T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MOTORİN VE ASPİR BİYODİZELİ KARIŞIMLARINA İLAVE EDİLEN BAZI KATKI MADDELERİNİN YAKIT ÖZELLİKLERİ, MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYON DEĞERLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Seda ŞAHİN

DOKTORA TEZİ
Tarım Makineleri Ve Teknolojileri Mühendisliği
Anabilim Dalı

Mart-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Seda ŞAHİN

22/03/2021

ÖZET

DOKTORA TEZİ

MOTORİN VE ASPİR BİYODİZELİ KARIŞIMLARINA İLAVE EDİLEN BAZI KATKI MADDELERİNİN YAKIT ÖZELLİKLERİ, MOTOR PERFORMANSI VE EMİSYON DEĞERLERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Seda ŞAHİN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

2021, 166 Sayfa

Jüri
Danışman: Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ
Prof.Dr. Hüseyin ÖĞÜT
Prof.Dr. Hidayet OĞUZ
Prof.Dr. Tamer MARAKOĞLU
Doç.Dr. Tanzer ERYILMAZ

Bu çalışmada, biyodizel (B_{100}) yakıtı ve hacimsel olarak farklı oranlarda motorin (M_{100}), biyodizel (B) ve n-bütanol (BÜ) veya n-pentanol (P) ihtiva eden alternatif karışım yakıtlarının (motorin/biyodizel/ n-bütanol ve motorin/biyodizel/ n-pentanol), yakıt özelikleri, motor performansı ve egzoz emisyon değerleri referans yakıt motorin (M_{100}) ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Araştırmada ayrıca karışım yakıtlarına 2000 ppm konsantrasyonunda 2-etilhekzil nitrat (EHN) setan iyileştirici katkısı ilave edilerek EHN'nin yakıt özellikleri, motor performansı ve emisyon değerlerine etkileri incelemiştir. Tüm yakıt ve karışımlarına ait motor performansı ve egzoz emisyon testleri, dört silindirli, dört zamanlı ve direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda farklı hızlarda ve tam yük koşullarında gerçekleştirilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre motorin, biyodizel ve karışım yakıtlarına ait yakıt özelliklerinin, biyodizel ve motorin yakıtı standartlarıyla uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Bu yakıtlara ait yoğunluk değerleri 0.830 ile 0.8885 kg m^{-3}, kinematik viskoziteleri 2.83 ile 4.57 mm^2s^{-1}, ısıl değerleri 40.13 ile 43.4 MJ kg^{-1}, su içerikleri 48.015 ile 499 ppm, setan sayıları 48.8 ile 55.8, bulutlanma, SFTN ve akma noktaları ise sırasıyla -13.9 ile -1.4 ºC, -22 ile -10 ºC, -15 ile <-20 ºC arasında belirlenmiştir. Tüm yakıt ve karışımlarına ait motor performansı sonuçları değerlendirildiğinde, maksimum motor gücü ve motor torku ile minimum özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla 84.86 BG (2100 d dak^{-1}), 339.65 Nm (1300 d dak^{-1}) ve 191.37 g BGh^{-1} (1600 d dak^{-1}) değerleri ile M_{100} yakıtında gerçekleşmiştir. Karışım yakıtları içerisinde, motor performansı açısından M_{100} yakıtına en yakın sonuçlar $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtından elde edilmiştir. Ayrıca, n-pentanol ihtiva eden karışım yakıtları, n-butanol içeren karışım yakıtlarına göre daha iyi performans sonuçları göstermiştir. Karışım yakıtlarına ait CO, CO_2 ve NO_x emisyonları motorin yakıtına göre daha düşük değerler gösterirken, HC ve O_2 emisyonlarında ise belli oranlarda artışlar olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 2-etilhekzilnitrat, biyodizel, egzoz emisyonu, motor performansı, motorin, n-bütanol, n-pentanol, yakıt özellikleri

ABSTRACT

Ph.D THESIS

DETERMINATION OF THE EFFECTS ON FUEL PROPERTIES, ENGINE PERFORMANCE, AND EMISSION VALUES OF SOME ADDITIVES ADDED TO DIESEL AND SAFFLOWER BIODIESEL MIXTURES

Seda ŞAHİN

The Graduate School of Natural and Applied Scıence of Selçuk University
The Degree of Doctor Of Phılosophy
In Agricultural Machineries and Tecnologıes Engineering

Advisor: Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

2021, 166 Pages

Jury
Advisor: Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ
Prof.Dr. Hüseyin ÖĞÜT
Prof.Dr. Hidayet OĞUZ
Prof.Dr. Tamer MARAKOĞLU
Assoc. Prof. Tanzer ERYILMAZ

In this study, it was evaluated in comparison with the reference fuel diesel (M_{100}) the fuel properties, engine performance, and exhaust emission values of biodiesel fuel (B_{100}) and alternative blended fuels containing different volumetric amounts of diesel (M_{100}), biodiesel (B_{100}) and n-butanol (BU) or n-pentanol (P) (diesel / biodiesel / n-butanol and diesel / biodiesel / n-pentanol). In addition, in the study, the effects of EHN on fuel properties, engine performance and emission values have been examined by adding 2-ethylhexyl nitrate (EHN) cetane improver additive to mixture fuels at a concentration of 2000 ppm. Engine performance and exhaust emission tests of all fuels and mixtures were carried out in a four-cylinder, four-stroke, and direct injection diesel engine at different speeds and full load conditions.

According to the results of the research, it has been determined that the fuel properties of diesel, biodiesel, and blended fuels comply with biodiesel and diesel fuel standards. Density values of these fuels were determined between 0.830 to 0.8885 kg m^{-3}, kinematic viscosities 2.83 and 4.57 mm^2s^{-1}, thermal values 40.13 and 43.4 MJ kg^{-1}, water content 48.015 and 499 ppm, cetane numbers 48.8 and 55.8, cloud point, cold filter plugging point, and pour point -13.9 and -1.4 ºC, -22 and -10 ºC, -15 and <-20 C, respectively. When the engine performance results for all fuels and blends were evaluated, the maximum engine power, engine torque and the minimum specific fuel consumption were realized in M_{100} fuel with values of respectively 84.86 HP (2100 min^{-1}), 339.65 Nm (1300 min^{-1}) and 191.37 g BGh^{-1} (1600 min^{-1}). Among the blended fuels, the closest results to M_{100} fuel in terms of engine performance were obtained from $M_{85}B_{10}P_5$ + EHN fuel. Besides, mixed fuels containing n-pentanol showed better performance results than blended fuels containing n-butanol. While CO, CO_2, and NO_x emissions of blended fuels show lower values compared to diesel fuel, it has been determined that there are certain rates of increases in HC and O_2 emissions.

Keywords: 2-ethylhexylnitrate, biodiesel, diesel,engine performance, exhaust emission, fuel properties, n-butanol, n-pentanol,

ÖNSÖZ

Enerji ihtiyacı tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de artarak devam etmektedir. Günümüz dünyasında enerji ihtiyacının büyük kısmı rezervleri aşırı kullanım sonucu hızla tükenmekte olan petrolden karşılanmakta olup bu yakıtın önemli bir kısmı ise motorlu taşıtlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Bunun bir sonucu olarak hava kirliliğinin en önemli sebeplerinden biri olan egzoz emisyonlarının artması ise araştırmacıları alternatif yakıt arayışına itmiştir.

Bu tez çalışmasında beni yönlendiren, çalışmamın gerçekleşmesi için gerekli ortamın hazırlanmasında, analizlerin yapılmasında, denemelerin yürütülmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde bana yardımcı olan danışman hocam Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda her türlü desteklerinden dolayı Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT'e, Prof. Dr. Hidayet OĞUZ'a, Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ'a, Doç. Dr. İlker ÖRS'e, Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN'a, Dr. Nuri ORHAN'a laboratuvar çalışmalarımda daima yardımlarını gördüğüm emekli tekniker Rahim KIYAR'a, ayrıca Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ile teknisyen Fevzi DUMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak her zaman maddi ve manevi yönden destek sağlayan ve varlıkları ile hep yanımda olan kızım Nilda ŞAHİN, eşim Mehmet ŞAHİN ve aileme sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Seda ŞAHİN

KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **x**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Biyokütle ve Biyoenerji 5
1.2. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 9
1.2.1. Sıvı biyoyakıtlar 12
1.2.1.1. Biyodizel 14
1.3. Alkol yakıtlar ve Motorlarda Kullanımı 21
1.3.1. Yüksek (Ağır) alkoller 22
1.3.1.1. n-bütanol ve n-pentanol 23
1.4. Aspir 24
1.4.1. Aspir bitkisinin tanımı 24
1.4.2. Aspir bitkisinin tarihi 26
1.4.3. Aspir bitkisinin kullanım alanları 27
1.4.4. Aspir bitkisinin ekilen alan, üretim ve verim değerleri 27
1.4.5. Ülkemize ait tescilli aspir çeşitleri 28

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **30**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **55**

3.1. Materyal 55
3.1.1. Aspir tohumu (*Carthamus tinctorius*) ve yağı 55
3.1.2. n-bütanol 55
3.1.3. n-pentanol 56
3.1.4. 2-Etilhekzil nitrat (EHN) 57
3.1.5. Motorin 58
3.1.6. Aspir yağı metil esterinin (biyodizel) üretim aşamasında kullanılan kimyasallar 59
3.1.6.1. Metanol (metil alkol) ve katalizör 59
3.1.7. Dijital kumpas 60
3.1.8. Etüv 60
3.1.9. PLC destekli pilot üretim tesisi 61
3.1.10. Yakıt özelliklerinin belirlenmesinde faydalanılan laboratuvar ve cihazlar 63
3.1.10.1. Yakıt analiz laboratuvarı 63
3.1.10.2. Cihazlar 63
3.1.11. Dizel motor 71
3.1.11.1. Motor test düzeneği 72
3.2. Yöntem 77

3.2.1. Aspir (Linas çeşidi) tohumunun bazı fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi ... 77
3.2.1.1. Standart boyutlar ... 78
3.2.1.2. Geometrik ortalama çap ve küresellik ... 78
3.2.1.3. Projeksiyon (*izdüşüm*) alanı ... 78
3.2.1.4. Porozite ... 79
3.2.1.5. Bin dane ağırlığı ... 80
3.2.1.6. Nem içeriği ... 81
3.2.1.7. Kritik hız ... 81
3.2.1.8. Kırılma direnci ... 82
3.2.2. Aspir tohumundan yağ çıkarma işlemi ... 83
3.2.3. Aspir yağına ait bazı kimyasal özelliklerin belirlenmesi ... 85
3.2.3.1. Ham aspir yağının filtre edilmesi ... 85
3.2.3.2. Aspir yağı metil esteri (biyodizel) üretimi ... 86
3.2.3.3. Yakıt karışımlarının hazırlanması ... 88
3.2.4. Yakıt özelliklerinin belirlenmesi ... 90
3.2.4.1. Yoğunluk ... 90
3.2.4.2. Kinematik viskozite ... 90
3.2.4.3. Kalori değeri (*ısıl değer*) ... 91
3.2.4.4. Parlama noktası ... 91
3.2.4.5. Bulutlanma noktası ve akma noktası ... 91
3.2.4.6. Soğuk filtre tıkanma noktası ... 92
3.2.4.7. Bakır şerit korozyon testi ... 92
3.2.4.8. Su içeriği ... 93
3.2.4.9. Setan sayısı ... 93
3.2.5. Motor deney düzeneğinin hazırlanması ve motor deneyleri ... 94
3.2.6. Motor performansı parametreleri ... 95
3.2.6.1. Motor momenti ... 95
3.2.6.2. Efektif motor gücü ... 96
3.2.6.3. Özgül yakıt tüketimi ... 96

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA ... 97

4.1. Aspir (linas çeşidi) Tohumuna Ait Bazı Fiziksel- Mekanik Özellikler ... 97
4.2. Yakıt Özellikleri ... 98
4.2.1. Yoğunluk ... 98
4.2.2. Kinematik viskozite ... 100
4.2.3. Kalori değeri (*ısıl değer*) ... 101
4.2.4. Setan sayısı ... 103
4.2.5. Bakır şerit korozyon ... 105
4.2.6. Su içeriği ... 106
4.2.7. Parlama noktası ... 107
4.2.8. Soğuk akış özellikleri ... 108
4.3. Motor Performansı Deney Sonuçları ... 110
4.3.1. Efektif güç değerlerinin değişimi ... 110
4.3.2. Moment değerlerinin değişimi ... 114
4.3.3. Özgül yakıt tüketimi değerlerinin değişimi ... 118
4.4. Egzoz Emisyonu Deney Sonuçları ... 123
4.4.1. Karbonmonoksit (CO) değerlerinin değişimi ... 123
4.4.2. Karbondioksit (CO_2) değerlerinin değişimi ... 126

4.4.3. Oksijen (O_2) emisyon değerlerinin karşılaştırılması 129
4.4.4. Azot oksit (NO_x) emisyon değerlerinin karşılaştırılması 132
4.4.5. Hidrokarbon (HC) emisyon değerlerinin karşılaştırılması 135
4.4.6. Egzoz gazı sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması 138

4. SONUÇ ve ÖNERİLER 142

4.1. Sonuçlar 142
4.2. Öneriler 144

KAYNAKLAR 145

ÖZGEÇMİŞ 154

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

B	: Saatlik yakıt tüketimi
be	: Özgül yakıt tüketimi
C	: Karbon
$C_{14}H_3O$	: Motorin
C_2H_5OH	: Etanol
$C_4H_{10}O$	: Bütanol
$C_5H_{12}O$	: Pentanol
C_7H_8	: Toluen
$C_8H_{17}NO_3$	: 2-etilhekzil nitrat
CH_3OH	: Metanol
CH_4	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
D_p	: Geometrik ortalama çap
d_t	: Toluen yoğunluğu
Ɛ	: Porozite
F	: Hidrolik güç freninin moment kolu üzerinden teraziye uyguladığı kuvvet
H	: Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
HHO	: Hidroksil
KOH	: Potasyum Hidroksit
L	: Hidrolik frenin moment kolu uzunluğu
L_u	: Uzunluk
m_1	: Bin dane ağırlığı
M_d	: Motor döndürme momenti
m_t	: Numune miktarı
n	: Motor devri
N_2	: Azot
NaOH	: Sodyum Hidroksit
n_d	: Sayılan dane sayısı
NO_x	: Azotoksit
O	: Oksijen
ϕ	: Küresellik
P_b	: Yığın hacim ağırlığı
Pe	: Efektif güç
PM	: Partikül madde
P_t	: Gerçek hacim ağırlığı
S	: Kükürt
SO_2	: Kükürtdioksit
SO_x	: Kükürtoksit
T	: Kalınlık
W	: Genişlik

Kısaltmalar

AR-GE	: Araştırma - Geliştirme
ASTM	: American Society for Testing and Material
B	: Biyodizel
Bü	: Bütanol
DIN	: Deutsches Institut Für Normung
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
DSC	: Difransiyel Taramalı Kalorimetre
EGR	: Exhaust Gas Recirculation
EHN	: 2-Etilhekzil Nitrat
EN	: Europeane Norm
FT-IR	: Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre
ISO	: International Organization for Standardization
M	: Motorin
P	: Pentanol
PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrol Cihazı
ppm	: Parts per million
SFTN	: Soğukta Filtre Tıkanma Noktası
TDI	: Turboşarjlı Dizel Motor
TGA	: Thermogravimetric Analyzer
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UV-Vis	: Ultraviyole ve görünür ışık absorbsiyon spektroskopisi

1. GİRİŞ

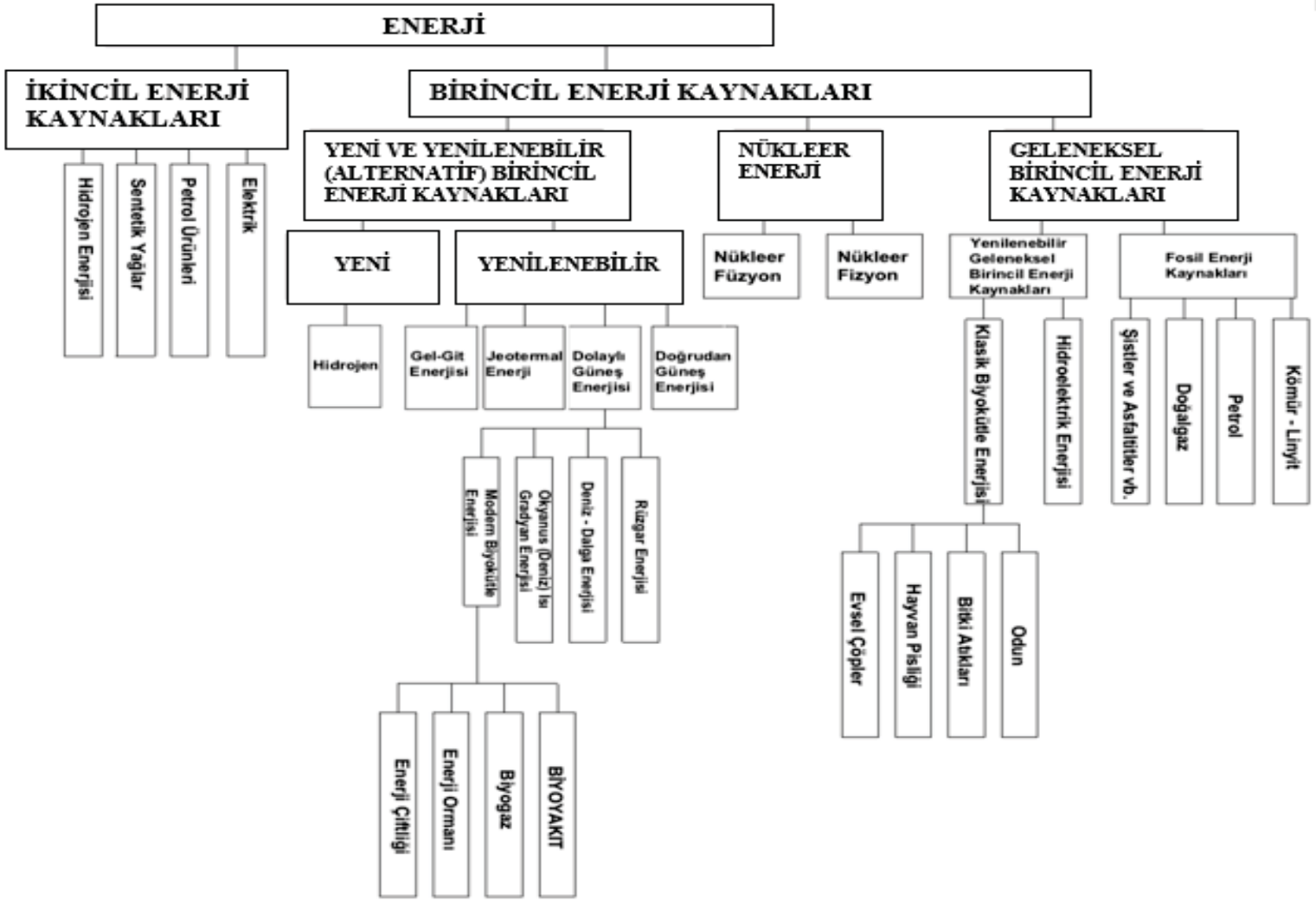
Enerji, çağımızın en önemli tüketim maddelerinden biri ve vazgeçilmez bir uygarlık aracıdır. Gelişmişlik düzeyi yüksek olan ülkelerin en önemli ihtiyaçlarının başında yer alan enerjinin tüketimi, sürekli artış gösterme eğilimindedir. Günümüzde teknolojik gelişmelerin devam etmesi ve bu teknolojik gelişmelerin yaşamımızda sunduğu imkanların sürmesi için doğrudan ve dolaylı olarak enerji tüketilmesi gerekmektedir (Anonim, 2012; Hosseinzadeh Samani ve ark., 2020). Bu açıdan, ülkelerin gerek ekonomik ve gerekse sosyal kalkınmaları açısından enerji kaynakları oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir (Yılmaz, 2012).

Enerji kaynakları, birincil (primer) ve ikincil (sekonder) enerji kaynakları olarak sınıflandırılabilmektedir (Şekil 1.1).

Birincil enerjiler, doğadan doğrudan çıkarılan (fosil kaynaklı) veya elde edilen (yenilenebilir) enerjilerdir. İkincil enerjiler ise birincil enerji kaynaklarının elektrik enerjisi, petrol ürünleri (motorin, benzin vb.) ile metanol, etanol ve hidrojen gibi yakıt şekillerine dönüştürülmesinden oluşmaktadır (Örgev ve Gümüş, 2017).

