerken, KB65 yakıt değeri ise bir miktar artış sağlanmıştır. Isıl değeri, K25 ve K65 yakıtlarının analiz sonuçları ısıl değerlerinde bir miktar artış sağlanmıştır.
- Dizel, biyodizel ve mangan standart çözeltisi karışımlarından hazırlanan beş farklı yakıtı dizel motoru üzerinde hiçbir değişiklik yapılmadan testi yapılmıştır. DY, B25, B65, KB25, KB65 yakıtları baz alınarak, dizel deney motorunda yanma testleri ve emisyon değerlerine bakılmış ve genel olarak sonuçlar aşağıda verilmiştir.
- Beş farklı yakıtın silindir gaz basınçları karşılaştırıldığında 0 OEB ve 2 OEB'de DY, 4 OEB'de B25 ve 6 OEB'de ise en yüksek silindir gaz basıncı KB25

yakıtında görülmüş olup, DY ve KB25 yakıtlar arasındaki silindir gaz basıncı farkı %8,73'tür. Karışımda kullanılan biyodizel miktarı ve mangan katkı maddesi yakıtın ısıl değerini yükselttiği gözlemlenmiştir.

- Basınç artış oranları 0 OEB ve 4 OEB'de DY, 2 OEB'de B25 ve 6 OEB'de ise en yüksek basınç artış oranı KB25 yakıtında görülmüş olup, B25 yakıtı 2 OEB parametresine göre tutuşma süresinin uzun sürmesi yanma odasında daha fazla yakıt olması sonucu buharlaşan yakıtın artması beraberinde kontrolsüz yanmayı getirmiştir.
- Ortalama gaz sıcaklığı 0 OEB ve 4 OEB'de DY, 2 OEB ve 6 OEB OEB'de ise en yüksek ortalama gaz sıcaklığına KB25 yakıtı sahiptir. KB25 yakıtında ortalama gaz sıcaklığının yüksek olması yoğunluk ve ısıl değere bağlı olduğu düşünülmektedir.
- Kümülatif ısı salınımı 0 OEB'de B25, 2 OEB'de KB25, 4 ve 6 OEB'de ise en yüksek kümülatif ısı salınımına DY yakıtı sahiptir. Düşük parametrelerdeki değerlerin yüksek olması, biyodizel yakıtında oksijen miktarının fazla olması, kullanılan Mn katkı maddesinin ve setan sayısı üzerinde etkisi olduğu düşünülmektedir.
- Net ısı salınımı 0 OEB ve 4 OEB'de DY, 2 OEB ve 6 OEB'de ise en yüksek net ısı salınımına KB25 yakıtı sahiptir. En yüksek net ısı salınımı 4 OEB parametresinde 48,81 J/KMA değeriyle DY yakıtı olmuştur. DY yakıtındaki değerin yüksek olması OEB parametre miktarının artmasına bağlı olarak çevirim başına yakılan yakıtın yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. KB25 yakıtına eklenen mangan katkı maddesi yakıtın ısıl değerinin artırdığı tespit edilmiştir.
- Yanma ürünlerinde karbonmonoksitin bulunması ortamda yeteri miktarda oksijenin olmamasından kaynaklanmaktadır. En düşük CO emisyon değerlerine sahip yakıt türü B25 olup, 0 ve 6 OEB parametre emisyon değeri %0,02 iken, 2 ve 4 OEB'de ise en düşük CO emisyon değerleri % 0,01 olduğu görülmüştür. Ayrıca biyodizel yakıtta bulunan oksijen miktarı da CO emisyon gazlarını düşürmede etkili olabilir.
- Motor parametresinin artışına bağlı olarak tüm CO₂ emisyon değerlerinde artış gözlenmiştir. 0 OEB ve 6 OEB yakıt emisyonlarına sırasıyla bakıldığında %0,07 den %2,4 de, en fazla yükselen CO₂ emisyon değerleri B25 yakıt türüdür.