Günümüzde gelişmişlik anlayışı, enerji bolluğu ve tüketimi yerine, enerjinin daha tasarruflu ve daha ekonomik bir şekilde karşılandığı teknoloji ve kaynak kullanımı anlayışı ile yer değiştirmiştir. Bu yeni bakış açısı "sağlıklı çevre", "enerji güvenliği" ve "enerji çeşitliliği" politikalarını da beraberinde getirmiştir. Günümüz dünyasında küresel ısınma ve iklim değişikliğinin neden olduğu ekolojik ve çevresel zararların azaltılması yoluna gidilmesi, bu yeni politikaların temelini oluşturmaktadır (Güner ve Turan, 2017).

Enerji ihtiyacının karşılanmasında petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kaynaklı (yenilenemez) enerji kaynakları birçok ülkenin ithalatında önemli bir paya sahiptir. Ancak fosil kaynaklı enerji kaynaklarının fiyatlarındaki istikrarsızlık sebebiyle ülkeler, bu tür enerjilere olan bağımlılıklarını azaltmak, enerji çeşitliliklerini artırmak, bu tür enerji kaynaklarının neden olduğu hava, su, toprak kirliliğinden bitki örtüsünün ve hayvanların yok olmasına kadar uzanan çevre sorunları ile birlikte bu tür enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte tükenecek olmasının anlaşılması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimine ve kullanımına yönelmişlerdir (Anonim, 2012; Hiçdurmaz, 2019).



Şekil 1.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması (Eryılmaz, 2009)

Enerji üretiminin ve tüketiminin sürdürülebilir kalkınma kavramı çerçevesinde gerçekleştirilmesi, günümüz dünyasının en önemli hedeflerinden birisi olmuştur. Bu bağlamda insanlık, sürdürülebilir kalkınma ve daha iyi yaşam şartları arayışına devam ettiği sürece, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi ve kullanımı konusu dünya çapında bir öncelik haline gelecektir (Anonim, 2012).

Yenilenebilir enerji kaynakları, yeryüzünde ve doğada çoğunlukla herhangi bir üretim prosesine ihtiyaç duyulmadan temin edilebilen, kömür, petrol ve karbon türevi gibi fosil kaynaklı olmayan, elektrik enerjisi üretiminde karbondioksit (CO_2) emisyonu salınımı az bir seviyede gerçekleşen, çevreye zararı ve etkisi geleneksel olarak tanımlanan fosil kökenli enerji kaynaklarına göre çok daha düşük olan, sürekli bir devinimle yenilenen ve kullanılmaya hazır olarak doğada var olan güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal, biyokütle, biyogaz, hidrojen, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi enerji kaynaklarını ifade etmektedir. Yenilenebilir enerji, kısaca doğada var olan ve sürekli kendini yenileyen enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2012).

Yenilenebilir enerji kaynaklarından verimli bir şekilde faydalanabilmek, enerji üretimindeki paylarını arttırabilmek ve bu kaynaklardan üretilen enerjinin kullanımlarını daha cazip hale getirebilmek için dünya genelinde, hem teknolojik araştırmalar (AR-GE) hem de ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, enerji arzının güvenliği ve enerjinin sürekliliğini sağlamak açısından son derece önemlidir (Çavaş, 2017).

Dünya'da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve yaygınlaştırılmasının sağlayacağı bazı önemli faydalar bulunmaktadır. Bu faydalar şu şekilde sıralanabilir (Çavaş, 2017);

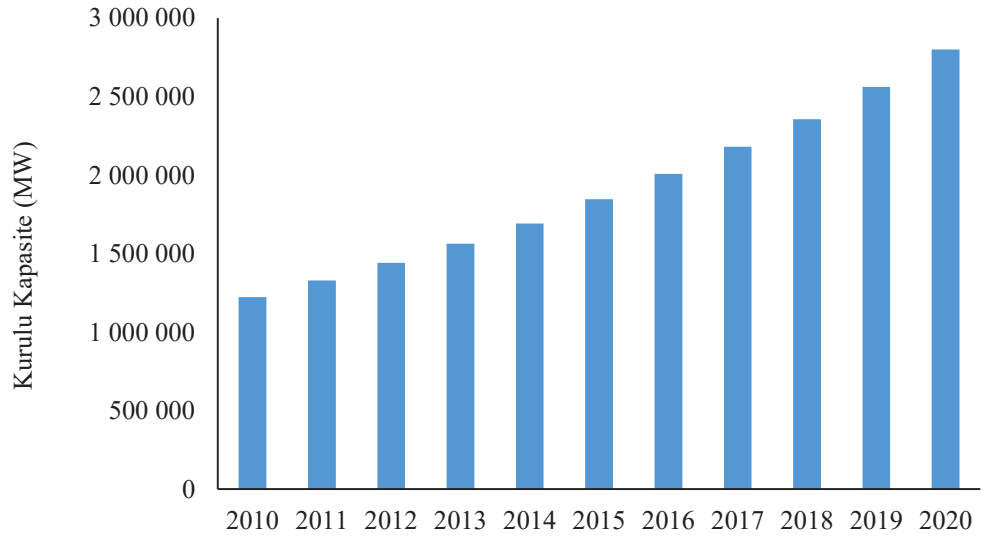
- Ülke ekonomisine yeni bir dinamizm kazandırılması suretiyle, petrol ve doğal gaz ithalatı için harcanan giderlerin azaltılması ve artan bu kaynakların başka alanlarda yatırıma dönüştürülmesi sağlanacaktır.
- Gerek doğrudan gerekse dolaylı olarak yenilenebilir enerji sistemlerinin ve santrallerinin inşasında, kurulmasında, üretiminde ve bunların bakım ve onarımlarının yapılmasında işgücü ihtiyacı ortaya çıkacak ve bu şekilde yerel işgücü istihdamının artmasıyla o bölgedeki kalkınmaya ve işsizlik oranında azalmaya katkı sağlanarak büyük şehirlere göç engellenecektir.
- Özellikle tarım sektörünün geliştiği bölgelerde biyoenerji ürünlerinin ekimi teşvik edilecek, ayrıca güneş ya da rüzgâr potansiyeli yüksek olan bölgelerde bu enerji kaynaklarının kullanılmasının bir sonucu olarak artan kalkınma düzeyi ile beraber

daha önceden az gelişmiş olan bu bölgelere ilgi artarak bu bölgelerinde gelişmesine yardımcı olunacaktır. Böylece bölgeler arası gelişmişlik farkının giderilmesinde, ekonomik ve sosyal dengesizliğin azalmasında önemli katkılar sağlanmış olacaktır.

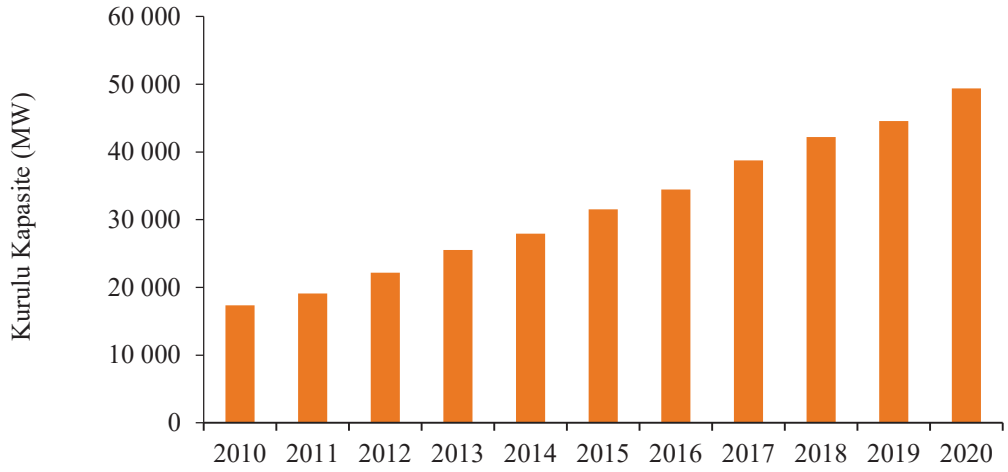
- Enerji talebini karşılamada sağlanan enerji arzı güvenliği sayesinde enerjiyi kullanan farklı sektörler, olumlu yönde etkilenerek sağlanan güven ortamından dolayı daha fazla yatırım yaparak ülkenin gelişimine katkı sağlayacaklardır.

Dünya'da ve Türkiye'de toplam yenilenebilir enerji (biyoenerji, jeotermal, güneş, rüzgar, deniz ve hidrolik enerji teknolojisi) kurulu kapasitenin yıllar itibari ile değişimi Şekil 1.2'de, toplam kurulu kapasitenin yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitlerine göre dağılımı ise Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Şekil 1.2'nin incelenmesinden görüleceği üzere son 10 yılda gerek Dünya ve gerekse Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yıllara göre artış göstermiştir. 2010 yılına ait veriler incelendiğinde Dünya'da toplam yenilenebilir enerji kurulu kapasitesi 1 279 305 MW düzeyinde iken, bu değerin 2020 yılına gelindiğinde yaklaşık 2.2 kat artış göstererek 2 862 971 MW düzeyine ulaştığı görülmektedir. Ülkemizde de benzer durum sözkonusudur. Türkiye'de 2010 yılı verilerine göre 17 377 MW olan toplam yenilenebilir enerji kaynaklı kurulu kapasite 2020 yılına gelindiğinde yaklaşık olarak 2.8 kat artış göstererek 49 397 MW seviyesine ulaşmıştır.



(a)



(b)

Şekil 1.2. Yıllara göre Dünya'da (a) ve Türkiye'de (b) yenilenebilir enerji kaynaklı toplam kurulu kapasitenin değişimi (Anonim, 2021)

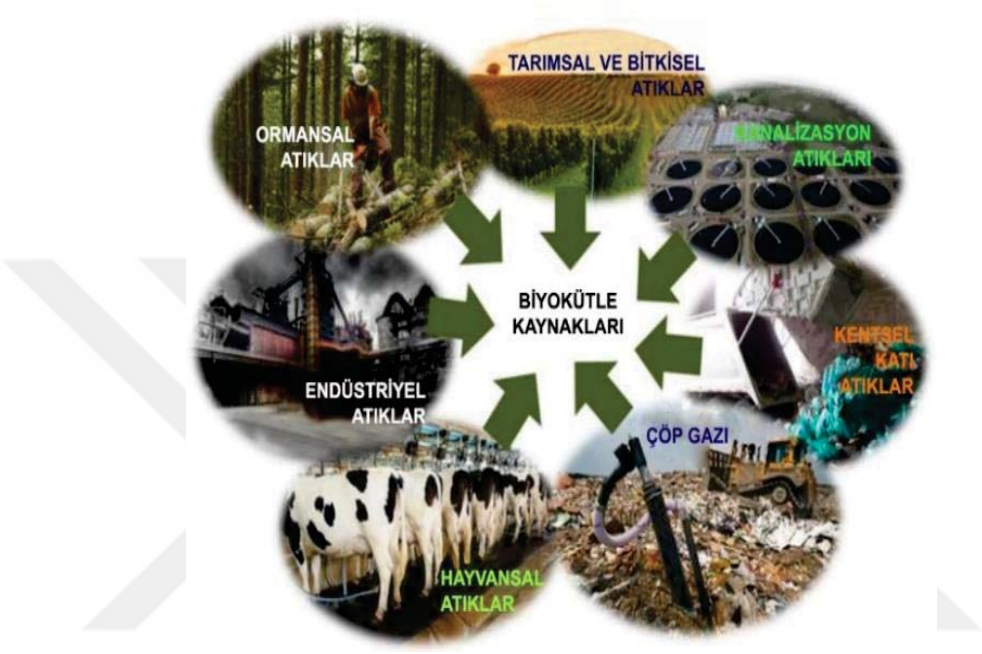
Çizelge 1.1. Dünya'da ve Türkiye'de 2020 yılı verilerine ait yenilenebilir enerji kurulu kapasitenin kaynak çeşitlerine göre dağılımı (Anonim, 2021)

Kaynak Çeşidi	Dünya (MW)	Türkiye (MW)
Hidrolik Enerji		
- Pompa depolama hariç	1 153 222	30 984
- Pompa depolamalı	121273	-
Rüzgar enerjisi		
- Karada	698 909	8 832
- Açık denizde	34 367	-
Biyoenerji		
- Biyogaz	20 150	748
- Atık	15 355	184.6
- Katı biyoyakıt	87 594	348.8
- Sıvı biyoyakıt	3 555	18.8
Güneş enerjisi		
- Fotovoltaik	707 494	6 667
- Termal	6 475	1
Jeotermal	14 050	1 613
Deniz	526.8	-
Toplam	2 862 970.8	49 397.2

1.1. Biyokütle ve Biyoenerji

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde biyokütle en büyük teknik potansiyele sahiptir. Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler "biyokütle enerjisi" olarak tanımlanmaktadır. Biyokütle enerji teknolojisi kapsamında; ormansal atıklar (enerji ormanları, ağaç artıkları), tarımsal ürünler ve bitkisel atıklar (yağlı tohum bitkileri; *ayçiçeği, kolza, soya vb*., karbon-hidrat bitkileri;

patates, buğday, mısır, pancar vb., elyaf bitkileri; *keten, kenaf, kenevir, sorgum vb*., bitkisel artıklar; *dal, sap, saman, kök, kabuk vb*.,), hayvansal atıklar ile kentsel ve endüstriyel atıklar yer almaktadır (Anonim, 2011b). Biyokütle enerji teknolojisi kapsamında yer alan kaynaklar ana başlıklar altında şematik olarak Şekil 1.3'te görülmektedir.

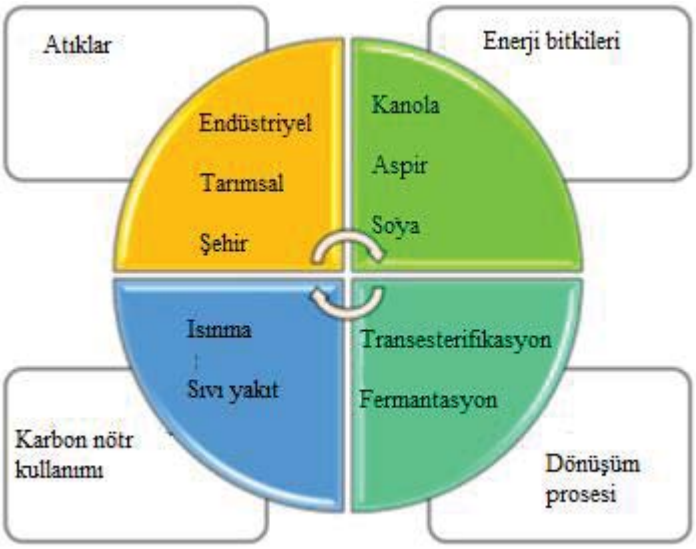


Şekil 1.3. Biyokütle enerjisi kaynakları (Menéndez ve ark., 2018)

Biyokütlenin kullanılması için iki yol bulunmaktadır. Bunlar;

- Elektrik ve ısı üretimi için biyokütlenin direkt olarak yakılması,
- Karbonmonoksit (CO) , hidrojen (H) ve metan (CH_4) gibi çeşitli gaz veya etanol, metanol, bütanol, biyoyağ ve biyodizel gibi sıvı yakıtlara dönüştürülmesidir.

Biyokütlenin tüketilmesi şematik olarak Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Biyokütlenin tüketimi (Yılmaz ve Atmanlı, 2016)

Dünyanın çoğalan nüfusu ve sanayileşme süreci ile giderek artan enerji ihtiyacını çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir bir şekilde sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisi çeşitli üstünlükleri ile öne çıkmaktadır. Bu üstünlükler şöyle sıralanabilir (Kapluhan, 2014);

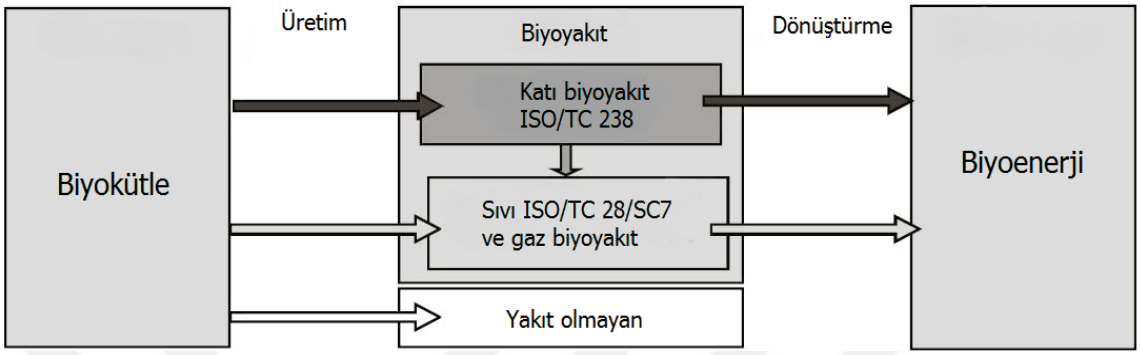
- Hemen hemen her yerde yetiştirilebilmesi,
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi,
- Her ölçekte enerji üretimi için uygunluk,
- Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması,
- Depolanabilir olma özelliği,
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması.

Yukarıda sayılan avantajları yanında biyokütle üretimi sayesinde tarımsal ve hayvansal atıkların oluşturduğu çevresel sorunlar ve bunlardan kaynaklanan hastalıklar bertaraf edilebilmektedir. Bu kapsamda biyokütle; çevre kirliğinin azaltılması, CO_2 salınımının düşürülerek iklim değişikliğinin hafifletilmesi, sağlık harcamalarının düşürülmesi, hava-toprak-su kullanımı ve kalitesinin yükseltilmesi ve biyoçeşitliliğin artırılmasına da katkıda bulunmaktadır (Bayramoğlu, 2013).

Biyokütle, biyoyakıt ve biyoenerji kavramları çok geniş ve birbiriyle etkileşim halinde olan kavramlardır. Biyokütleden katı, sıvı ve gaz olarak biyoenerji üretilebilmektedir. Katı, sıvı ve gaz yakıtların sınıflandırılması ISO/TC (International Organization for Standardization/Technical Committee) tarafından gerçekleştirilmiş

olup, katı biyoyakıtlar ISO/TC 238, sıvı biyoyakıtlar ISO/TC 28/SC7 olarak tanımlanmışlardır (Sözen ve ark., 2017).

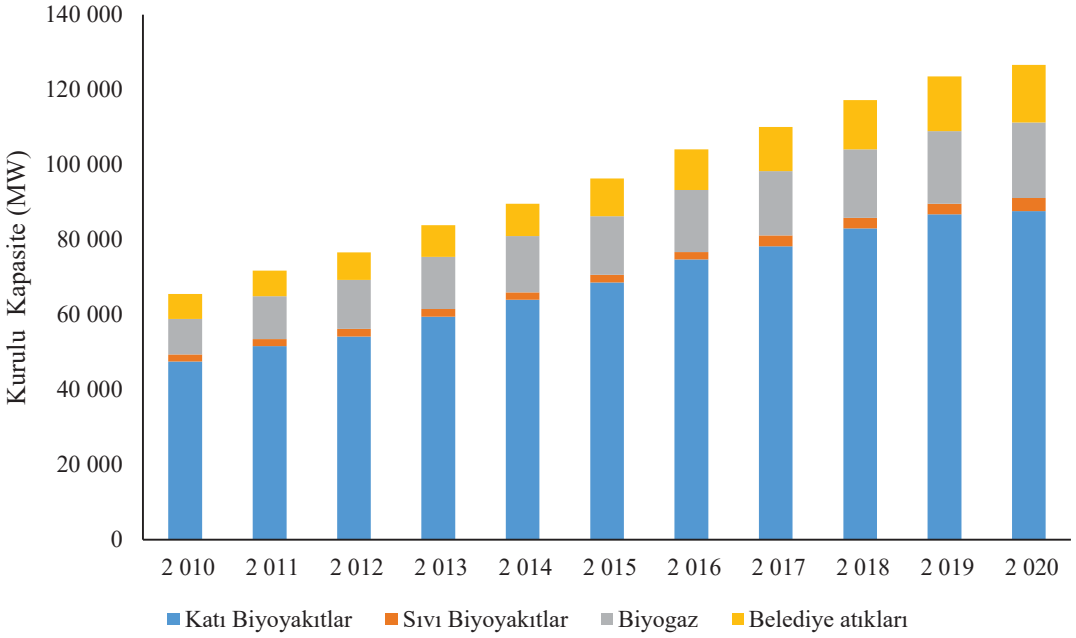
Biyokütle, biyoyakıt ve biyoenerji arasındaki etkileşim (ISO TC 238'e göre) Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



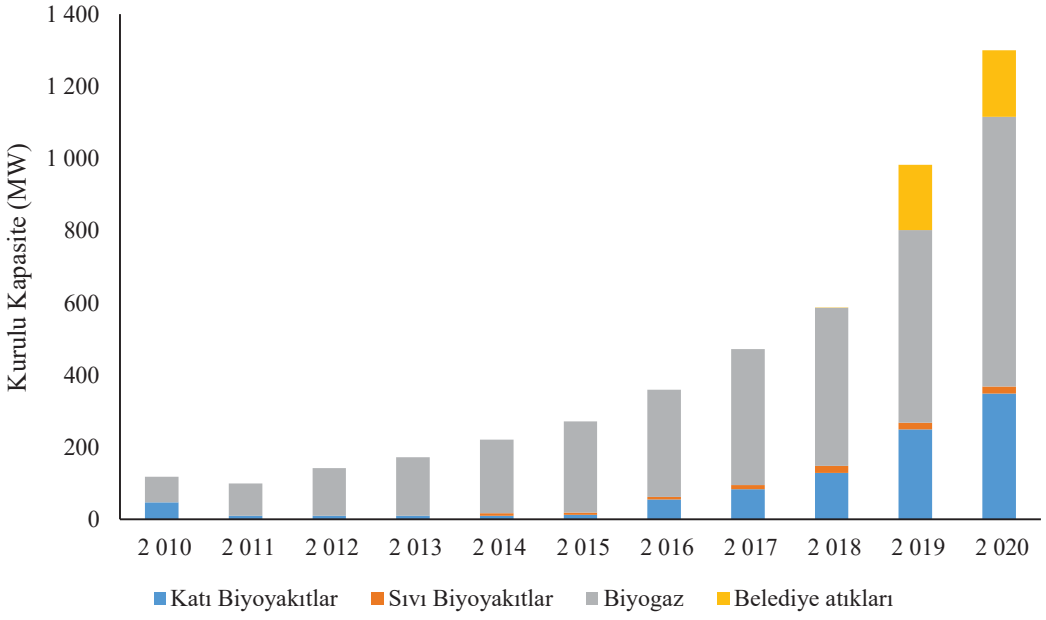
Şekil 1.5. Biyokütle, biyoyakıt ve biyoenerji arasındaki etkileşim (Sözen ve ark., 2017)

Biyoenerjinin kullanımı "geleneksel" ve "modern" biyoenerji olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Geleneksel kullanım, biyokütlenin odun, hayvan atıkları ve kömür gibi şekillerde yanmasını, modern biyoenerji teknolojileri ise küspe ve diğer bitkilerden üretilen sıvı biyoyakıtlar, biyo-rafinerileri, kalıntılardan anaerobik fermentasyon yoluyla üretilen biyogaz, odun pelet ısıtma sistemleri ve diğer teknolojileri ifade etmektedir (Anonim, 2021).

Dünya'da ve Türkiye'de biyoenerji kurulu kapasitenin yıllara göre değişimi Şekil 1.6'da verilmiştir. Dünya'da 2010 yılı verilerine göre 65 570 MW düzeyinde olan biyoenerji kurulu kapasite 2020 yılına gelindiğinde, yaklaşık olarak 2 kat artarak 126 654 MW düzeyine ulaşmıştır. Ülkemizde ise bu değer 2010 yılında 118 MW iken 2020 yılına gelindiğinde büyük bir artışla (yaklaşık 11 kat) 1300.2 MW düzeyine ulaşmıştır.



(a)



(b)

Şekil 1.6. Dünya'da (a) ve Türkiye'de (b) yıllara göre biyoenerji kurulu kapasite değerlerinin değişimi (Anonim, 2021)

1.2. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar

Günümüz dünyasında tarımsal faaliyetler artık sadece gıda üretimi amacıyla yapılmamakta buna ek olarak enerji bitkileri tarımı da giderek yaygınlaşmaktadır.

Biyoyakıt hammaddesi olabilecek bitkiler özellikle gıda amaçlı üretimi yapılacak bitkilerin yetiştirilemeyeceği tarımsal alanlarda da yetiştirilebilmekte böylece bu alanlar da tarımsal üretime katılabilmektedir. Modern tarımsal planlamalar çerçevesinde, tarımsal üretim alanlarının %30'unun yem bitkilerine, %20'sinin ise enerji bitkilerine ayrılması hedeflenmektedir (Horuz ve ark., 2015).

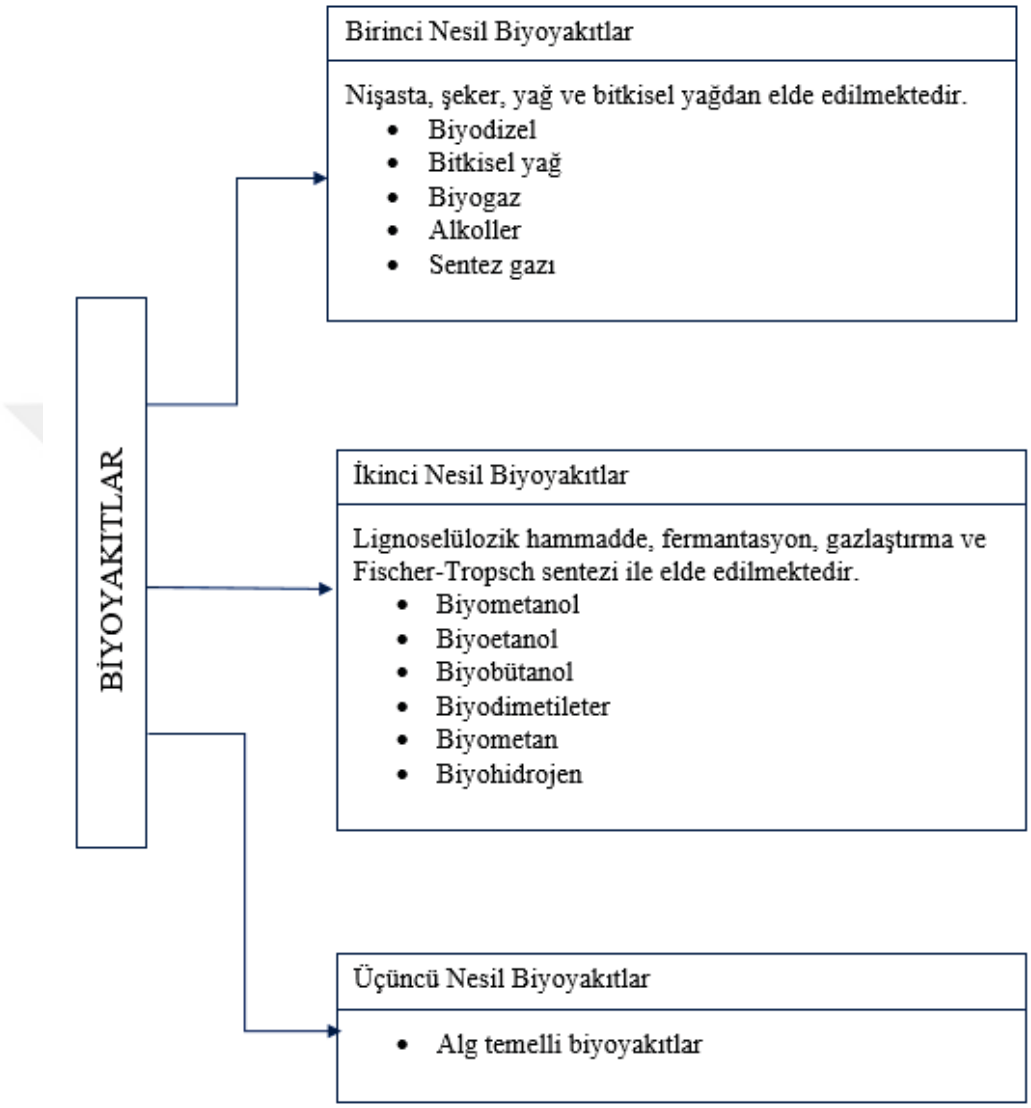
Bu gelişmelerin bir sonucu olarak, kaynakları ağırlıklı olarak tarımsal ürünlere dayalı olan yeni bir enerji sektörü ortaya çıkmıştır. Bu sektörün adı 'enerji tarımı'dır. Enerji tarımı, çiftçiler tarafından üretilen ve biyoyakıt üretiminde kullanılan her türlü bitkisel ürünü içermektedir. Biyoyakıt enerjisinin başta ABD olmak üzere AB'de ve birçok ülkede kullanılıyor olması, tüm dünya ile birlikte Türkiye'nin de bu enerjiye yöneldiğini göstermektedir (Narin, 2008).

Günümüz dünyasında biyoyakıtlara yönelişin nedenleri şu şekilde açıklanabilmektedir (Narin, 2008; Bengisu, 2014; Anonim, 2015; Ünlü, 2019).

- Fosil kökenli yakıtların hızla tükeniyor olmasının bir sonucu olarak petrol fiyatlarının yükselmesi,
- Fosil kökenli yakıtların kullanımı neticesinde ortaya çıkan çevre zararları ile birlikte bu zararların azaltılmasına yönelik yapılan büyük harcamalar,
- Dünya ülkelerinin enerji kaynaklarını çeşitlendirme ve bu bağlamda enerjide dışa bağımlılıktan kurtulabilme strateji ve çabaları,
- Savaş ve zorunlu durumlarda biyoyakıtların stratejik yakıt olma özelliği,
- Üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi,
- Biyolojik olarak parçalanabilmeleri ve sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaları,
- İçten yanmalı motorlarda yanma ve kullanım bakımından sağladığı yararlar,
- Çevreye ve insan sağlığına zararlı olan bitkisel atık yağların, üretiminde değerlendirilmesi sonucunda katma değer oluşturma özelliği,
- Taşıma ve depolanması açısından dünya standartlarında tehlikeli madde kapsamında yer almaması ve bunun bir sonucu olarak güvenli yakıt kabul edilmesidir.

Biyoyakıtlar, yaygın olarak tarımsal biyokütleden değişik yöntemlerle üretilen, özellikleri standartlaştırılmış ve ticari özelliği olan katı, sıvı ya da gaz haldeki yakıtların genel ismidir (Öğüt, 2007).

Günümüzde biyoyakıtlar, birinci, ikinci ve üçüncü nesil biyoyakıtlar olarak sınıflandırılmaktadır. Biyoyakıtların sınıflandırılması Şekil 1.7'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1.7. Biyoyakıtların sınıflandırılması (Ünlü, 2019)

Elverişli iklim koşulları, geniş ve verimli tarım arazileri varlığı ile geniş bir bitkisel çeşitliliğe sahip olan ülkemiz, biyoyakıt üretim potansiyeli bakımından oldukça zengin olan ülkelerden biri konumundadır. Türkiye'de biyoyakıt enerji kaynağı olarak kullanılabilecek, tarımsal üretim artıkları ve kurutulmuş bitki artıklarının yıllık toplam miktarının yaklaşık 55 milyon tonu bulduğu ve bu rakamın yıllık 16 milyon ton toplam enerjiye eşdeğer olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca bu konuda yapılan araştırmalarda,

Türkiye'nin enerji açığının önemli bir kısmını kapatabilecek düzeyde, biyoyakıt üretimi için gerekli olan hammaddeye sahip olduğunu ancak bu mevcut potansiyelin kullanılabilmesi için, bu kaynaklara erişim imkanlarının artırılması, biyokütle kaynaklarının özelliklerinin değerlendirilip sınıflandırılması, biyokütle dönüştürme teknolojilerinin geliştirilmesi ve bu konularda gerekli yasal düzenlemelerin yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu bağlamda daha etkin ve verimli bir şekilde biyoyakıt enerji üretiminin gerçekleşeceği ve Türkiye'nin enerji çeşitliliğinin zenginleşerek yakın gelecekte birincil enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payının en yüksek düzeye ulaşacağı öngörülmektedir (Toklu, 2017; Aslantaş, 2018).

Biyoyakıtların tarımsal açıdan ele alınması ve değerlendirilmesi sonucunda tarıma birçok faydasının olduğu görülmektedir. Bunlar; (Narin, 2008; Anonim, 2015; Horuz ve ark., 2015)

Tarımsal üretimde çeşitliliği sağlamak suretiyle tarımsal ekolojiye olumlu katkıda bulunması ve bunun sonucu olarak sürdürülebilir tarımsal bir yapı oluşturması,

- Kırsal kalkınma ile birlikte istihdamı sağlaması,
- Enerji tarımı kültürünü oluşturması,
- Alternatif ürün olarak yağ bitkilerinin tarımını yaygınlaştırarak, çiftçilerin gelirlerini artırmak ve aynı zamanda yemeklik yağ açığının kapatılmasına imkan sağlaması,
- Biyoyakıt üretimi sonucu geriye kalan organik yapıdaki tarımsal kökenli atıkların hayvan yemi olarak değerlendirilmesi neticesinde hayvancılığın gelişimine olumlu katkıda bulunması,
- Tarımda ekim nöbetini yaygınlaştırarak toprak verimliliğini artırması ve polikültür tarıma imkan sunması,
- Katma değer oluşturacak olan yeni bitki türlerinin ekonomiye kazandırılmasını sağlaması,
- Tarımsal ürünlerin sanayi ve enerjiye entegresi ile enerji gibi geniş bir alanda satış riskini ortadan kaldırması ve bunun neticesinde sözleşmeli tarıma yol açması şeklinde sıralanabilir.

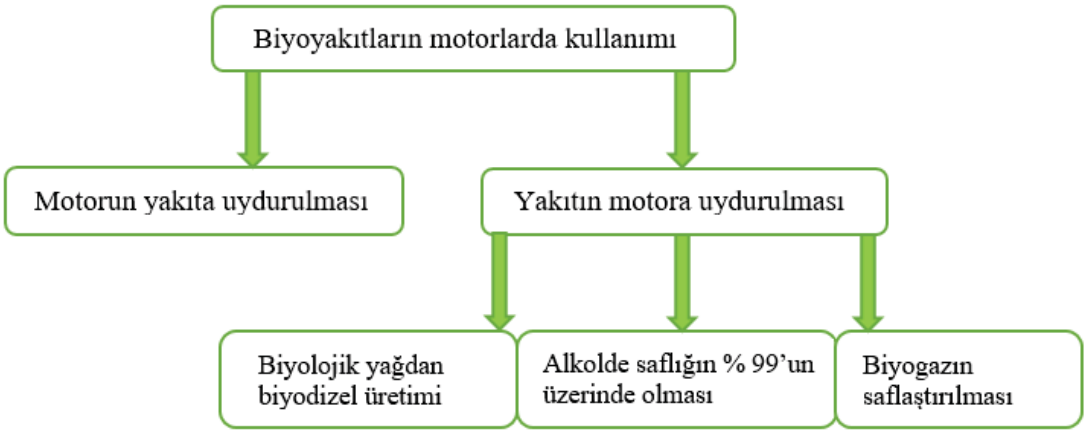
1.2.1. Sıvı biyoyakıtlar

Dünyadaki taşıt sayısının yıllar itibariyle artış göstermesi beraberinde fosil kökenli yakıtların kullanımını da arttırmıştır. Bu yakıtların (benzin, motorin) içten

yanmalı motorlarda yanması sonucunda karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), azot oksitler (NO_x) ve partikül madde (PM) gibi bir çok zararlı emisyonlar atmosfere salınmakta, bu durum ise özellikle insanlar için ciddi sağlık problemlerine neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar zararlı emisyonların %50'sinin içten yanmalı motorlardan kaynaklandığını göstermektedir. Son yıllarda motorlu taşıtların emisyonlarının azaltılması ile ilgili yasal düzenlemeler ile bu konuda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Zararlı emisyonların azaltılmasına yönelik olarak motor tasarımında yapılan değişiklikler maliyetli olacağından, içten yanmalı motorlarda petrol ve türevlerine göre daha az kirletici olan alternatif yakıtların kullanılması konusu büyük önem kazanmıştır (Kaplan ve ark., 2009; Özer, 2014).

Dünya enerji tüketiminde büyük bir paya sahip olan ulaştırma sektöründe sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil kökenli sıvı yakıtların (benzin, motorin vb.) yerine alternatif olarak kullanılabilecek sıvı biyoyakıtların başında bitkisel yağlar, bu bitkisel yağlardan üretilen *biyodizel* ve biyokütleden üretilebilen *biyoalkoller* gelmektedir (Yılmaz ve Atmanlı, 2016).

Biyoyakıtların motorlarda kullanımı şematik olarak Şekil 1.8'de verilmiştir.



Şekil 1.8. Biyoyakıtların motorlarda kullanılması (Öğüt, 2007)

Biyoyakıtlara geçiş sürecinde, sera gazı salınımı ve enerji güvenliği açısından en sürdürülebilir çözüm fosil yakıtlara biyoyakıtların karıştırılmasıdır. Belirli oranlarda harmanlanmış yakıt karışımları motorlarda herhangi bir düzenleme yapılmadan doğrudan kullanılabilmekte ve sera gazı dengesi açısından nötr CO_2 çevrimi sağlanabilmektedir (Dayıoğlu, 2013).

1.2.1.1. Biyodizel

Biyodizel *"bitkisel yağların yeni ya da kullanılmışlarından ve hayvansal yağlardan kimyasal yöntemler yardımı ile elde edilen, biyoyakıtlar kapsamında yer alan, çevre dostu ve yenilenebilir nitelikli sıvı halde bir yakıttır".* Uygulamada, biyomotorin, yeşil enerji, yeşil dizel, süper dizel, dizel-bi ya da halk deyimi ile yağ mazotu isimleriyle de anılmaktadır (Öğüt ve ark., 2007).

Biyodizel kavramındaki 'biyo' kelimesi yakıtın yenilenebilir ve biyolojik kökenli olduğunu, dizel kelimesi ise dizel motorlarında kullanımını ifade etmektedir (Çıldır ve Çanakçı, 2006).

Biyodizelin fosil kökenli motorine göre bazı avantajları ile birlikte bazı dezavantajları bulunmaktadır (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2. Biyodizelin motorine göre avantaj ve dezavantajları (Öğüt ve Oğuz, 2002)

Avantajları	Dezavantajları
• Yenilenebilir karakterli olması sebebiyle yerel imkanlar ile üretilebilmektedir. • Biyolojik olarak ayrışabilir, zehirli değildir. • Emisyonlarında karbonmonoksit (CO), partikül madde (PM), yanmamış hidrokarbon (HC) daha az, aromatik bileşikler ve kükürt (S) ise hemen hemen yoktur. • Sera etkisine neden olan CO_2'nin, elde edildiği bitkiler tarafından kullanılmasından dolayı motorine kıyasla atmosferde birikimine neden olmaz. • Parlama noktası, motorine göre yüksek olduğundan, taşıma ve kullanımın açısından güvenli bir yakıttır. • Belli karışım oranlarına kadar motorda herhangi bir değişikliğe ihtiyaç göstermez. • Motor yağlanmasını iyileştirme özelliği vardır. • Yanma verimi oksijen içeriğinin fazla olmasından dolayı yüksektir.	• Motorine göre ısıl değeri biraz düşük olduğundan, yanması esnasında motor gücünde bir miktar düşüklüğe neden olmaktadır. • Soğuk hava şartlarından motorine göre daha çok etkilenmektedir. • Emisyon değerlerinden azot oksit (NO_x) motorine göre biraz yüksektir. • Yakıt tüketimi değeri hacim ve ağırlık esasına göre sırasıyla %11 ve %5-6 daha fazla olmaktadır. • Saf (B100) kullanımında, bazı motor malzemelerinin (özellikle yakıt donanımında hortum, bağlantı elemanı ve conta) uygunu ile değiştirilmesi gereklidir.