Artırılan parametre miktarıyla birlikte yanma odasına daha fazla hava alınmasıyla yanmada iyileşmelerle beraber daha çok CO emisyonunu CO₂ emisyonuna dönüşmesinden dolayı emisyon değerleri yüksele doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir.

- Artırılan OEB parametre miktarıyla birlikte silindir iç sıcaklığının artması ve yakıt tüketimindeki artış HC emisyonlarında artışa neden olmaktadır. 0 OEB ve 6 OEB parametresindeki emisyon değerleri sırasıyla 4 ppm ve 5 ppm’de, en az yükselen HC emisyon değerleri B25 yakıt türüdür. Bu da uygun dizel ve biyodizel yakıt karışımlarındaki O₂ molekülün fazla olması HC emisyon gazlarını azalttığı tespit edilmiştir.
- Parametrenin artmasıyla NO_x emisyon değerlerinde de artış gözlenmiştir. 0 ve 6 OEB parametredeki yakıt emisyonlarına sırasıyla 33 den 259 ppm’e emisyon değeri en az yükselen NO_x emisyon değerleri DY yakıt türünde olmuştur. Dizel yakıtı biyodizel yakıt karışımıyla yakıtlara oranla daha az emisyon salınımı yapması, silindir içi sıcaklıktan ve biyodizel içeriğindeki oksijen oranı olarak söylenebilir.

Yapılan çalışmalar sonucunda; atık bitkisel yağdan elde edilen biyodizel-dizel yakıt karışımlarına eklene mangan katkı maddesi (Mn(NO₃)₂) ile katkılı yakıtların önemli kimyasal ve fiziksel özellikleri iyileştirilmesinin yanında yanma parametreleri dizel yakıt eğrilerine göre genel olarak paralellik göstermiştir. Dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan mangan katkı maddesi (Mn(NO₃)₂) ile belirlenen oranlarda biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanılabildiği tespit edilmiştir. Bu da önümüzdeki yıllarda her ne kadar hibrit ve elektrikli araçlar üzerine çalışmalara yoğunluk verilmiş olsada güç ve tork gereksinimine ihtiyaç duyulan dizel motorlu ağır vasıtalar için dizel yakıtı alternatif yenilenebilir enerji kaynağına olan ihtiyaç vazgeçilmezdir.

8. KAYNAKLAR

- Aytaç, Z. and İlkılıç, C., 2019, The investigation of decrease harmful exhaust emissions on a diesel engines, *4 th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences*, 22-24, 2019, Samsun, Turkey,
- Aydın, S. and Sayın, C., 2014, Impact of thermal barrier coating application on the combustion, performance and emissions of a diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel–diesel blends, volume 136,:15 , 334-340.
- Aydın, S., 2014, Yanma odası yüzeyleri ZrO_2 , MgO ve Al_2O_3 ile yalıtılmış bir dizel motorunda biyoyakıt kullanımının performans, emisyon ve yanma karakteristiklerine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 28-33.
- Aydın, H., 2011, Atık taşıt lastiklerinden yakıt üretme ve dizel motorlarında kullanımının araştırılması, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fırat, 33-42.
- Acaroğlu, M., Aydoğan, H., Özçelik, A. E., 2018, Yakıtlar ve yanma, *nobel yayınevi*, Ankara, 159-174.
- Akdemir, B., Kayışoğlu, B., Sağlam, C., Aktaş, T., Bayhan, Y., Korkmaz, D. D., 2011, Termik motorlar, *hiperlink yayınlar*, İstanbul, 106.
- Aydın, S., 2010, Aspir Yağından Biyo-Yakıt Üretimi ve Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fırat, 4-6.
- Alptekin, E., Çanakçı, M., 2006, Biyodizel ve Türkiye'deki durumu, *Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Kocaeli, 47(561), 57-64.
- Altun, Ş. ve Öner, C., 2010, Hayvansal yağların dizel motor yakıtı olarak değerlendirilmesi, *Electronic Journal of Vehicle Technologies/Tasit Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(3), 1-11.
- Akyarlı, A., Alpaslan, N., Çicek, T., Diktaş, E., Elmacı, Y., Karagözlü, C., Öztüre, N., Sayın, R., Sezerman, U., Sındır, K.O., Sipahi, D., Şahin, O., 2004, Biyodizel yakıtın uluslararası standartlarda üretimi, *Bioenerji Sempozyumu*, İzmir, 1-11.
- Acaroğlu, M. ve Oğuz, H., 2002, Energy farming and standardization of using biomass-biofuel. in proceedings 8th international congress on mechanization and energy in agriculture, *Ege University, Faculty of Agriculture, Kuşadası, Turkey*, 15-17, 2002 (168-172).
- Altun, Ş., 2009, Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretime ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 13-14.