Biyodizel üretiminde kullanılan hammaddeleri beş alt başlıkta toplamak mümkündür (İlhan, 2007);

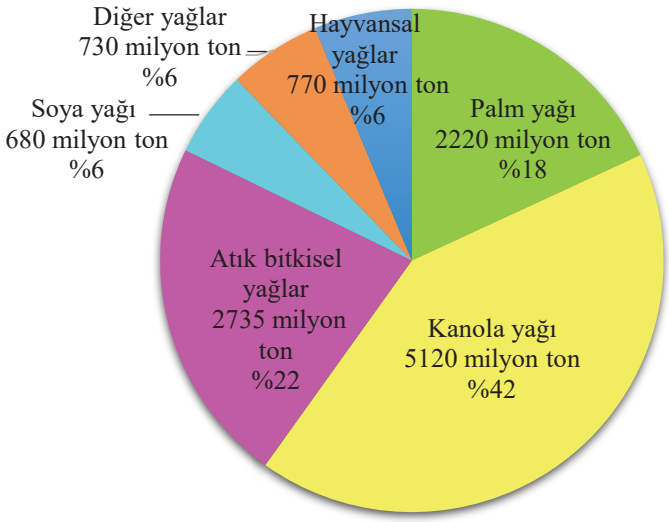
- Yemeklik yağlar (kolza yağı, soya yağı, ayçicek yağı, palm yağı vb.)
- Alternatif yemeklik yağlar (hardal yağı, cardoon yağı, tigernut yağı, Hindistan cevizi yağı vb.)

- Yemeklik olmayan yağlar (castor yağı, jatropha yağı vb.)
- Hayvansal yağlar (balık yağı, sığır don yağı, domuz yağı vb.,)
- Atık yağlar (kullanılmış kızartma yağları, pirinç kepeği yağı, palm küspesi yağı, pirina yağı vb.)

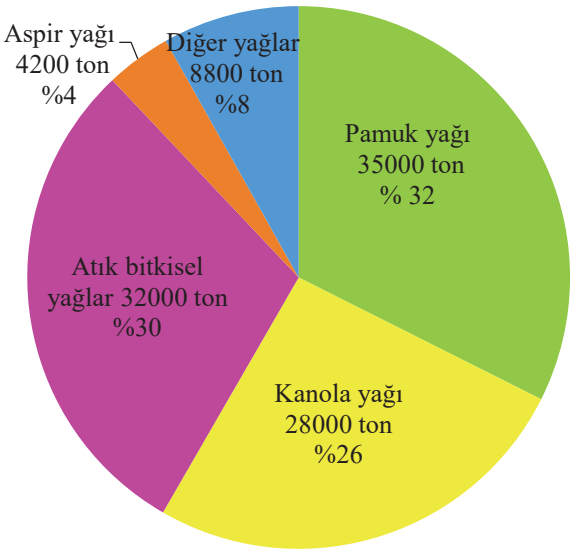
Bunlara ilaveten günümüzde 3. nesil biyoyakıt hammaddesi olarak ifade edilen mikroalgler de biyodizel üretiminde kullanılmaktadır.

Mikroalgler konvansiyonel ürünlerle karşılaştırıldığında çok yüksek büyüme hızına ve biyokütle üretmek için yüksek fotosentetik aktivitelere sahiptir. Özellikle sahip olduğu yüksek lipit içeriğinden dolayı biyodizel üretiminde alternatif kaynaklar arasında gösterilmektedir (Çalışkan Eleren ve Öner, 2019).

2018 yılı verilerine göre AB ülkelerinde ve ülkemizde biyodizel üretiminde kullanılan hammaddeler ile bu hammaddelerin üretimdeki kullanım miktarları (ton) ve bunların % dağılım değerleri Şekil 1.9' da verilmiştir



(a)



(b)

Şekil 1.9. AB ülkeleri (a) ve Türkiye'de (b) biyodizel üretiminde kullanılan hammaddelerin kullanım miktarları (ton) ile % dağılım değerleri (Borovalı, 2019)

Biyodizelin üretim döngüsü yağlı tohumlardan ham yağ elde edilmesi ile başlamaktadır. Daha sonra rafine edilen yağdan esterleştirme reaksiyonu ile biyodizel üretilmektedir. Elde edilen biyodizel motorlarda, ısıtmada, pişirmede v.b. kullanılabilmektedir (Şekil 1.10).

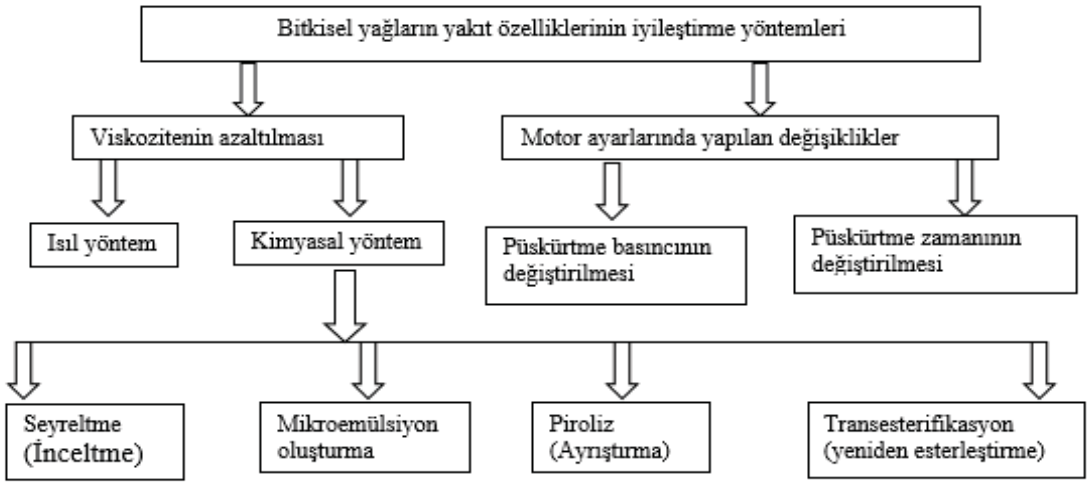


Şekil 1.10. Biyodizel döngüsü (Anonim, 2019)

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmelerini sağlamak amacı ile çalışmalara iki yönde ağırlık verilmiştir. Bunlar; bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi ve motor aksamında yapılan değişikliklerdir (Şekil 1.11).

Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda yapılan çalışmaların büyük bir kısmını bu yağların viskozitelerinin düşürülmesi oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel yağların ön ısıtma ile sıcaklığının yükseltilmesi sonucunda viskozitenin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak, bu yöntemin özellikle hareketli bir araç motorunda uygulama zorluğu vardır. Kimyasal yöntemler ise inceltme, mikroemülsiyon oluşturma, piroliz ve iç ester değişimi (transesterifikasyon) olarak tanımlanmaktadır (Çıldır ve Çanakçı, 2006). Bu yöntemlerin karşılaştırılması Çizelge 1.3'te verilmiştir.

Transesterifikasyon yöntemi, reaksiyon süresi ve verimlilik bakımından diğer yöntemlere göre daha uygun olduğu için biyodizel üretiminde daha çok tercih edilmektedir. Transesterifikasyon, yağların bir katalizör eşliğinde alkolle reaksiyona sokularak yeniden esterleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006). Transesterifikasyon reaksiyonu asitler veya bazlar ile katalize edilebilmesine rağmen, bazla katalize edilen reaksiyon daha düşük reaksiyon süresine ve katalizör maliyetine sahip olmasından dolayı üretimde daha çok kullanılmaktadır. Baz katalizli (NaOH veya KOH) transesterifikasyon, biyodizel sentezinde kullanılmak için lipidleri (katı ve sıvı yağlar) alkolle (metanol veya etanol) reaksiyona sokmakta ve bunun sonucu olarak metil ester (biyodizel) ve yan ürün olarak gliserol açığa çıkmaktadır (Anastopoulos ve ark., 2009).



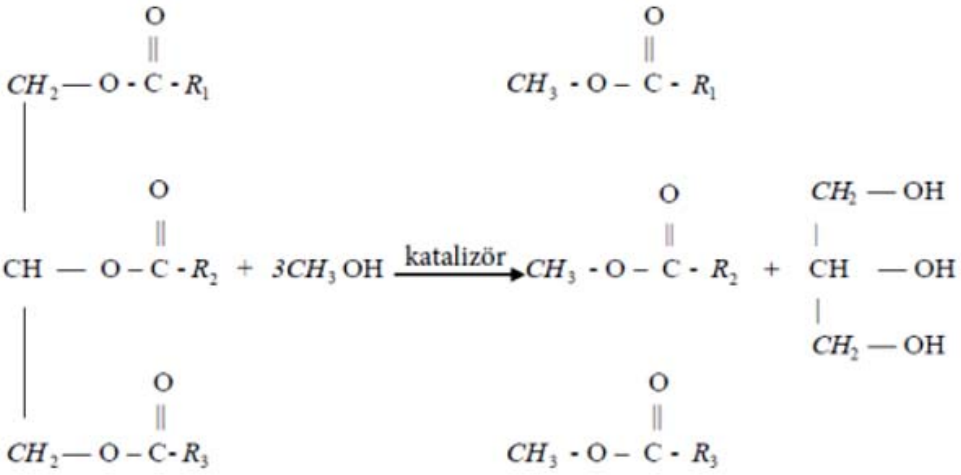
Şekil 1.11. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi (Ulusoy, 1999)

Çizelge 1.3. Kimyasal yöntemle biyodizel üretim metodları (Aksoy, 2010; Özdemir ve Mutlubaş, 2016)

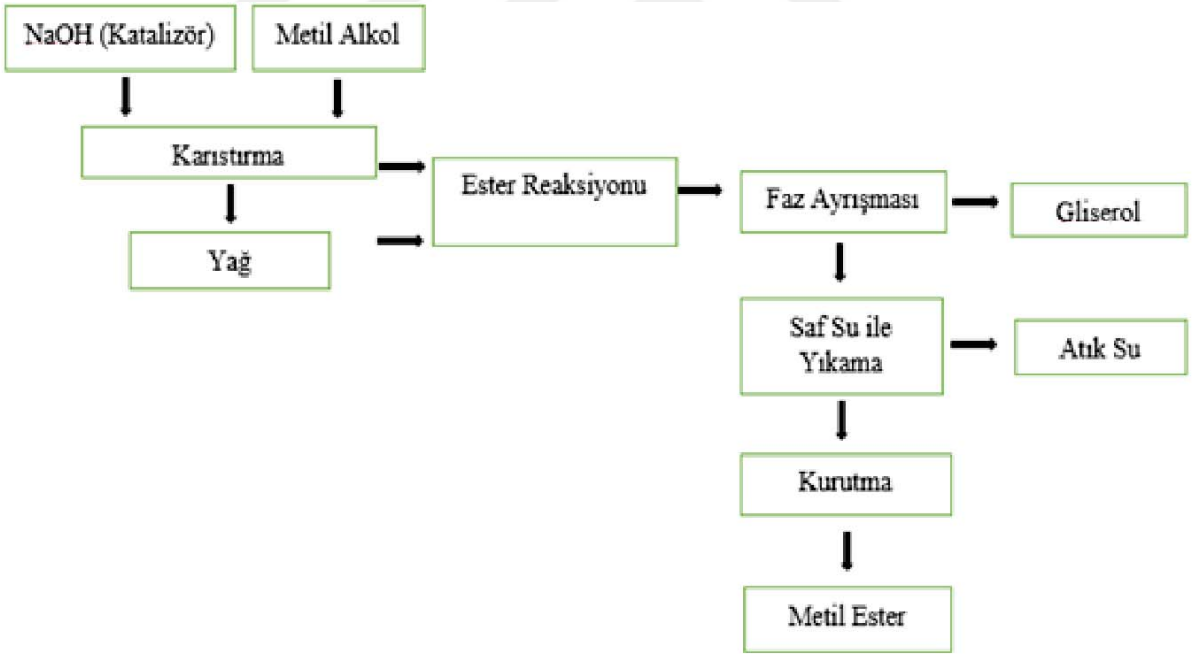
Metod	Tanımı	Avantajı	Dezavantajı
İnceltme	Bitkisel ve atık yağların belirli oranlarda motorin yakıtı ve bir başka çözücü ile karıştırılarak inceltilmesi	Yenilenebilir özellik, kullamına hazır, Portatif, doğal sıvı	Yüksek vizkozite değeri, düşük miktarda uçuculuk, doymamış hidrokarbon zincirlerin reaktifliği
Mikro-emülsiyon	Normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur.	Yanma sırasında iyi derecede spreyleme, düşük vizkozite değeri	Düşük setan sayısı, düşük miktarda enerji içeriği
Piroliz	Uzun zincirli ve doymuş maddelerin ısı yoluyla biyodizele dönüşmesi	Kimyasal açıdan benzin ve dizel yakıtlara benzerlik	Üretim zorluğu, Yüksek enerjiden dolayı maliyet yüksek
Transesterifikasyon	Hayvansal ve bitkisel yağlardan alkol ile katalizör eşliğinde ester ve gliserol eldesi	Yenilenebilirlik özellik, yüksek setan sayısı ve yanma verimi değeri, düşük miktarda emisyon	Biyodizelden gliserol ve suyun ayrılma güçlüğü

Biyodizelin üretim aşamaları; alkol ve katalizörün karıştırılması, reaksiyon, ayırma, yıkama, kurutma ve depolama olmak üzere 6 aşamadan oluşmaktadır (Eryılmaz, 2009). Transesterifikasyon işlemi ile yağda bulunan ester ve gliserin ayrıştırılmak suretiyle gliserin uzaklaştırmaktadır. Yağdaki gliserinin komponentlerini ayrıştırmak için metil ya da etil alkol, trigliseridi parçalamak için ise sodyum hidroksit (NaOH) veya potasyum hidroksit (KOH) kullanılmaktadır. Kullanılan bitkisel yağın pH değerine göre katalizör miktarı (NaOH veya KOH) ayarlanmalıdır. Alkol ve katalizörün yağın içerisinde reaksiyona girmesi sonunucunda gliserin ayrıştırılmaktadır. Üretim sonunda ise reaksiyona girmeyen alkol, katalizör ve gliserini uzaklaştırmak amacıyla yıkama işlemi yapılmaktadır.

Transesterifikasyon reaksiyonu ve biyodizelin üretim aşamaları sırasıyla Şekil 1.12 ve Şekil 1.13'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.12. Transesterifikasyon reaksiyonu (Krawczyk, 1996; Öğüt ve Oğuz, 2006; Karabaş, 2013)



Şekil 1.13. Biyodizel üretim aşamaları (Eryılmaz ve ark., 2014)

Biyodizel saf olarak kullanılabileceği gibi motorin yakıtı ile karışımlı olarak da kullanılabilmektedir. Karışım oranındaki miktara göre yakıtlar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

- B2 (% 2 biyodizel + % 98 motorin)
- B5 (% 5 biyodizel + % 95 motorin)
- B20 (% 20 biyodizel + % 80 motorin)
- B50 (% 50 biyodizel + % 50 motorin)
- B80 (% 80 biyodizel + % 20 motorin)
- B100 (% 100 biyodizel)

Biyodizelin motorine alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesi için bazı standartlara uygun olması gerekmektedir. Günümüzde biyodizel için EN 14214 Avrupa birliği standardı ve ASTM D 6751 standartları uygulanmaktadır. Ülkemizde EN 14214 standardı temel alınarak Türk Standardı hazırlanmıştır. Bu standartlar Çizelge 1.4'te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Biyodizel Standartları

Özellik	Birim	Avrupa Standartları		Amerikan Standartları	
		EN 14214	Deney Metodu	ASTM D 6751	Deney Metodu
Yoğunluk (15ºC'de)	(g cm^{-3})	0.86-0.90	EN ISO 3675 EN ISO 12185	-	-
Kinematik Viskozite (40ºC'de)	(mm^2 s^{-1})	3.5-5.0	EN ISO 3675 EN ISO 12185	1.9-6.0	D 445
Parlama Noktası	(°C)	≥120	EN ISO 3104 ISO 3105	≥130	D93
Kükürt İçeriği	(mg kg^{-1})	≤10	EN ISO 3679	≤15	D 5453
Sülfatlanmış Kül	% (mol mol^{-1})	≤0.02	EN ISO 20846 EN ISO 20884	≤0.02	D 874
Su İçeriği	(mg kg^{-1})	≤500	ISO 3987	≤500	D 2709
Karbon Kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (mol mol^{-1})	≤0.3	EN ISO 12937	≤0.5	D 4530
Bakır Şerit Korozyonu; (3sa/50 °C)	Korozyonun derecesi	Sınıf 1	EN ISO10370	≤3	D 130
Oksidasyon Kararlılığı; (110 °C)	Sa	≤6	EN ISO 2160	≤3	EN 15751
Setan Sayısı		≥51	EN 14112	≥-47	D 613
Asit Sayısı	mgKOH kg^{-1}	≤0.5	EN ISO 5165	≤0.5	D 664
Toplam Gliserol	% (mol mol^{-1})	≤0.25	EN 14105	≤0.24	D 6584
Fosfor İçeriği	(mg kg^{-1})	≤10.0	EN 14105	≤10.0	D 4951
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	(°C)	-	EN 14107	-	-
Akma Noktası	(°C)	-	EN 116 ISO 3016	-	-

1.3. Alkol yakıtlar ve Motorlarda Kullanımı

Alkoller $C_nH_{2n+2}O$ kimyasal formülü ile sınıflandırılmakta olup renksiz ve keskin bir kokuya sahiptirler. Gıda, temizlik, kozmetik, boya sanayi ve ayrıca içten yanmalı motorlarda doğrudan ya da motor yakıtlarının içerisine belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilmektedir (Çanakçı, 2006).

Biyokütle enerjisi çevrim teknolojisinin bir ürünü olan alkol yakıtlar içten yanmalı motorlarda kullanılan fosil kökenli yakıtların bir alternatifi olarak, bitkisel atıklar (arpa, patates, pirinç gibi nişastalı tarım bitki atıkları) ve yenilenebilir biyolojik kaynaklardan da elde edilebilmektedir. Alkol üretiminde arpa, çavdar, patates, pirinç gibi nişastalı tarım bitkileri atıkları ve değişik meyveler (üzüm ve böğürtlen gibi) kullanılabilmektedir (Özer, 2014). Günümüzde alkol yakıtları gıda bitkilerine fazla bağımlı olmadan tarımsal atık biyokütlenin anaerobik fermantasyonu sonucunda üretildiğinden bulunabilirliği ile ilgili bir sorun da teşkil etmemektedir (Kumar ve Saravanan, 2016).

Alkoller, sıvı fazda olmaları ve bünyelerinde yüksek oranda oksijen içermeleri sebebiyle uygun bir dizel yakıt katkı maddesi olarak düşünülmektedir (Kumar ve ark., 2013). Alkollerin içten yanmalı motorlarda kullanım şekilleri şu şekilde sınıflandırılabilmektedir; (Özer, 2014)

- *Motor yakıtlarının içerisine belirli oranlarda karıştırılması*; hacimsel ya da kütlesel olarak motorda kullanılan yakıtlara karıştırılmak suretiyle kullanılmaktadırlar.

- *Alkol ve motor yakıtlarının bir karıştırıcıda belirli oranlarda karıştırılarak motora gönderilmesi*; motor yakıtı ve alkole ait iki farklı depodan, yakıtlar bir karıştırıcı yardımı ile belirli oranlarda karıştırılarak motora gönderilmektedir.

- *Her bir yakıt için ayrı bir enjeksiyon sistemi kullanılması*; alkol ve motor yakıtına ait enjeksiyon sistemleri ayrı olup yakıtlar silindir içerisine bu sistemler yardımıyla gönderilmektedir.

- *Emme manifolduna püskürtülerek ya da buhar halinde verilerek kullanılması*; motorda kulanılan yakıta ek olarak emme manifolduna buhar ya da püskürtme şeklinde alkol ilavesidir.

1.3.1. Yüksek (Ağır) alkoller

Yüksek (ağır) alkol terimi, moleküler yapılarında 4 veya daha fazla karbon (C) atomu içeren uzun zincirli alkolleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Bütanol (C_4), pentanol (C_5), hekzanol (C_6), heptanol (C_7), oktanol (C_8), dodekanol (C_{12}) ve fitol (C_{20}) ağır alkoller grubuna giren alkollerden bazılarıdır (Yeşilyurt, 2020).

Yüksek alkoller, sürdürülebilir yollar kullanılarak şekerli, nişastalı ve linyöz selülozik biyokütle hammaddelerinden üretilebilen ikinci veya üçüncü nesil biyoyakıtlardır. Tarihsel açıdan değerlendirildiğinde, yüksek alkollerin kullanımı, yüksek üretim maliyeti ve gıda endüstrisindeki hammadde ihtiyacı nedeniyle yaygın değildi. Son yıllarda bir çok araştırma grubu ve biyoteknoloji şirketleri, modern fermantasyon prosesleri ile, selülozdan bütanol ve pentanol gibi alkol türlerinin verimini arttırmaya yönelik genetik olarak tasarlanmış mikroorganizmaları (*Escherichia coli, Cyanobacteria, Saccharomyces cere-visiae vb.*) kullanarak, glikozdan biyosentez yoluyla sürdürebilir araç yakıtları üretmişlerdir (Kumar ve Saravanan, 2016).

Yüksek alkol grubuna giren alkollere ait özelliklerin, düşük alkoller (metanol ve etanol) ve motorin yakıtı ile karşılaştırılması Çizelge 1.5'te verilmiştir.

Çizelge 1.5. Yüksek alkollere ait özelliklerin, düşük alkoller (metanol, etanol vb.) ve dizel yakıtı ile karşılaştırılması (Kumar ve Saravanan, 2016)

Özellik	Motorin	Metanol	Etanol	Propanol	Bütanol	Pentanol	Hekzanol
Molekül formülü	C_xC_y	CH_3-OH	C_2H_5-OH	C_3H_7-OH	C_4H_9-OH	C_5H_{11}-OH	C_6H_{13}-OH
Molekül ağırlığı (kg kmol^{-1})	190-211	32.04	46.07	60.09	74.12	88.15	102.18
Yoğunluk 15°C'de (g cm^{-3})	835	791.3	789.4	803.7	809.7	814.8	821.8
Viskozite 40°C'de (mm^2 s^{-1})	2.72	0.58	1.13	1.74	2.22	2.89	5.32
Parlama Noktası (°C)	>55	11-12	17	11.7	35-37	49	59
Setan Sayısı	52	5	8	12	17	18.2-20	23
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (°C)	-17	< - 51	< - 51	< - 51	< - 51	- 40	-
Isıl Değer (MJ kg^{-1})	42.49	19.58	26.83	30.63	33.09	34.65	39.1
% C	86.13	37.48	52.14	59.96	64.82	68.13	70.52
% H	13.87	12.48	13.02	13.31	13.49	13.61	13.70
% O	0	49.93	34.73	26.62	21.59	18.15	13.70

Metanol ve etanol gibi düşük alkol grubu yakıtların (> C4) düşük setan sayısı, düşük kalorifik değer, motorin yakıtı ile kötü karışabilirlik gibi olumsuz özellikleri dizel motorlarda kullanımını kısıtlamaktadır. Yüksek alkol grubuna giren alkol yakıtlar, motorin yakıtına katkı maddesi açısından değerlendirildiğinde düşük karbonlu alkollere

göre ek avantajlar sağlayabilmektedir. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir; (Yeşilyurt, 2020).

- Enerji içeriği ve setan sayısı değerleri daha yüksektir.
- Daha iyi harmanlanma kararlılıklarından dolayı yüksek karışım oranlarında motorin ile karışabilmektedirler.
- Daha zayıf higroskopik (düşük korozif etki) doğaları nedeniyle yakıt enjeksiyon sistemi ile birlikte iletim hatlarına zarar vermemektedirler.
- Daha yüksek parlama noktaları nedeniyle depolama ve kullanım bakımından daha güvenlidirler.
- Üretimleri esnasında, düşük alkollere nazaran enerji tüketimi değerleri daha düşüktür.

1.3.1.1. n-bütanol ve n-pentanol

Bütanol (C_4) ve pentanol (C_5) gibi yüksek alkoller, sıvı niteliği, düşük ekonomisi, yüksek oksijen içeriği, yüksek oktan sayısı ve yenilenebilir biyokütleden üretilmeleri nedeniyle günümüzde rekabetçi alternatif yakıtlar olarak değerlendirilebilmektedir. (Kumar ve Saravanan, 2016). Ayrıca biyodizelin düşük sıcaklıktaki akışkanlığını arttırmak için yakıt katkı maddeleri olarak kullanılabilmektedirler (Atmanlı ve ark., 2015b; Li ve ark., 2015; Şahin ve ark., 2015). Bunun yanında bütanol ve pentanol, enerji krizini hafifleten ve dizel motorlarda geleneksel olan kanserojen partikül madde (PM) emisyonlarını azaltabilen en cazip biyoyakıtlardır (Babu ve Murthy, 2017).

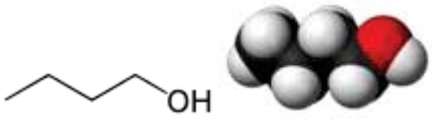
Bu bağlamda artan enerji talebini karşılamak ve çevre kirliliğini kontrol altına almak için, dizel yakıtlarıyla biyodizel, biyobütanol, biyopentanol veya bu tür yakıtların motorinle karıştırılmasına izin veren sürdürülebilir politikalar benimsenmeye başlanmıştır (Kumar ve Saravanan, 2016).

n-bütanol ya da 1-bütanol C_4H_9OH formülüne sahip, 4 karbonlu bir birincil alkoldür. Alkol izomerleri arasında 2-bütanol, izobütanol ve tert-bütanol bulunmaktadır. Doğal olarak şeker ve karbonhidratların içinde az miktarda bulunmaktadır (Anonim, 2020a) Renksiz, berrak, suyla karışmayan ve biyolojik kökenli kaynaklardan elde edilebilen bir alkol olup plastik, kozmetik, boya, yiyecek ve temelde izobütil asetat üretiminde çözücü olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, motor yağlarında pas ve yıpranmaya karşı kullanılan maddelere de ilave edilmektedir. Isıl değeri motorin yakıtından daha

düşük olan bütanol, %40 oranına kadar motorin yakıtına katılarak kullanılabilmektedir (Yeşilyurt, 2020).

Günümüzde modern fermentasyon proseslerinin kullanımı, biyokütle kaynaklı bütanolün verimini önemli ölçüde arttırmıştır (Kumar ve Saravanan, 2016).

Şekil 1.14'te n- bütanolün molekül yapısı ve şekli verilmiştir.



Şekil 1.14. n- bütanol (Anonim, 2020b)

Pentanol; n-pentanol, n-amil alkol ya da pentanol-1 olarak da isimlendirilmekte olup yenilenebilir hammaddelerden üretilebilmektedir. Setan sayısı ve enerji içeriği diğer alkollere göre daha yüksek olan pentanol %45 oranına kadar motorin yakıtına katılarak kullanılabilmektedir (Yeşilyurt, 2020).

Şekil 1.15'te n- pentanolün molekül yapısı ve şekli verilmiştir



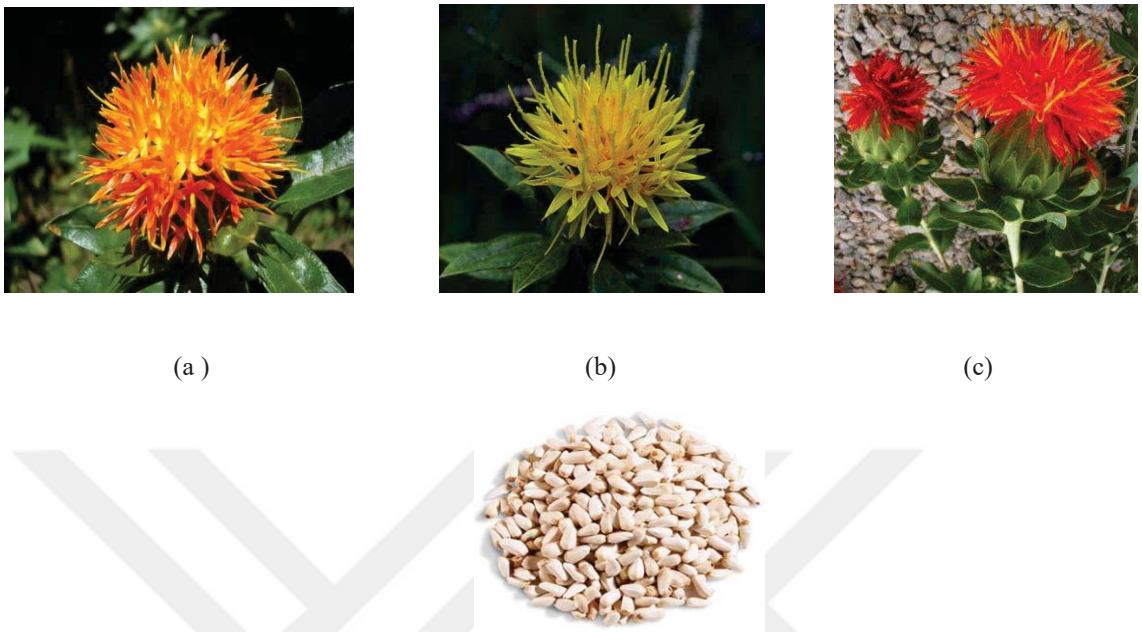
Şekil 1.15. n- pentanol (Anonim, 2020c)

1.4. Aspir

1.4.1. Aspir bitkisinin tanımı

Aspir, Compositeae (Bileşikgiller) familyasının Carthamus cinsinden bir bitkidir (Taşlıgil ve Şahin, 2016). *Yalancı safran, Amerikan safranı ve boyacı safranı* olarak da isimlendirilen aspir bitkisi, 80-100 cm arasında boylanabilen, dikenli ve dikensiz türleri olan, sarı, beyaz, kırmızı, turuncu gibi renklerde çiçek açan, yazlık karakterde ekimi ilkbaharda yapılan ve ortalama değer olarak 130 ile 150 gün arasında yetişebilen tek yıllık uzun gün yağ bitkisidir. Diğer yağ bitkilerine kıyasla soğuğa daha dayanıklı olduğundan kışlık olarak da ekilebilmektedir (Babaoğlu, 2006; Avcıoğlu, 2011; Öğüt ve ark., 2015).

Aspir bitkisinin farklı renklerde çiçek açan türleri ile tohumu Şekil 1.16'da, aspir tarlasından bir görünüm ise Şekil 1.17'de görülmektedir.



(a) (b) (c)

(d)

Şekil 1.16. Aspir bitkisi çiçekleri a: turuncu (Anonim, 2020h), b: sarı (Anonim, 2020d), c: kırmızı (Anonim, 2020e) ve d: tohumu



Şekil 1.17. Aspir tarlası (Anonim, 2020f)

Araştırmamıza konu olan linas çeşidi aspir bitkisi dikenli bir yapıya sahip olup, çiçek rengi sarı-turuncu, tohum rengi ise krem rengindedir. Ortalama verimi 300-350 kg da^{-1}, ortalama yağ oranı (tohum bünyesinde) %37-38, lineloik ve oleik yağ asiti ise sırasıyla %71 ve %18 'dir. Linas aspir çeşidi Trakya Araştırma Enstitüsü tarafından 2013

yılında tescil ettirilmiştir (Arslan ve ark., 2019). Şekil 1.18' de linas aspir çeşidinin genel görünümü verilmiştir.



Şekil.1.18. Linas aspir çeşidi (orijinal) (Arslan ve ark., 2019)

Bu çalışmada kullanılan linas çeşidi aspir bitkisi soğuğa karşı dayanıklı olduğu için ülkemizin iklim koşullarına elverişlidir. Ayrıca yağ oranı yüksek ve yağ asidi oranları biyodizel üretimi için uygundur.

1.4.2. Aspir bitkisinin tarihi

Aspir bitkisi ilk olarak Asya kıtasının güneyinde, Ortadoğu'da ve Akdeniz ülkelerinde yetiştirilmiş ve buradan dünyaya yayılmış bir bitkidir (Babaoğlu, 2006; Anonim, 2015).

Aspir bitkisinin dünya üzerinde tespit edilmiş toplam 25 yabani türü bulunmakta olup bu türlerin bir kaçının (örneğin, *Carthamus lanatus* ve *C. dentatus*) ülkemizin farklı bölgelerinde doğal ortamlarda yetiştiği bilinmektedir (Babaoğlu, 2017).

Aspir bitkisinin ülkemize gelişi ise Anadolu'ya Orta Asya'dan göç eden Türklerle başlamıştır. Aspir bitkisinin yetiştirme teknikleri ve ıslahı üzerine ilk çalışmalara, 1929-1930 yıllarında Eskişehir'de yer alan Sazova tohum ıslah istasyonunda başlanılmış ve yaklaşık olarak 10 yıl devam eden bu çalışmalar, 1939 yılında başlayan II. Dünya savaşı nedeniyle kesintiye uğrayarak, neredeyse durma noktasına gelmiştir. Bu süre içerisinde, elde bulunan mevcut yerli populasyonlarla yapılan çalışmaların sonucunda, 1935-1936 yıllarında, en iyi performansı gösteren ve aynı özelliklere sahip 5 tek bitkinin karışımıyla kompozit bir çeşit elde edilmiş ve elde edilen bu ilk dikensiz kompozit çeşit "Yenice 1813" ismiyle bölge çiftçisine dağıtılmıştır. 1940-1945 yılları arasında Bulgaristan' dan gelen göçmenlerle bazı dikenli tiplerin Balıkesir yöresinde tarımı yapılmıştır. Aspir

bitkisi ülkemizin bazı yörelerinde *dikenli ayçiçeği, zerdeçal* ve *haspir* olarak da bilinmektedir. Günümüzde islah çalışmaları, Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Koordinatörlüğünde, Edirne, Eskişehir ve Konya illerimizdeki araştırma enstitülerinde devam edilmektedir. Yapılan bu ıslah çalışmaları neticesinde geliştirilen ve tescil ettirilen çeşitlerde, yağ oranları %40 seviyesine ulaşmıştır (Babaoğlu, 2017).

1.4.3. Aspir bitkisinin kullanım alanları

Aspir, sap kısmından tohumlarına kadar her bölümüyle insanlığın kullanımına konu olmuş bir bitkidir (Taşlıgil ve Şahin, 2016). Yapısında linoleik (*Omega 226*) ve oleik asit olduğu için oldukça kaliteli yemeklik yağ olarak tüketilebilmektedir. Yağından, sabun, boya, vernik ve cila sanayisinde faydalanılabildiği gibi biyodizel üretiminde de kullanılmaktadır (Bergman ve Flynn, 2008; Avcıoğlu, 2011). Aspir yağı biyodizel üretimine uygunluğu bakımından dünya üzerinde yoğun araştırmalar yapılan bir bitkidir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Bu bağlamda günümüz modern dünyasında aspir bitkisi, yağ ve biyodizel gibi iki temel mamülün üretiminde kullanılan stratejik bir bitki halini almıştır (Taşlıgil ve Şahin, 2016).

Yağı alındıktan sonra geriye kalan küspe içeriğindeki ortalama %22 -24 protein nedeniyle hayvancılıkta iyi bir yem kaynağı olarak değerlendirilebilmektedir (Babaoğlu, 2006; Öğüt ve Oğuz, 2006; Avcıoğlu, 2011; Taşlıgil ve Şahin, 2016; Babaoğlu, 2017).

Aspir bitkisinin tıbbi amaçlı kullanımının en yaygın olduğu ülke Çin'dir. Çin'de aspir bitkisi eskiden beri çiçekleri için yetiştirilmekte ve çiçekler pek çok hastalığın tedavisinde kullanılmaktadır. Çiçeğinde aminoasitleri, mineral maddeleri, B1, B2, B12, C ve E vitaminlerini içermesi ve ayrıca antioksidan maddelerin varlığının kanıtlanmasıyla birlikte bitkisel çay olarak da tüketilmektedir. Özellikle sarı çiçeklerin diğer renklerdeki çiçeklere göre daha fazla antioksidan madde içermesi nedeniyle çay yapımında sarı çiçeklerin tercih edilmesinin daha yararlı olacağı ortaya konmuştur (Babaoğlu, 2006; İlkdoğan ve Olhan, 2012). Özellikle dikensiz formları, Batı Avrupa, Japonya ve Latin Amerika ülkelerinde kesme çiçekçilikte kullanılmaktadır (Babaoğlu, 2006).

1.4.4. Aspir bitkisinin ekilen alan, üretim ve verim değerleri

2019 verilerine göre Dünya'da aspir bitkisinin ekiliş alanı 652780 ha, üretimi 590869 ton, verimi ise 90.5 kg da^{-1}'dır (Anonim, 2020g). En fazla üretim değerlerine sahip olan ülkeler ise Kazakistan, Rusya, ABD ve Meksika'dır.

Ülkemizde ise 2019 yılı verilerine göre 15860 ha alandan 21883 ton aspir elde edilmiş olup, ortalama verim 138 kg da^{-1} olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 1.6). Toplam aspir ekim alanının %76'sına İç Anadolu bölgesi sahiptir. Aspir ekimin en çok yapıldığı illerimiz ise Ankara ve Muş'tur.

Çizelge 1.6. Ülkemizde yıllara göre aspir bitkisinin ekim (ha) üretim (ton) ve verim (kg da^{-1}) değerleri (Anonim, 2020g)

Yıllar	Ekim alanı (ha)	Üretim (ton)	Verim (kg da^{-1})
2010	13 500	26 000	193
2011	13 167	18 228	138
2012	15 592	19 945	128
2013	29 292	45 000	154
2014	44 305	62 000	140
2015	43 107	70 000	162
2016	39 571	58 000	147
2017	27 376	50 000	183
2018	24 693	35 000	142
2019	15 860	21 883	138

1.4.5. Ülkemize ait tescilli aspir çeşitleri

Ülkemizde yerli tohumluk olarak 12 adedi son on yıl içersinde geliştirilmiş olmak üzere toplam 15 çeşit sertifikalı aspir çeşidi bulunmaktadır. Arslan ve ark. (2019), Linas, Olas ve Asol aspir çeşitlerinin yağ verimleri açısından diğer çeşitlerin önünde olduğunu ifade etmiştir.

Bu çeşitlere ait bazı morfolojik ve kalite özellikleri Çizelge 1.7 ve 1.8 'de verilmiştir.

Çizelge 1.7. Ülkemizde tescilli aspir çeşitlerinin bazı kalite ve morfolojik özelliklerinin karşılaştırılması (Arslan ve ark., 2019)

Çeşit	Çiçek Rengi	Bitki Boyu (cm)	Tane Rengi	Yağ Oranı (%)	1000 Tane Ağırlığı (gr)	Tescil Yılı
Yenice	Kırmızı	100-120	Beyaz	24-25	39-40	1964
Dinçer	Kırmızı	90-110	Beyaz	28-32	45-49	1983
Remzibey	Sarı	60-80	Beyaz	35-38	45-50	2005
Balcı	Sarı	55-70	Krem	38-41	40-48	2011
Linas	Sarı	85-90	Krem	37-38	40-44	2013
Olas	Sarı	90-100	Krem	39-41	38-42	2015
Göktürk	Sarı	90-100	Beyaz	34-35	40-45	2016
Asol	Turuncu	70-80	Beyaz	40-41	45-48	2018
Hasankendi	Sarı	80-90	Beyaz	35-36	38-45	2018

Çizelge 1.8. Ülkemizde 08.04.2019 tarihi ile tescil edilen aspir çeşitleri (Arslan ve ark., 2019)

Çeşit Adı	Çeşit Sahibi	Tescil Yılı
Yekta	Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü	2019
Zirkon	Utek Tarım İnşaat Gıda Sanayi Ltd. Şti.	2019
Olein	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	2019
Koç	Bahri Dağdaş Uluslarası Tarımsal Araştırma Enstitüsü	2019
Safir	GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü	2019
Servetağa	Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi	2019

Bu çalışmada, biyodizel (B_{100}) yakıtı ile hacimsel olarak farklı oranlarda motorin (M_{100}), biyodizel (B) ve n-bütanol (BÜ) veya n-pentanol (P) ihtiva eden alternatif karışım yakıtlarının (motorin/biyodizel/ n-bütanol ve motorin/biyodizel/ n-pentanol), yakıt özelikleri, motor performansı ve egzoz emisyon değerlerinin referans yakıt motorin (M100) ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ayrıca karışım yakıtlarına 2000 ppm konsantrasyonunda 2-etilhekzil nitrat (EHN) setan iyileştirici katkısı ilave edilerek EHN'nin yakıt özellikleri, motor performansı ve emisyon değerlerine etkileri incelemiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çelikten (2004), 4 silindirli, 4 zamanlı, turboşarjlı, indirekt püskürtmeli olan bir dizel motorda (IDI) tam yük koşullarında, motorin yakıtına %10 oranında etanol karıştırarak elde ettiği karışım yakıtının, motorin yakıtına göre motor performansı ve egzoz emisyonları değerlerinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. %10 etanol ilaveli yakıtın, motor gücü, motor momenti ve yakıt tüketimi değerlerinde motorin yakıtına göre azalmalar meydana geldiğini gözlemlemiştir. Ayrıca araştırmacı, karışım yakıtının emisyonlarından oksijen (O_2)'de motorin yakıtına göre artış, azot oksit (NO_x) ve karbonmonoksit (CO) değerlerinde kısmen, karbondioksit (CO_2), kükürtdioksit (SO_2) ve partikül madde (PM) değerlerinde ise oldukça belirgin oranlarda azalmalar olduğunu ifade etmiştir.