- Alptekin, E., 2013, Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve bir dizel motorda kullanımının incelenmesi, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 38-39.
- Acaroğlu, M., Aydoğan, H., Özçelik, A. E., 2018, Yakıtlar ve yanma, *Nobel Yayınevi*, Ankara, 235-236.
- Aksoy, F. ve Yılmaz, E., 2019, %10 Balık yağı biyodizeli - %90 dizel yakıt karışımı ile çalışan direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda yanma ve performans karakteristiklerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, GU J Sci, Part C, 7(1): 12-24.
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., 1992, İçten yanmalı motorlar, *Teknik Eğitim Vakfı Yayınları*, Cilt 1, Ankara .
- Beytekin, A., 2019, Demir klorür ($FeCl_3$) Katkılı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının bir dizel motorda kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Bilginperk, H., 1984, Dizel Motorları temel ders kitabı, *Milli Eğitim Basımevi*, İstanbul, 48-49-244.
- Barabás, I. and Adrian, I., 2017, Refining, toxicology study and biodiesel potentials of used vegetable oils, *American Journal of Food Science and Technology*, 5 (3): 78-88.
- Çelik, M., Yücesu, H. S., Yılmaz, E., Solmaz, H., 2015, Biyodizel içerisine organik esaslı mangan katkı maddesi ilavesinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi, *Konferans Bildirisi* <https://www.researchgate.net/publication/329091596>
- Çelikten, İ. ve Gürü, M., 2011, Petrodizel ve kanola biyodizeli performans ve emisyon kriterlerinin mangan esaslı katkı maddeleriyle geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* Cilt: 26, No: 3, 643-648.
- Çelik, M., 2015, Biyodizel Yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-15.
- Çanakçı, M. ve Şanlı, H., 2008, Biodiesel production from various feed stocks and their effects on the fuel properties, *J ind Microbiol Biotechnol*, 35(5), 431-441.
- Çıldır, O. ve Çanakçı, M., 2006, Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özelliklerine etkisi, *Gazi Üniversitesi*, 21(2), 367-372.
- Denton, T., 2000, Combustion, automobile electrical and electronic system SAE International, London, 180-186.
- Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O. A., Arslan, H., 1997, Taşıtlardan kaynaklanan egzoz kirleticileri, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 4-15.