Altınsoy (2007), alternatif motor yakıtı olarak biyodizelin Dünya ve Türkiye'deki durumunu, yakıt özelliklerini, üretimini, motorlarda kullanımını ve emisyonlarını incelemiştir. Ayrıca bir tarım ülkesi olarak Türkiye'nin biyodizel potansiyelini, mevcut imkanlarını ve dışa bağımlılığını azaltacak bir kaynak olarak gelişmesi için neler yapılabilecegini ortaya koymayı amaçlamıştır.

Araştırma sonucunda, stratejik öneme sahip olan biyodizelin ekonomik olarak üretilebilmesi için doğrudan devlet desteğine ihtiyacı olduğunu, bu bağlamda yatırım teşviklerinin desteklenmesiyle birlikte vergi indirimleri ve ucuz hammadde temini için tarım sektörünün desteklenmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Öztürk ve Bilen (2009), dizel yakıtını kanola yağı biyodizeli ile %50 dizel+%50 biyodizel karışım yakıtı için 4 zamanlı ve 4 silindirli bir dizel motorda, farklı devir ve yüklerde testler yapmışlardır. Testler sonucunda;

- Tüm yakıtlarda maksimum moment değerlerinin 1600 d dak^{-1} motor devrinde elde edildiğini,
- %50 dizel, %50 biyodizel karışımından oluşan yakıtın motor güç değerlerinde, dizel yakıtına göre ortalama %3, kanola biyodizelinin ise ortalama %5 oranında daha düşük değerler verdiğini tespit etmişlerdir.

Ayrıca araştırmacılar, elde ettikleri sonuçlar doğrultusunda dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan, dizel ile biyodizel yakıt karışımlarının kullanılmasının uygun olacağını ifade etmişlerdir.

Aksoy (2010), Dünya'daki enerji ihtiyacının büyük bir kısmının hızla tükenmekte olan fosil yakıtlardan karşılandığını, bu nedenle alternatif yakıt olarak biyodizel araştırmalarının giderek arttığını belirtmiştir. Isıl ve kimyasal olarak 2 yöntemle üretilen biyodizelde en çok kullanılan yöntem olan transesterifikasyonda, verimi etkileyen faktörlerin reaksiyonun sıcaklığı, süresi, katalizör miktarı ve alkol oranı olduğunu, üretim için uygun koşulları belirlemek için bu parametrelerin değiştirilebileceğini, ayrıca sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH)'in reaksiyon için uygun katalizörler olduğunu belirtmiştir.

Mbarawa (2010), 4 silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda, karanfil kök yağı ve dizel yakıtı karışımının (%25 karanfil kök yağı + %75 dizel) motor performansı ve egzoz emisyon değerlerine etkisini araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre, harmanlanmış yakıtın ısıl verim ve özgül yakıt tüketimi değerlerinin dizel yakıta göre daha yüksek değerler verdiğini, egzoz gazı sıcaklıklarındaki değişimlerin ise sadece orta motor devirindeki çalışma koşullarında anlamlı olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, karışım yakıtının hidrokarbon (HC) emisyonu değerlerinde dizel yakıtına göre azalma, azot oksit (NO_x) emisyonlarında ise belirgin şekilde artış olduğunu vurgulamıştır.

Lujaji ve ark. (2011), kroton mogalocarpus yağı (CRO), bütanol (BU) ve dizel (D2) yakıttan hazırladıkları karışım yakıtlarının (%15 CRO, %5 BU, %80 D2 ve %10 CRO, %10 BU, %80 D2) yanma özellikleri, motor performansı ve emisyon değerlerinin (CO_2, CO, HC, NO_x ve duman salınımları) belirlemesini amaçlamışlardır. Karışım yakıtlarına ait elde ettikleri sonuçları dizel yakıtına (D2) ait sonuçlarla karşılaştırarak vermişlerdir. Yakıt ve karışımlarına ait motor denemelerinde, 4 silindirli, turboşarjlı direkt enjeksiyonlu (TDI) bir dizel motor kullanmışlardır.

Araştırma sonucunda karışım yakıtlarının;

- Özgül enerji tüketimi değerlerinin dizel yakıtına (D2) göre daha yüksek olduğunu,
- Yüksek motor yüklerinde dizel yakıtı (D2) ile kıyaslanabilecek düzeyde yüksek silindir basıncı ve ısı artış oranı gösterdiklerini,
- NO_x emisyonlarının dizel yakıtı ile benzer olduğunu,
- Karbondioksit (CO_2) ve partikül madde (PM) emisyonlarının dizel yakıtına (D2) kıyasla daha düşük olduğunu belirlemişlerdir.

Leevijit ve Prateepchaikul (2011), yapışkanlığı giderilmiş ve asitten arındırılmış ham palmiye yağı biyodizelini %20, %30 ve %40 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtlarının dizel yakıtına göre motor performansı ve egzoz

emisyonlarına etkilerini incelemişlerdir. Motor denemelerini, 4 silindirli, turboşarjlı ve su soğutmalı bir dizel motorda gerçekleştirmişlerdir.

Araştırmacılar çalışma sonunda;

Dizel yakıtına göre;

- Yüksek oranlardaki palm yağı ve dizel karışım yakıtlarının ısıl verim değerlerinde %3 ile %5.2 arasında azalma,
- Özgül yakıt tüketimi değerlerinde %4.3 ile %7.6 oranları arasında artış,
- Egzoz gazı sıcaklığında %2.7 ile %3.4 oranları arasında azalma,
- Duman koyuluğunda %30 ile %45 oranları arasında ciddi bir azalma,
- %20 ham palmiye yağı ve %80 dizel karışım yakıtının karbonmonoksit (CO) emisyonu değerlerinde %70 oranında azalma,
- Tüm karışım yakıtlarının azot oksit ($NO_{x)}$ emisyonu değerlerinde ise az bir oranda artış olduğunu ifade etmişlerdir.

Armas ve ark. (2012), %10 etanol-%90 dizel ve %16 n-bütanol-%84 dizel karışım yakıtlarını 4 silindirli, turboşarjlı, common-rail enjeksiyon ve egzoz gazı devirdaimi (EGR) sistemine sahip bir dizel motorda deneyerek soğuk ve sıcak ilk çalışma anında ortaya çıkan kirletici emisyonları incelemişlerdir. Motorun sıcak çalışması anında, karışım yakıtlarının (%10 etanol-%90 dizel ve %16 n-bütanol-%84 dizel) azot oksit (NO_x) emisyonları ile duman opaklığında azalmalar olduğunu, ayrıca sıcak çalışma anının parçacık konsantrasyonunda olumlu bir etkiye yol açtığını belirlemişlerdir. Soğuk başlangıçta ise test edilen karışımların yanma kararsızlıkları gösterdiğini ve dizel oksidasyon katalizörünün verimsiz çalışmasının kirletici emisyonlarının artmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir.

Aydın (2012), 4 farklı aspir çeşidinde (Remzibey, Dinçer, Balcı ve Yenice) verim, verim unsurları ile ham yağ oranlarının belirlenmesini amaçlamıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre, aspir çeşitlerinin çıkış süresinin 8 gün ile 14 gün, ilk çiçeklenme süresinin 57 gün ile 62 gün, %50 çiçeklenme süresinin 87 gün ile 97 gün, tabla oluşum süresinin 50 gün ile 60 gün, bitki boyunun 49.42 cm ile 71.15 cm, bitki başına dal sayısının 3.57 adet ile 4.47 adet, bin tane ağırlığının 22.95 g ile 30.14 g, tohum veriminin 87.75 kg da^{-1} ile 146.3 $kgda^{-1}$, ham yağ oranının %17.2 ile %21.4, ham yağ veriminin 14,67 kg da^{-1} ile 30.05 $kgda^{-1}$, protein oranının %11.48 ile %16.14 ve ham protein veriminin ise 12.87 $kgda^{-1}$ ile 23.97 $kgda^{-1}$ arasında değişim gösterdiğini tespit etmiştir.

Campos-Fernández ve ark. (2012), yüksek alkol grubunda yer alan 1-bütanol ve 1-pentanol alkollerini farklı oranlarda (%10, 15, 20, 25, ve 30 1-bütanol ve %10, 15, 20 ve 25 1-pentanol) dizel yakıtı ile karıştırmak suretiyle elde ettikleri yakıt karışımlarının motor performansı değerlerini, üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamış doğrudan enjeksiyonlu bir dizel motorda denemişlerdir. Karışım yakıtlarının motor deney sonuçlarını dizel yakıtına ait değerler ile mukayese etmişlerdir.

Deney sonuçlarına göre;

- Motorda saf dizel yakıt yerine daha yüksek alkol karışımlarının kullanılması durumunda hafif bir motor gücü kaybı ve ısıl verimde artış olduğunu,
- %25 (B25) ve %30 (B30) bütanol içeren karışım yakıtları hariç diğer bütanol ilaveli karışımlarda, dizel yakıt kullanımına kıyasla özgül yakıt tüketimini değerlerinde bir düşüş olduğunu, pentanol ilaveli karışımlar da ise düşük ve orta basınçta (1 ile 4 bar arasında) dizel yakıtla benzer tüketim değerleri gösterdiğini belirlemişlerdir.
- 1-bütanol ve 1-pentanol yakıt karışımlarının kullanımıyla görsel olarak herhangi bir motor performansı sorunu tespit etmediklerini,
- Yakıt ve karışımlarına ait test sonuçları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılığın olmadığını,
- %30 1-bütanol - %70 dizel yakıt ile %25 1-pentanol - %75 dizel yakıt karışımlarının, bir dizel motorda herhangi bir değişiklik yapılmaksızın ve motor parçalarına belirgin bir hasar vermeden başarıyla kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Valentino ve ark. (2012)**,** dizel yakıtını (BU00) hacimsel olarak %20 (BU20) ve %40 (BU40) oranlarında n-bütanol ile karıştırarak, elde ettikleri karışım yakıtlarıyla egzoz emisyon değerlerini düşürmeyi amaçlamışlardır. Motor denemelerinde, 4 silindirli, turboşarjlı ve su soğutmalı bir dizel motor kullanmışlardır. Araştırma sonucunda, n-bütanol katkılı karışım yakıtlarının azot oksit (NO_x) emisyonu değerlerinde dizel yakıtına göre artış, partikül madde (PM) emisyonlarında ise önemli ölçüde azalmalar meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, dizel yakıtına farklı oranlarda (%20 ve %40) alkol ilavesinin, dizel yakıtla karşılaştırıldığında, motorun özgül yakıt tüketimi değerlerinde bir miktar artışa neden olmasına rağmen, emisyonları iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

Keskin ve ark. (2013), tam yük koşullarında, tek silindirli, dört zamanlı bir dizel motorda testlerini gerçekleştirdikleri yakıt A (%60 dizel, %30 biyodizel, %5 etanol, %5 bütanol) ve yakıt B (%40 dizel, %50 biyodizel, %5 etanol, %5 bütanol) karışım yakıtlarına ait motor performansı ve egzoz emisyonu değerlerini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Karışım yakıtlarında kullandıkları biyodizeli makine yağından (Trap grease) bir yağ separatörüyle elde etmişlerdir. Çalışma neticesinde;

- Karışım yakıtlarının dizel yakıtına göre performans karakteristik eğrilerinde önemli ölçüde bir değişim gözlemlenmediğini ve motor performansı değerlerinin bir miktar bozulduğunu,
- Dizel yakıt, yakıt A ve yakıt B için maksimum güç değerlerini 2600 d dak^{-1} motor devrinde sırasıyla 13.68 BG, 12.98 BG ve 12.78 BG olarak tespit ettiklerini,
- Maksimum motor torkunda, dizel yakıtına kıyasla yakıt A ve yakıt B'nin güç değerlerindeki azalmanın sırasıyla %4.03 ve %6.17 olduğunu,
- dizel yakıtına kıyasla motor torkundaki maksimum azalma oranını %7.07 ile 1400 d dak^{-1} motor devrinde yakıt B'de tespit ettiklerini,
- en düşük özgül yakıt tüketimi değerlerinin tüm test yakıtlarında 2200 d dak^{-1} motor devrinde elde edildiğini, ayrıca yakıt A ve yakıt B' nin özgül yakıt tüketimi değerlerinin dizel yakıtına kıyasla daha yüksek olduğunu,
- karışım yakıtlarının emisyon değerlerinin dizel yakıtına göre önemli ölçüde gelişim gösterdiğini, yakıt B'ye ait emisyon değerlerinden karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC)'nun sırasıyla %87.01 ve %87.50 oranında azaldığını ifade etmişlerdir.

Saravanan ve ark. (2013), tek silindirli, doğrudan enjeksiyonlu ve EGR (egzoz gazı devridaimi) sistemine sahip bir dizel motorda, dizel yakıtı ve ikinci nesil biyoyakıt olan n-pentanolün karışımlarının (hacimce %10, %20, %30 ve %45 n-pentanol) motor performansı ve egzoz emisyonu üzerine etkilerini belirlemeye çalışmışlardır. %45 pentanol içeren karışım yakıtını, motorlarda kullanım açısından yakıtta yenilenebilir kısmı en üst düzeye çıkarmak amacıyla araştırmışlardır. Ayrıca araştırmada, yüksek motor yüklerinde yaygın olan yüksek azot oksit (NO_x) değerlerini düşürmek amacıyla 3 EGR oranı (%10, %20 ve %30) kullanmışlardır.

Araştırma sonuçlarına göre;

- Artan EGR oranlarının, karışım yakıtlarında dizel yakıtına kıyasla orta yüklerde %41, yüksek yüklerde ise %33.7'ye varan oranlarda azot oksit (NO_x) emisyonlarını düşürdüğünü,
- Tüm karışım yakıtlarında partikül madde (PM) yoğunluğunun %20 EGR oranına kadar artış gösterdiğini,
- Aynı anda azot oksit (NO_x) ve partikül madde (PM) emisyonlarının indirgenmesinin, pentanol ve dizel karışımlarının kombinasyonu ve orta EGR oranı (%20-30) ile performansta az bir düşüş ile elde edilebileceğini,
- EGR koşullarında dizel yakıtla karşılaştırıldığında, tüm karışım yakıtlarında hidrokarbon (HC) ve karbon-monoksit (CO) emisyonlarında hafif bir artışın gözlemlendiğini tespit etmişlerdir.

Ayrıca araştırmacılar çalışma sonunda, %45 pentanol ve dizel karışımlarının, dizel motorda herhangi bir değişiklik yapılmaksızın ve motor parçalarında uzun süre herhangi bir görünür hasara neden olmaksızın kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Siwale ve ark. (2013), 4 silindirli, turboşarjlı direkt püskürtmeli bir dizel motorda, n-bütanolün farklı oranlarda (B5, B10, B20) dizel yakıtı ile karışımlarının (%5 bütanol, %95 dizel; %10 bütanol,%90 dizel; %20 bütanol, %80 dizel) emisyon değerleri (NO_x, HC, CO) üzerine etkilerini benzer bir çalışma ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. n-bütanol ilave ederek elde ettikleri karışım yakıtlarının diğer çalışmalara kıyasla egzoz emisyonlarının azaltılmasını önemli ölçüde geliştirdiğini ifade etmişlerdir. Karışım yakıtlarının dizel yakıtı ile karşılaştırılmasında, motor devir sayısı arttıkça azot oksit (NO_x) değerlerinin arttığını, karbon monoksit (CO) değerlerinin azaldığını ve bunlara ilaveten 1500 d dak^{-1} motor devri ve %75 çalışma yükü koşullarında hidrokarbon (HC) emisyonu değerlerinde artış olduğunu belirlemişlerdir.

Eryılmaz ve ark. (2014), Eskişehir Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin ettikleri tescilli aspir (Carthamus tinctorius L.) çeşidi Remzibey-05 tohumundan, vidalı pres yardımı ile ham yağ elde etmişler ve bu yağdan transesterifikasyon yöntemiyle aspir biyodizeli üretmişlerdir. Elde ettikleri aspir yağının ve metil esterinin yakıt özelliklerini belirlemişlerdir. Araştırmacıların aspir çeşidi Remzibey-05 tohumundan elde ettikleri ham yağ ile bu yağdan ürettikleri aspir metil esteri ve dizel yakıtının yakıt özellikleri Çizelge 2.1.'de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Remzibey-05 tohumu ham yağı, metil esteri ve dizel yakıtının yakıt özellikleri

Özellikler	Remzibey-05 tohum ham yağı	Remzibey-05 tohum ham yağı metil esteri	Dizel	TS EN 14214	
				Min.	Maks.
Tohum yağ içeriği (%)	28.7	-	-	-	-
Tohum nem içeriği (%)	5.2	-	-	-	-
Yoğunluk 15 ^{o}C(kgm^{-3})	925.19	885.62	827.2	860	900
pH	5	6	6	-	-
Bulutlanma noktası (^{o}C)	-	-5.3	-12	-	-
Akma noktası, (^{o}C)	-	-14.4	-28	-	-
Donma noktası, (^{o}C)	-	-16.5	-33	-	-
Parlama noktası, (^{o}C)	-	177	60	101	-
Su içeriği,(mg kg^{-1})	-	395.93	11.65	-	500
Isıl değer, (Mj kg^{-1})	-	40.71	47.55	-	-
Bakır şerit korozyon (50 ^{o}C'de 3 saat)	1a	1a	1a	-	1

Araştırma sonucunda, araştırmacılar üretilen aspir metil esterinin yakıt özelliklerinin TS EN 14214 standartlarına uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Manu ve Mahla (2014), dizel, atık yağ biyodizeli ve n-bütanol yakıtlarını hacimce belli oranlarda harmanlayarak karışım yakıtları hazırlamışlardır. Biyodizel-dizel (B20: %20 biyodizel, %80 dizel; B40: %40 biyodizel, %60 dizel ve B60: %60 biyodizel, %40 dizel) ve biyodizel/n-bütanol/dizel (nB10: %10 biyodizel, %10 n-bütanol, %80 dizel; nB20: %20 biyodizel,%20 n-bütanol,%60 dizel) karışım yakıtlarını tek silindirli doğrudan enjeksiyonlu sıkıştırma ateşlemeli bir dizel motorda deneyerek dizel yakıtına kıyasla motor performansı (güç, özgül yakıt tüketimi), egzoz emisyonu (HC, CO_2, CO, NO_x ve partikül madde) ve ısıl verim değerlerini değerlendirmişlerdir. Tam yük koşullarında maksimum güç değerlerinin dizel, B60, B40, ve B20 yakıtları için sırasıyla 3.68 kW 3.78, 3.6 ve 3.5 kW, özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise B60, B40, B20, nB10 ve nB20 sırasıyla 287, 265, 230, 280 ve 290 g kWh^{-1} olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar bütanol ilaveli yakıtların (nB10 ve nB20) motor gücü açısından B20 yakıtına benzer sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. B20 yakıtı hariç (dizele göre %13 artış) biyodizel ve n- bütanol karışımlarından oluşan yakıtların ısıl verimi değerlerinin dizel yakıta göre daha düşük değerler gösterdiğini, B20 ve nB10 yakıtlarının motor performansı ve emisyon azalması bakımından yakıt karışımları arasında en iyi sonuçları verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, dizel yakıtına göre B20 ve nB10 yakıtlarının özgül enerji tüketiminin tüm yüklerde yaklaşık %0.1-9 arasında azaldığını, B40 ve B60 yakıtlarının ise %4-15 arasında arttığını belirlemişlerdir.