- Eryılmaz, T., 2009, Hardal yağı biyodizelinde farklı karışım oranlarının dizel motorlarda performansa etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 62.
- Efe, Ş., Ceviz, M. A., Temur, H., 2018, Comparative engine characteristics of biodiesels from hazelnut, corn, soybean, canola and sun flower oils on dı diesel engine, *Renewable Energy*, 119, 142-151.
- Eliçin, A. K., 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, 27.
- Gürü, M., Bilici, İ., Arslan, D., 2011, Ağır fuel oil'in viskozitesinin sıcaklıkla ve mangan katkı maddeleriyle incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt: 26, No: 3, 643-648.
- Gürü, M., Karakaya, U., Altıparmak, D., Alıcılar, A., 2002, Improvment of diesel fuel properties by using additives, *Energy Conversion and Management*, 43: 1021-1025.
- Guinther, G. H., Human, D. M., Miller, K. T., Roos, J.W., Schwab. S. D., 2002, The Role that Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl (MMT®) Can Play in Improving Low-Temperature Performance of Diesel Particulate Filters, *SAE Technical Paper, Transactions* 2002-01-2728.
- Gerpen, J. V., 2005, Biodiesel processing and production, *Fuel processing technology*, 86(10), 1097-1107.
- Gökçe, İ., 2022, Tek silindirli dizel bir motorda susam yağı-dizel yakıt karışımlarına grafenoksit ($C_{140}H_{42}O_{20}$) ilavesinin performans ve emisyon parametrelerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi*, İstanbul, 14.
- Hazar, H., Temizer, İ., Gür, F., 2011, Bir dizel motorunun motor performansı ve motor parçaları üzerinde katkı maddelerinin etkisinin incelenmesi, *In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)* (77-83).
- Heywood, J., 1988, Internal combustion engine fundamentals, Macgraw-Hill Book Company, New York.
- Ivanis, G. R. vd., 2016, Biodiesel Density and Derived Thermodynamic Properties At High Pressures and Moderate Temperatures, *Fuel*, 165, 244-251.
- İlkılıç, C., Aydın, S., Behcet, R., Aydın, H., 2011, biodiesel from safflower oil and its application in a diesel engine, *Fuel Processing Technology* 92 (2011) 356-362.
- Koç, A., Yağlı, H., Koç. Y., Uğurlu, İ., 2018, Dünyada ve Türkiye'de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makina, Derleme Makale*, 59(692), 86-114.

- Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D., 2007, Biodiesel production from tall oil with synthesized Mn and Ni based additives, Effects of The Additives on Fuel Consumption and Emissions, 86, 7-8, 1139-1143.
- Keskin, A., 2005, Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Karakaya, U., 2000, Motorin özelliklerinin katkı maddeleri ile geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 37.
- Küçükşahin, F., 1999, Gemi dizel makinelerinin yapıları ve çalışma ilkeleri, *Avciol Basım Yayın*, İstanbul, 811.
- Koçer, N. N., Durmuş, B., 2019, Atık yağlardan elde edilen biyodizel potansiyeli ve gliserol miktarının belirlenmesi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, Cilt: 9, Sayı: 1, 72-74.
- Kaya, A., 2007, Kızartma atığı yağlarından süperkritik alkol transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel elde edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- Mutlubaş, H. ve Özdemir, Z. Ö., 2016, 8 th International ege energy symposium and exhibition, *8th Int. Ege Energy Symp*, Exhib, 162.
- Muhsin, Ö., 2020, Bosh dizel sistemli ürün geliştirme bölümü, mühendis ve makine, 48: 568, 24-25.
- Mutlubaş, H., 2016, Kitosan ile mikrodalgaya destekli biyodizel üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırklareli, 18-20.
- Meher, L. C., D. V. Sagar., S. N. Naik., 2006, Technical aspects of biodiesel production by transesterification: A Review, *Renew, Sustain, Energy Rev*, 10 248-268.
- Nişancı, S., 2007, Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-26.
- NREL, 2008, Biodiesel handling and use guide (fourth edition), National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-540-43672.
- Orman, R. Ç., 2019, Atık madeni yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanılması ve katkı maddesi ile geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 94-106.
- Öğüt, H. ve Oğuz, H., 2006, Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel, *Nobel Yayın Dağıtım*, Fen ve Biyoloji Yayınları Dizisi 33, 2. Ankara, 25-38.
- Özdemir, Z. Ö. ve Mutlubaş, H., 2016, Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Bilim Dergisi* 2, Kırklareli, 129-143.

- Özdemir, M., 2011, Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Öz, İ. H., Borat, O., Sürmen, A., 2006, İçten yanmalı motorlar, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 1-13.
- Öztürk, E. Y., Altinkurt, D. M., Türkcan, A., 2020, Dizel-biyodizel-izobütanol üçlü karışımları kullanılan bir dizel motorda yanma, performans ve emisyon karakteristiklerinin deneysel olarak incelenmesi, mühendislikte yakıtlar, *Yangın ve Yanma Dergisi*, 8, 56-66.
- Sezgin, M., 2019, Apı borularının gazaltı kaynak yöntemiyle kaynaklanabilirliği ve mikroyapı-mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-5.
- Sundus, F., Fazal, M. A., Masjuki, H. H., 2017, Tribology with biodiesel, a study on enhancing biodiesel stability and its fuel properties, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 399-412.
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E., Soruşbay, C., 2008, İçten yanmalı motorlar, *Birsen yayınevi*, İstanbul
- Safgönül, B., Ergeneman M., Arslan, E., Soruşbay, C., 1995, İçten yanmalı motorlar, *Birsen Yayınevi Ltd. Şti*, İstanbul.
- Srıvastava, A., Prasad, R., 2000, Triglycerides-based diesel fuels, renewable and sustainable Energy Reviews, 4, 111-113.
- Sütcü, D., 2021, Potasyum permanganat (KMnO_4) katkılı atık bitkisel yağlardan elde edilen biyoyakıt ile dizel yakıt karışımlarının bir araştırma motorunda kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Batman, 64-65.
- Şahin, S., 2021, Motorin ve aspir biyodizeli karışımlarına ilave edilen bazı katkı maddelerinin yakıt özellikleri, motor performansı ve emisyon değerlerine etkilerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 124-137.
- Temizer, İ., 2010, Bir dizel motorunun performans ve emisyonları üzerine katkı maddelerinin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fırat, 61-63.
- Tosun, Z., 2017, Propanolün bir dizel motorda aspir biyodizeli kullanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman, 23.
- Tillem, İ., 2005, Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 7-9.

- Uyar, M., 2013, Transesterifikasyon Yöntemiyle Üretilen Biyodizel Yakıtlarının Üzerine MnO_2 , Dodekanol, Propilen Glikol Katkı Maddelerinin Etkisinin DeneySEL Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Ulusuy, Y. ve Alibaş, K., 2002, Diesel motorlarda biodiesel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, Bursa,16, 37-50.
- Uluengin, M. B., 2017, Sizde evinizde biyodizel üretebilirsiniz, *Birsen Yayınları*, İstanbul,11.
- Üstün, S., 2021, Investigation of engine performance and emission characteristics of organic-based manganese addition into waste fusel oil-diesel mixture, journal of the faculty of engineering and architecture of *Gazi University*, 36: 1515-1529.
- Üstün, S. ve Gürü, M., 2022, Buji ile ateşlemeli bir motorda sentetik mangan katkısı ile fuzel yağı-benzin karışımlarının performans ve emisyonlara etkilerinin incelenmesi, *Politeknik Dergisi*, 25(1): 443-454.
- Ülkü, H. ve Yalprı, Ş., 2021, Enerji talep tahmini için metodoloji geliştirme, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 188-201.
- Vermeersch, G., 2000, Development of a Biodiesel Activity, 3. *International Congress and Expo Lipids, Fats, and Oils*, Würzburg-Almanya
- Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., Tandiroğlu, A., 2016, Parametric optimization and exergetic analysis comparison of subcritical and supercritical organic rankine cycle (ORC) for biogas fuelled combined heat and power Engine Exhaust Gas Waste Heat. *Energy*, vol. 111, 923-932.
- Yang, H. H., Lee, W.J., Mi, H.H., Wong, C.H., Chen, C.B., 1998, Pah emissions influenced by mn based additive and turbocharging from a heavy duty diesel engine, *Environment International*, 24, 389-403.
- Yenioğlu, V. Koca., 2009, Biyodizel sentezi ve biyodizel katkı maddelerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.
- Yağız, S., 2019, Pamuk yağı ve atık pamuk yağı biyodizelinin dizel motorlu bir jeneratörde yakıt olarak kullanım olanaklarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Yeşilyurt, M. K., 2017, Biyodizel-dizel yakıt karışımlarına farklı alkol ilavelerinin dizel motorlarda performans, yanma ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat, 40-41.
- <https://malzemebilimi.net/manganez-mangan-nedir-nerelerde-kullanilir-nasil-uretilir-ozellikleri-nelerdir.html> [Erişim Tarihi: 31.03.2020].