Tüccar ve ark. (2014), D80B20 (%80 dizel ,%20 mikroalg biyodizel), D70B20But10 (%70 dizel, %20 mikroalg biyodizel, %10 bütanol) ve D60B20But20 (%60 dizel, %20 mikroalg biyodizeli, %20 bütanol) karışım yakıtlarının motor

performansı ve egzoz emisyonları değerlerini 4 zamanlı, 4 silindirli bir dizel motorda belirleyerek, elde ettikleri sonuçları dizel yakıtına (D100) ait sonuçlarla karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar gerçekleştirdikleri deney sonuçlarına göre;

- Tüm yakıt ve karışımlarına ait maksimum tork değerlerinin yaklaşık olarak 1800 d dak^{-1} motor devrinde elde edildiğini,
- Hacimsel olarak %10 ve %20 butanol ilave edilmiş karışım yakıtlarında, dizel yakıtına göre maksimum tork değerlerinin sırasıyla %2.7 ve %3.8 oranında azalma gösterdiğini,
- Ortalama tork değerleri açısından D70B20But10 ve D80B20 karışım yakıtlarında dizel yakıtına göre sırasıyla yaklaşık %5 ve %2.7 oranında daha düşük değerler elde edildiğini,
- Tüm test yakıtları için maksimum fren gücü değerlerinin yaklaşık olarak 2200 d dak^{-1} motor devrinde elde edildiğini,
- Hem mikroalg biyodizeli hem de bütanol ilavesi ile fren gücü çıkış değerlerinde dizel yakıtına göre azalmalar kaydedildiğini,
- D80B20, D70B20But10 ve D60B20But20 karışım yakıtlarının dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimi değerlerinde sırasıyla %10.9, %17.1 ve %29.7 oranında artışlar olduğunu,
- Dizel yakıtına mikroalg biyodizeli ilavesi ile azotoksit (NO_x) değerinin arttığını,
- Karışım yakıtlarına bütanol ilavesinin azot oksit (NO_x) değerlerini düşürdüğünü,
- Karışımların karbonmonoksit (CO) emisyonu değerlerinin dizel yakıtına göre daha düşük değerler gösterdiğini,
- Biyodizel ve dizel karışım yakıtına (D80B20) bütanol ilavesinin karbonmonoksit (CO) emisyonlarını daha da azalttığını,
- D80B20, D70B20But10 ve D60B20But20 karışım yakıtlarının duman opaklığı değerlerinin tüm motor devirleri için dizel yakıtına göre, sırasıyla %3.1, %27.3 ve %49.5 oranlarında daha düşük değerler verdiğini tespit etmişlerdir.

Aydoğan (2015), common-rail püskürtme sistemine sahip 4 silindirli, turboşarjlı bir dizel motorda, biyoetanol, aspir biyodizeli ve dizel yakıt karışım yakıtlarının motor performansı (güç, tork ve özgül yakıt tüketimi), egzoz emisyonu (CO, HC, NO_x, PM) ve

yanma özelliklerine (silindir içi gaz basıncı, ısı salınım hızı) etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Yakıt olarak E20B20D60 (%20 biyoetanol, %20 biyodizel, %60 dizel yakıt), E30B20D50 (%30 biyoetanol, %20 biyodizel, %50 dizel yakıt), E50B20D30 (%50 biyoetanol, %20 biyodizel, %30 dizel yakıt) karışım yakıtları ile dizel yakıt (D) kullanmıştır. Testleri tam gaz kelebeği açıklığında ve değişken motor hızlarında gerçekleştirmiştir. Motor deneyleri sonuçlarına göre, biyoetanol, biyodizel ve dizel kullanarak hazırladıkları yakıt karışımlarının, motor gücü, motor torku, karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) yoğunluğu değerlerinde dizel yakıtına göre düşüş, azot oksit (NO_x) ve özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise artışlar olduğunu bildirmiştir. Ayrıca tüm test yakıtlarında yanma özellikleri değerlerinin birbirlerine yakın sonuçlar verdiğini, 3000 d dak^{-1} ve 4000 d dak^{-1} motor devirlerdeki basınç değerleri incelendiğinde, tüm yakıtlarda elde edilen eğrilerin benzer olmasına rağmen maksimum basınç değerlerinde farklılıklar olduğunu ifade etmiştir.

Aydoğan (2015), hacimce farklı oranlarda hazırladıkları biyoetanol, aspir biyodizeli ve dizel yakıtı karışımlarının motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristiklerini, common-rail püskürtme sistemine sahip 4 silindirli bir dizel motorda deneyerek belirlemeyi amaçlamıştır. Motor denemelerinde, E20B20D60 (%20 biyoetanol, %20 biyodizel, %60 dizel), E30B20D50 (%30 biyoetanol, %20 biyodizel, %50 dizel), E50B20D30 (%50 biyoetanol, %20 biyodizel, %30 dizel) karışım yakıtları ile dizel yakıtını (D) kullanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, tüm yakıt ve karışımlarında en yüksek motor gücüne 3000 d dak^{-1} motor devrinde ulaşıldığını, bu motor devrinde motor gücü değerlerinin dizel yakıtında 46.3 kW, E20B20D60 ve E30B20D50 yakıtlarında 44 kW ve E50B20D30 yakıtında ise 39.75 kW olarak gerçekleştiğini bildirmiştir. 2000 d dak^{-1} motor devrinde elde edilen maksimum tork değerlerinin dizel yakıtında 185.59 Nm, E20B20D60 yakıtında 175 Nm, E30B20D50 yakıtında 170 Nm ve E50B20D30 yakıtında 153 Nm, en düşük ve en yüksek özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise (2500 d dak^{-1} motor devirde) dizel ve E50B20D30 karışım yakıtında sırasıyla 225 g kWh^{-1} ve 267 g kWh^{-1} değeri ile elde edildiğini belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı maksimum azot oksit (NO_x) değerini (1488 ppm), dizel yakıtına göre yaklaşık %32 daha yüksek bir değerle E50B20D30 karışım yakıtında tespit ettiğini ifade etmiştir.

Li ve ark. (2015), dizel ve biyodizel ve pentanol yakıtlarını hacimce farklı oranlarda karıştırarak D70P30 (%70 dizel,%30 pentanol), D70B30 (%70 dizel,%30 biyodizel) ve D40B30P30 (%40 dizel,%30 biyodizel ve %30 pentanol) yakıtlarını elde

etmişlerdir. Deneme materyali yakıtları, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda, yanma ve egzoz emisyonu değerlerini dizel yakıtına ait değerler ile mukayese ederek değerlendirmişlerdir. Motor testlerini farklı motor yükleri altında sabit motor hızında (1600 d dak^{-1}) gerçekleştirmişlerdir. Yakıtlara pentanol ilavesinin ısıl verim değerlerinde dizel yakıtına göre artış gösterdiğini, partikül madde (PM), azot oksit (NO_x) (düşük ve orta motor yüklerinde), karbon monoksit (CO) ve yanmamış toplam hidrokarbon (HC) emisyonlarını (düşük motor yükündeki sonuçlar hariç) ise düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, %40 dizel -%30 biyodizel-%30 pentanol içeren yakıt karışımının, diğer yakıtlara göre daha iyi bir yanma, emisyon özellikleri ve ekonomik performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Öğüt ve ark. (2015), 2013-2015 yılları arasında Eskişehir Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde, sulu ve kuru şartlarda farklı fosfor uygulaması (0, 2, 4, 6, 8, 10 kg da^{-1} P_2O_5) yapmak suretiyle yetiştirdikleri Remzibey ve Balcı aspir çeşitlerinin, tohum ve yağlarındaki fosfor oranını azaltarak biyodizel üretim maliyetini düşürmeyi amaçlamışlardır. Ayrıca aspir çeşitlerinin tohumlarından elde ettikleri yağların asit kompozisyonları ile bu yağlardan ürettikleri biyodizelin yakıt özelliklerini belirlemişlerdir.

Araştırma sonucunda;

- Aspir yağında bulunan fosfor miktarının ester oranını etkilediğini,
- Sulu şartlarda her iki çeşitte (aspir ve balcı) fosfor gübreleme dozu arttıkça ester oranının düştüğünü, kuru şartlarda ise bu durumun fosfor alımının yavaşlamasından dolayı gerçekleşmediğini,
- Üretilen biyodizellerin yakıt özelliklerinden yoğunluk ve kalori değerlerinin standart değerlerde olmasına karşın viskozitelerinin sınır değer olan 5 mm^{2}s^{-1} 'nin biraz üstünde olduğunu tespit etmişlerdir.

Ayrıca araştırmacılar, enerji tarımı amaçlı yapılan aspir üretiminde yetiştirme teknikleri açısından fosfor gübrelemesinin önemli olduğunu ve elde edilen sonuçların hem tarımsal açıdan hem de biyodizel üretim maliyetlerinin azaltılması bakımından katkı sağlayacağını ifade etmişlerdir.

Ali ve ark. (2016), palm yağı biyodizelini %10 (B10), %20 (B20), %30 (B30), %40 (B40), ve %50 (B50) oranlarında dizel yakıtı (D) ile karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtlarının yakıt özellikleri ile bu yakıtlara ait motor performansı değerlerini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak vermişlerdir. Motor denemelerinde 4 silindirli, su soğutmalı bir dizel motor kullanmışlardır. Karışım yakıtlarındaki palm yağı biyodizeli

konsantrasyonlarının artmasıyla, yakıtların yoğunluğunun, viskozitesinin ve asit değerlerinin arttığını, dizel yakıtına %30'a kadar olan biyodizel ilavesinin ise yakıt standardı ASTM D7464 'ü karşıladığını belirtmişlerdir. Motor deneyleri sonuçlarına göre ise, dizel yakıtına palm yağı biyodizeli ilavesinin (B10, B20, B30,B40 ve B50) motor fren gücünü ortalama %2.6 oranında azalttığını, özgül yakıt tüketimini ise ortalama %3 oranında arttırdığını ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışma sonucunda, palm yağı biyodizeli ve dizel karışım yakıtlarının, %30 palm biyodizeline (B30) kadar olan karışım oranlarının motorun daha düzgün çalışması için motorlarda kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Atmanlı (2016b), dizel yakıtı (D), atık yağ biyodizeli (B) ve yüksek alkol grubunda yer alan propanol (Pro), n-bütanol (nB) ve 1-pentanol (Pn) yakıtlarını kullanarak hazırladığı ikili ve üçlü yakıt karışımlarının yakıt özellikleri ile 4 silindirli turboşarjlı ve su soğutmalı bir dizel motorda, motor performansı ve egzoz emisyon değerlerine etkilerini belirlemiştir. Karışım yakıtları olarak D50B50 (%50 dizel, %50 biyodizel), D40B40Pro20 (%40 dizel, %40 biyodizel, %20 Propanol), D40B40nB20 (%40 dizel, %40 biyodizel, %20 n-bütanol) ve D40B40Pn20 (%40 dizel, %40 biyodizel, %20 1-pentanol) yakıtlarını kullanmıştır. Motor deneylerini 1800 d dak^{-1} sabit motor devrinde ve 4 farklı motor yükünde (1, 3, 6, 9 kW) gerçekleştirmiştir.

Dizel-biyodizel karışımına hacimce %20 oranında yüksek alkollerin (propanol, n-bütanol ve 1-pentanol) eklenmesinin, dizel yakıtına kıyasla özellikle yoğunluk, alt ısıl değer, kinematik viskozite, setan sayısı ve parlama noktası değerlerini az miktarda azalttığını, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktasını (SFTN) değerlerini ise iyileştirtiğini belirlemiştir. Tüm motor yüklerinde %20 propanol içeren D40B40Pro20 karışım yakıtının D40B40nB20 ve D40B40Pn20 yakıtlarına göre daha yüksek özgül yakıt tüketimi değerlerine sahip olduğunu, karışımlara alkol ilavesinin azot oksit (NO_x) emisyon değerlerini azalttığını, bununla birlikte, karbon monoksit (CO) emisyonlarını arttırdığını ifade etmiştir. Ayrıca araştırmacı, karışım yakıtlarını hidrokarbon (HC) emisyon azalımı açısından karşılaştırdığında, D40B40Pn20 yakıtının en iyi sonuçlar verdiğini tespit etmiştir.

Atmanlı (2016a), %70 dizel (D), %20 fındık yağı (H), %10 n-bütanol (nB) (DnBH) veya %10 1-pentanol (Pn) (DPnH) karışım yakıtlarına 500, 1000 ve 2000 ppm konsantrasyonlarında 2-etilhekzil nitrat (EHN) setan iyileştici katkısı ilave ederek EHN'nin yakıt özellikleri ve motor performansı değerlerine etkilerini ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Motor testlerini, sabit motor devrinde (2200 d dak^{1}) ve 5 farklı motor yükünde (%0, %30 ,%60 ,%90 ve %100) direkt enjeksiyonlu, turboşarjlı dizel (TDI) bir

motorda gerçekleştirmiştir. DnBH ve DPnH karışım yakıtlarına EHN ilavesinin setan sayısını sırasıyla %13.12 ve %12.26 oranlarına kadar arttırdığını, yoğunluk, kinematik viskozite, bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) ve parlama noktası üzerinde herhangi önemli bir etkisinin olmadığını bildirmiştir. DnBH ve DPnH yakıtlarına ait güç değerlerinde dizel yakıtına göre sırasıyla %2.91 ve %4.69 oranında azalma, ayrıca DPnH yakıtına 500, 1000 ve 2000 ppm EHN konsantrasyonu eklenmesinin bu yakıtın (DPnH) fren gücünde sırasıyla %0.62, %1.61 ve %0.69 oranında artışlar meydana getirdiğini tespit etmiştir. Tam motor yükünde özgül yakıt tüketimi değerlerinde DnBH yakıtına göre farklı 2-etilhekzil nitrat (EHN) konsantrasyonu ilavesinin, DnBH500, DnBH1000 ve DnBH2000 yakıtlarında sırasıyla %0.47, %12.60 ve %13.85, DPnH yakıtına göre DPnH500, DPnH1000 ve DPnH2000 yakıtlarında ise sırasıyla %1.04, %0.07 ve %2.62 oranlarında düşüşlere neden olduğunu ifade etmiştir. DnBH ve DPnH yakıtlarının azot oksit (NOx) emisyonlarının ortalama olarak tüm motor yüklerinde dizel yakıtına göre sırasıyla %3.18 ve%9.34, hidrokarbon (HC) emisyonlarının ise sırasıyla %46.02 ve %35.71 daha fazla olduğunu bildirmiştir. Ayrıca araştırmacı EHN'nin DnBH'ye eklenmesinin HC emisyonlarını ortalama %7.16 (500 ppm), %11.30 (1000 ppm) ve %14.86 (2000 ppm) oranında arttırdığını, DPnH yakıtlarının hidrokarbon (HC) emisyonlarını ise %19.87 (500 ppm) ,%16.76 (1000 ppm) ve %15.14 (2000 ppm) oranında azalttığını belirlemiştir.

Aydın (2016), aspir yağından ürettiği biyodizeli, kerosen ile harmanlayarak S90 - K10 (%90 biyodizel, %10 kerosen), S75 - K25 (%75 biyodizel, %25 kerosen) ve S50 - K50 (%50 biyodizel, %50 kerosen) karışım yakıtlarını elde etmiştir. Karışım yakıtlarının yanma, motor performansı ve emisyon karakteristiklerini D2 (50 ppm kükürt içeren dizel yakıt) yakıtı ile karşılaştırmalı olarak ortaya koymaya çalışmıştır. Motor denemelerinde, elektrik jeneratörünü çalıştırmak için 4 silindirli bir dizel motor kullanmıştır. Tüm deneyleri 3.6, 7.2 ve 10.8 kW güçlerde sabit yük koşullarında gerçekleştirmiştir.

Araştırma sonucunda;

- D2 yakıtına göre tüm karışım yakıtlarının yanma parametrelerinin benzer sonuçlar verdiğini,
- S50-K50, S75-K25 ve S90-K10 karışım yakıtlarının azot oksit (NO_x) emisyonu değerlerinin D2 yakıtına göre sırasıyla %68.2, %56.9 ve %55.1 oranında azalma, yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonlarının ise bir miktar artış gösterdiğini,

- S75-K25 ve S90-K10 karışım yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinde D2'ye kıyasla biraz artış, S50-K50 yakıtında ise ısıl verimin artmasıyla %3.84 oranda azalma olduğunu tespit etmiştir.

Ayrıca araştırmacı, çalışma sonunda yüksek miktarda aspir yağı biyodizelinin belirli miktarlarda kerosen ile karıştırılarak kullanılmasının dizel yakıtının alternatifi olabileceğini vurgulamıştır.

İleri (2016), D70S20B10 (%70 dizel, %20 ayçiçeği yağı ve %10 n-bütanol) ve D70S20P10 (%70 dizel, %20 ayçiçeği yağı ve %10 1-pentanol) karışım yakıtlarına 500, 1000 ve 2000 ppm konsantrasyonlarında setan geliştirici 2-etilhekzil nitrat (EHN) ilave ederek, EHN ilavesinin karışım yakıtlarının yakıt özellikleri ile motor performansı ve egzoz emisyonu değerlerine etkisini araştırmayı amaçlamıştır. EHN katkılı karışım yakıtlarına ait motor denemelerini sabit motor devri (2200 d dak^{-1}) ve beş farklı motor yükünde, turboşarjlı doğrudan enjeksiyonlu (TDI) dizel bir motorda gerçekleştirmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre;

- Karışım yakıtlarına EHN katkısının motor gücü üzerine artırıcı yönde çok az etki ettiğini,
- Karışım yakıtlarında EHN konsantrasyonunun (500,1000 ve 2000 ppm) artması ile özgül yakıt tüketim değerlerinin %2.49 ile %8.17 oranında azaldığını,
- EHN ilavesinin karışım yakıtlarının azot oksit (NO_x) değerlerinde %0.26 ile %5.26 oranlarında düşüşlere neden olduğunu,
- 2000 ppm EHN ilave edilerek hazırlamış olduğu D70S20B10 yakıtını azot oksit (NO_x) emisyonlarını azaltmak için en iyi etkiye sahip yakıt olarak belirlediğini,
- Karbonmonoksit (CO) emisyonlarının, EHN konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak %7.16 ile %23.46 oranında arttığını,
- Dizel yakıtına göre, D70S20B10 ve D70S20P10 karışım yakıtlarının hidrokarbon (HC) emisyonlarında sırasıyla %133.29 ve %153.1 oranında artışlar tespit edildiğini,
- EHN'nin D70S20B10 ve D70S20P10'a eklenmesinin HC emisyonları üzerinde farklı etkileri olduğunu, tüm motor yükleri üzerindeki ortalama değerler dikkate alındığında, D70S20B10 yakıtına 500, 1000 ve 2000 ppm EHN ilavesinin HC emisyonu değerlerinde sırasıyla %6.13, %9.01 ve %7.32,

D70S20P10 yakıtında ise %28.23, %21.63 ve %17.70 oranlarında düşüşlere neden olduğunu ifade etmiştir.

Imdadul ve ark. (2016a), PB10P10 (%80 dizel, %10 biyodizel, %10 pentanol) ve PB20P5 (%75 dizel, %20 biyodizel, %5 pentanol) karışım yakıtlarına, 1000 ppm ve 2000 ppm konsantrasyonlarında EHN ilave ederek PB10P10E1 (%80 dizel, %10 biyodizel, %10 pentanol, 1000 ppm EHN), PB10P10E2 (%80 dizel, %10 biyodizel, %10 pentanol, 2000 ppm EHN), PB20P5E1 (%75 dizel, %20 biyodizel, %5 pentanol, 1000 ppm EHN) ve PB20P5E2 (%75 dizel, %20 biyodizel, %5 pentanol, 2000 ppm EHN) yakıtlarını elde etmişler ve bu yakıtların yanma, motor performansı ve emisyon değerlerine etkilerini belirlemek için tek silindirli, su soğutmalı bir DI dizel motorda denemişlerdir. Motor denemelerini tam yük ve farklı hız koşullarında gerçekleştirmişlerdir. Üçlü yakıt karışımlarına EHN ilavesinin; diğer yakıt özelliklerinde önemli bir olumsuz etkiye sebep olmaksızın setan sayısını önemli ölçüde arttırdığını, dizel-biyodizel-alkol karışımlarını termal olarak daha kararlı hale getirdiğini, özgül yakıt tüketimi, azot oksit (NO_x) ve partikül madde (PM) emisyonunu önemli ölçüde azalttığını, ayrıca yanma gecikmesini kısaltarak yanmayı geliştirdiğini ifade etmişlerdir.

Çizelge 2.2. Yakıt özellikleri

Özellikler	Dizel	Pentanol	PB100	PB10P10	PB10P10E1	PB10P10E2	PB20P5	PB20P5E1	PB20P5E2
Yoğunluk (kg m^{-3})	829.7	814	866	828.4	824.1	821.7	833.9	829.7	827.4
Viskozite (mm^{-3})	3.5	2.83	4.671	3.28	3.271	3.26	3,49	3.482	3.471
Setan indisi	54	24.3	55	51.1	54.2	57.5	52.7	55.4	58.6
Bulutlanma noktası, (ºC)	7	-	12	3	3	3	3	3	3
Akma noktası, (ºC)	8	-	14	-4	-4	-4	-5	-4	-4
Parlama noktası, (ºC)	68.7	49	187	79.1	81.5	84.3	90.85	93.2	95.9
Isıl değer, (Mj kg^{-1})	44.3	35	39.95	43.65	43.66	43.68	43.28	43.3	43.33

Imdadul ve ark. (2016b), dizel yakıtına %10, %15 ve %20 pentanol ve Calophyllum inophyllum (CI) biyodizelini ilave ederek elde ettiği C10P10 (%10 biyodizel ,%10 pentanol ,%80 dizel), C15P15 (%15 biyodizel ,%15 pentanol, %70 dizel) ve C20P20 (%20 biyodizel,%20 pentanol,%60 dizel) yakıt karışımlarının yanma ve yakıt özellikleri ile motor performansı ve emisyon değerlerini dizel ve biyodizel (CI 20) yakıtları ile karşılaştırılmalı olarak vermişlerdir. Motor deneylerini tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı, doğrudan enjeksiyonlu bir dizel motorda gerçekleştirmişlerdir.

CI 20 yakıtına (%20 biyodizel, %80 dizel) göre karışım yakıtlarında pentanol oranının arttırılmasının, karışım yakıtlarına ait yakıt özelliklerini iyileştirdiğini belirlemişlerdir. Pentanol karışımlı yakıtların, CI 20 yakıtına göre daha yüksek olan ısıl verim ve gücü nedeniyle özgül yakıt tüketimi değerlerini azalttığını ifade etmişlerdir. CI 20 yakıtına kıyasla karışım yakıtlarının biraz daha yüksek azot oksit (NO_x) emisyonu değerleri göstermesine rağmen, karışım yakıtlarındaki pentanolün %15 ve %20 harmanları için karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonu değerlerinin daha düşük değerler verdiğini ve karışım yakıtlarına ait duman yoğunluğu değerlerinin ise dizel ve CI 20 yakıtına göre önemli ölçüde azaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, biyodizel, dizel ve pentanolün %15 ve %20 karışımlarının herhangi bir motor değişikliği yapmadan motor performansını ve emisyonunu optimize edebileceğini vurgulamışlardır.

Örs (2016), tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda, dizel yakıtı, soya yağı biyodizeli ve bütanol karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Soya yağı biyodizeline (BÜ0) hacimsel oranda %5 (BÜ5), %10 (BÜ10) ve %15 (BÜ15) bütanol ilave edilmesiyle karışım yakıtlarını elde etmiştir. Denemeleri sabit motor devrinde ve yüklerde yapmıştır. Soya yağı biyodizeline %15 bütanol ilavesinin (BÜ15) , azot oksit (NO_x), partikül madde (PM) ve karbonmonoksit (CO) emisyon değerlerini dizel yakıtına göre sırasıyla %16, %24 ve %49 oranında azaldığını belirtmiştir. Karışım yakıtlarında bütanol oranı arttıkça hidrokarbon (HC) emisyonu ve özgül yakıt tüketimi değerlerinin (ort. %10) arttığını tespit etmişlerdir.

Özçelik ve ark. (2016), aspir yağından transesterifikasyon yöntemi ile elde ettikleri aspir biyodizelinin (B0) dizel yakıtı ile karışımlarının (B7, B40 ve B80), motor egzoz emisyonu değerleri üzerindeki etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Denemeleri 4 zamanlı, 4 silindirli, common-rail yakıt sistemine sahip su soğutmalı bir dizel motorda gerçekleştirmişlerdir.

Araştırma sonuçlarına göre;

- En düşük karbonmonoksit (CO) emisyonunu dizel yakıtına göre %60 daha düşük oranla B80 (%80 biyodizel, %20 dizel yakıt) yakıtında,
- En yüksek karbondioksit (CO_2) emisyonunu dizel yakıtına göre %30 daha yüksek oranla B80 yakıtında,
- En yüksek hidrokarbon (HC) değerlerini B0 (%100 biyodizel) ve B80 yakıtında,

- En düşük oksijen (O_2) değerlerini B0, en yüksek oksijen (O_2) değerini ise dizel yakıtına göre %40 daha yüksek olan B80 yakıtında,
- En yüksek azotoksit (NO_x) emisyon değerini ise dizel yakıtına göre %25 daha yüksek olan B80 yakıtında tespit etmişlerdir.

Ayrıca araştırmacılar bu sonuçlara ilaveten karışım yakıtlarındaki biyodizel yüzdesindeki artışın partikül madde (PM) emisyonlarında azalmaya neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Zhang ve Balasubramanian (2016) n-bütanol ve n-pentanolün hacimce %10 ve %20 oranında biyodizel ile harmanlanması ile elde ettikleri B90Bu10 (%90 biyodizel, %10 n-bütanol), B80Bu20 (%80 biyodizel, %20 n-bütanol), B90P10 (%90 biyodizel, %10 n-pentanol) ve B80P20 (%80 biyodizel, %20 n-pentanol) karışım yakıtlarını tek silindirli bir dizel motorda, motor performansı ve partikül emisyonlarının fizikokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini, dizel (D100) ve biyodizel (B100) yakıtlarıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. Motoru sabit hızda (3000 d dak^{-1}) ve üç motor yükünde (%25, %50 ve %75) çalıştırmışlardır. Butanol-biyodizel karışımları biyodizel ile karşılaştırıldığında, ısıl verimde maksimum %1.6 artış, düşük ve orta motor yüklerinde özgül yakıt tüketiminde %1.9 ile %3.9 arasında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Pentanol-biyodizel karışımları ısıl verimde bir iyileşme ve özgül yakıt tüketiminde en fazla %2 artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Biyodizel ile karşılaştırıldığında, bütanol veya pentanol karışımlı yakıtların partikül kütlesini ve temel karbon emisyonlarını azaltabildiğini ve bütanol katkısının pentanolden daha etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Aydın ve Öğüt (2017), Dizel (D), aspir biyodizeli (M) ve biyoetanolden (B) hacimsel olarak 4 farklı oranda hazırladıkları B2.5M5D92.5 (%2.5 biyoetanol, %5 biyodizel, %92.5 dizel yakıtı), B5M5D90 (%5 biyoetanol, %5 biyodizel, %90 dizel yakıtı), B2.5M2.5D95 (%2.5 biyoetanol, %2.5 biyodizel, %95 dizel yakıtı) ve B5M2.5D92.5 (%5 biyoetanol, %2.5 biyodizel, %92.5 dizel yakıtı) yakıtlarının, dizel yakıtına (D100) göre motor performansı ve egzoz emisyonu değerlerine etkilerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Yakıtların motor deneylerinde, bir silindirli, 4 zamanlı ve su soğutmalı bir dizel motor kullanmışlardır.

Maksimum motor torkunu (56.2 Nm), 1100 d dak^{-1} motor devrinde B5M2.5D92.5 yakıtında, maksimum motor gücünü (10.64 kW) 2100 d dak^{-1}'da D100 yakıtında, en düşük özgül yakıt tüketimi değerini (299.76 g $(kWh)^{-1}$) ise 1400 d dak^{-1}'da yine D100 yakıtında elde etmişlerdir. Dizel yakıtı ile kıyaslandığında, karışım yakıtlarında genel olarak karbondioksit (CO_2), hidrokarbon (HC) ve oksijen (O_2) emisyonlarının arttığını,

karbonmonoksit (CO) ve kükütdioksit (SO_2) emisyon değerlerinin ise azaldığını belirtmişlerdir.

Ciniviz ve ark. (2017) setan geliştirici olarak dizel-etanol karışımlarına ilave edilen 2-etilhekzil nitrat (EN) 'in etkisini, performans parametreleri (tork, güç, özgül yakıt tüketimi) ve egzoz emisyonları (NO_x, CO, CO_2) açısından dört silindirli bir dizel motorda incelemişlerdir. E10 olarak isimlendirilen etanol-dizel harmanı hacimce %10 etanol ile %90 dizel yakıt karıştırılarak hazırlamışlardır. Diğer karışımlar E10EN2 (%10 etanol, %2 EN ve %88 dizel), E10EN4 (%0 etanol, %4 EN ve %86 dizel) ve E10EN6 (%10 etanol, %6 EN ve %84 dizel) olarak sembolize etmişlerdir. Bu karışımlar için tam yük koşullarında beş farklı motor hızında elde edilen sonuçları, E10 ve %100 dizel yakıt ile karşılaştırmışlardır.

EN ilavesi E10EN2, E10EN4 ve E10EN6 yakıtlarında E10'a kıyasla setan sayısını %5, %11, %16 oranında artırırken, EN ilavesi kinematik viskozitede hafif bir düşüşe, düşük ısıtma değerine ve yoğunlukta hafif bir artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. EN ilavesinin NO_x, CO emisyonları ve güç üzerinde azaltıcı bir etkisinin görüldüğünü, CO_2 emisyonu ve özgül yakıt tüketiminde ise artışa sebep olduğunu tespit etmişlerdir.

Koç ve ark. (2017), halen tescilli olan ve Orta Anadolu'da yazlık olarak ekilen aspir bitkisi çeşitlerinin (Balcı, Linas, Dinçer) ilkbaharda gelişme periyodlarının uzun bir döneminin kurak aylara denk gelmesinden dolayı verimlerinin düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu amaçla Konya Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde, yerel ve ABD Tarım Bakanlığı Gen Bankasından temin ettikleri aspir populasyonlarının ekim ayında kışlık olarak ekilebilmesi için soğuğa dayanıklılık bakımından ıslah çalışmalarına tabii tutmuşlardır. Islah çalışmalarını, seleksiyon, melezleme ve soğuğa tölerans çalışmaları olmak üzere 3 aşamada gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, kışlık aspir çeşidinin geliştirilmesi ile birlikte tıpkı buğday gibi ekim ayında ekilen aspirin tohum veriminde yazlıklara göre %50'ye varan oranlarda verim artışı sağlandığını, buna ilaveten yazlık aspir çeşidi geliştirme çalışmalarının devam ettiğini, BDYAS-4 yazlık aspir aday çeşidinin yağ oranının %35 ile %37 arasında değiştiğini ve tohum veriminin mevcut tescilli çeşitlerden daha yüksek olduğu ifade etmişlerdir.

Köse (2017), Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsünde, Eskişehir iklim koşullarında farklı aspir çeşitlerinin (Balcı, Linas, Yenice, Dinçer ve Remzibey) yağ verimi ve yağ oranı açısından yıllara göre değişimlerini incelemiştir. Yenice çeşidinin diğer çeşitlere göre yağ oranı ve verim değerlerinin daha düşük, Balcı ve Linas çeşitlerinin ise yağ oranlarının %34'ün üzerinde olduğunu belirlemiştir. Ayrıca

araştımacı, Balcı aspir çeşidinin birim alan yağ verimi açısından diğer çeşitlerden daha iyi sonuçlar verdiğini ifade etmiştir.

Özçelik (2017), transesterifikasyon yöntemi ile aspir yağından elde ettiği biyodizeli, dizel yakıt ile harmanlayarak B2 (%2 aspir biyodizeli, %98 dizel yakıtı), B10 (%10 aspir biyodizeli, %90 dizel yakıtı) ve B50 (%50 aspir biyodizeli, %50 dizel yakıtı) karışım yakıtlarını hazırlamıştır. Karışım yakıtları ile B100 (%100 biyodizel) yakıtının motor performansı ve emisyon değerlerini belirlemek için common-rail yakıt sistemine sahip, su soğutmalı, 4 silindirli, 4 zamanlı bir dizel motorda denemeler yapmıştır. Referans yakıt olarak dizel yakıtı kullanmış ve deneme sonuçlarını bu yakıt ile karşılaştırmalı olarak vermiştir.

Karışım yakıtlarının (B2, B10 ve B50), dizel yakıtına göre motor performansı değerlerinde gözlenen farklılıkların başlıca nedenini, biyodizel yakıtının kalori değerinin dizel yakıtına göre düşük olmasıyla açıklamıştır. Kısmi yük şartlarında biyodizelin bünyesindeki oksijen fazlalığının yakıtın oksidasyonunu iyileştirmesi nedeniyle, karışımlardaki biyodizel miktarı arttıkça motor gücünde artış olduğunu vurgulamıştır. Maksimum tork değerlerinin dizel yakıtta 2000 d dak^{-1}, diğer karışım yakıtlarında ise 3000 d dak^{-1} motor devrinde elde edildiğini tespit etmiştir. En düşük özgül yakıt tüketimi değerinin 2500 d dak^{-1} motor devrinde dizel yakıtta meydana geldiğini belirlemiştir.

Karışım yakıtlarında, kullanılan biyodizel oranı arttıkça yakıt içeriklerinde oksijen (O_2) miktarının artması sebebi ile egzoz gazlarındaki azot oksit (NO_x) miktarında artış olduğunu, bu nedenle en yüksek azot oksit (NO_x) değerinin B100 yakıtında tespit edildiğini ifade etmiştir. Dizel yakıtına ait karbondioksit (CO_2) değerlerinin, B2, B10 ve B50 yakıt değerlerine göre düşük çıktığını, en düşük karbonmonoksit (CO) emisyon değerlerinin ise tam yanma nedeniyle aspir biyodizeli (B100)'inde elde edildiğini vurgulamıştır. Ayrıca araştırmacı, B2, B10 ve B50 yakıtlarının hidrokarbon (HC) değerlerinin, dizel yakıtına kıyasla %50 oranında düşük olduğunu, B2 ve B10 yakıtlarının oksijen (O_2) emisyonlarının ise yüksek olduğunu belirtmiştir.

Rathore ve ark. (2017), aspir yağından ürettikleri biyodizeli, dizel yakıtı ve bazı alkollerle (Etanol, Metanol) belli oranlarda harmanlamak suretiyle elde ettikleri karışım yakıtlarını dört zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu ve su soğutmalı bir dizel motorda deneyerek, yakıt karışımlarının motor performansı değerlerini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı vermeyi ve değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Hazırladıkları karışım yakıtlarını, karışım A (%5 metanol, %5 aspir biyodizeli, %90 dizel yakıtı), karışım B (%5 metanol, %10 aspir biyodizeli, %85 dizel yakıtı), karışım C (%5 metanol, %15 aspir

biyodizeli, %80 dizel yakıtı), karışım D (%5 etanol, %5 aspir biyodizeli, %90 dizel yakıtı), karışım E (%5 etanol, %10 aspir biyodizeli, %85 dizel yakıtı) ve karışım F (%5 etanol, %15 aspir biyodizeli, %80 dizel yakıtı) şeklinde sınıflandırmışlardır.

Yük arttıkça biyodizel konsantrasyonundaki artış ile birlikte elde edilen güç değerlerinde artış, özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise karışım A ve C yakıtlarında azalma, diğerlerinde ise artış tespit etmişlerdir. Isıl verim değerlerinin karışım B ve D yakıtlarında artma eğiliminde olduğunu, özgül enerji tüketimi değerlerinin ise karışım B'de azalma, ancak diğer karışımlarda hemen hemen dizel yakıtı ile benzer sonuçlar verdiklerini ifade etmişlerdir.

Çelebi ve Aydın (2018), D100 (%100 dizel yakıtı), B100 (%100 aspir biyodizeli), yakıtları ile dizel, aspir biyodizeli ve n-bütanolü kullanarak hazırladıkları D50-B50 (%50 dizel, %50 aspir biyodizeli), B90-Bu10 (%90 aspir biyodizeli, %10 bütanol), B80-Bu20 (%80 aspir biyodizeli, %20 bütanol), D45-B45-Bu10 (%45 dizel, %45 aspir biyodizeli, %10 bütanol) ve D40-B40-Bu20 (%40 dizel, %40 aspir biyodizeli, %20 bütanol) yakıt karışımlarının yanma özelikleri, motor performansı ve emisyon değerlerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Yakıt ve karışımlarına ait motor denemelerini bir elektrik jeneratörünü çalıştırmak için kullanılan 4 silindirli, 4 zamanlı, doğrudan enjeksiyonlu bir dizel motorda 1500 d dak^{-1} sabit motor devrinde gerçekleştirmişlerdir.

Araştırma sonuçlarına göre; D45-B45-Bu10 ve D40-B40-Bu20 üçlü karışım yakıtlarının diğer yakıt ve karışımlarına nazaran daha düşük emisyon değerleri gösterdiğini, ayrıca dizel yakıtına göre, ısıl verim değerlerinde %1.5 kadar, ortalama özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise sırasıyla %5 ve %4 oranında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, biyodizele n-butanolün eklenmesiyle dizel yakıttan daha yüksek egzoz gazı sıcaklığı elde edildiğini, ancak dizel ve biyodizel karışımlarına n-butanol ilavesiyle egzoz gazı sıcaklığının önemli ölçüde azaldığını belirlemişlerdir.

Gürsoy ve ark. (2018), Ankara koşullarında, aspir vejetasyon döneminde (nisan-ağustos) Ayaz ve Linas aspir türlerinin farklı sıra üzeri (20,30 ve 40 cm) ve sıra arası (5,10 ve 15 cm) mesafelerde verim ve verim öğelerinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Araştırma sonuçlarına göre;

- En kısa bitki boyunun (101.8 cm) 30×15 cm ekim sıklığında ekilen Ayaz çeşidinde, en uzun bitki boyunun ise (126.1 cm) 30×10 cm ekim sıklığında yetiştirilmiş olan Linas çeşidinden elde edildiğini,

- Ana sapa bağlı yan dal sayısının, en az ve en çok olarak sırasıyla 8.80 adet ile 40x15 cm ve 12.67 adet ile 30×10 cm bitki sıklığında Ayaz çeşidinde belirlendiğini,
- Bitkideki tabla sayısının, en düşük 18.73 adet (40x15 cm) ve en yüksek 36 adet (30×10 cm) ile Linas çeşidinde görüldüğünü,
- Tablada tohum sayısının, en az 18.57 adet ile 20×5 cm bitki sıklığında ekilen Ayaz çeşidinde, en fazla 47.17 adet ile 30×10 cm mesafede ekilen yine Ayaz çeşidinden elde edildiğini,
- Bitki başına tohum veriminin, en düşük 18.67 g (20×5 cm) ve en yüksek 46.53 g (30×10 cm) ile Ayaz çeşidinde görüldüğünü,
- En düşük tohum veriminin dekara 104.0 kg (40×15 cm) ile Linas, en yüksek tohum veriminin ise 157.7 $kg.da^{-1}$ (30×10 cm) değeri ile Ayaz çeşidinden elde edildiğini,
- En düşük ve en yüksek yağ oranlarının sırasıyla %37.03 (30×15 cm) ve %47.90 (30×10 cm) değerleriyle Ayaz çeşidinde gerçekleştiğini belirlemişlerdir.

Mohammed (2018), kenevir yağı biyodizelini (B), dizel (D) ve bütanol (But) ile karıştırarak ikili ve üçlü karışım yakıtları elde etmiştir. B20D80, B5But15D80, B10But10D80, B15But5D80, But20D80 karışımlarının UV-Vis, FT-IR, TGA ve DSC özelliklerini incelemiştir. Fren gücü, özgül yakıt tüketimi, tork, egzoz gazı sıcaklığı, hidrokarbonlar (HC), azotoksit ($NO_{x)}$ ve karbonmonoksit (CO) emisyonları gibi parametreleri farklı devirlerde (1000-2500 d dak^{-1}) ve tam yük koşullarında incelemiştir. Kenevir biyodizeline ait tüm yakıt özellikleri (iyot değeri hariç) biyodizel standartlarına uygun olduğunu bulmuştur. Eurodizelle karşılaştırıldığında, tüm karışımlarda güç, tork, HC ve CO emisyon oranlarında azalmanın görüldüğünü, NO_x emisyonları, özgül yakıt tüketimi ve egzoz gazı sıcaklıklarında ise artış görüldüğünü bildirmiştir.

Nanthagopal ve ark. (2018), 1-pentanol ve 1-bütanol'ü hacimce %40, %50 ve %60 oranlarında Calophyllum Inophyllum biyodizeli (CI) ile karıştırmak suretiyle 1P40-CB60 (%40 1-pentanol, %60 biyodizel), 1P50-CB50 (%50 1-pentanol, %50 biyodizel), 1P60-CB40 (%60 1-pentanol, %40 biyodizel), 1B40-CB60 (%40 1-bütanol, %60 biyodizel), 1B50-CB50 (%50 1-bütanol, %50 biyodizel), 1B60-CB40 (%60 1-bütanol, %40 biyodizel), karışım yakıtlarını elde etmişlerdir. Karışım yakıtlarının dizel motordaki etkilerini belirlemek için deneyleri tek silindirli, dört zamanlı ve sabit hızda bir dizel

motorda gerçekleştirilmişler ve deney sonuçlarını saf dizel ve biyodizel yakıtlarıyla karşılaştırılmışlardır. Alkol ve biyodizel karışımları ile dizel motorun dizel yakıtına kıyasla daha düşük ısıl verim ve daha yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri gösterdiğini, öte yandan karışımlardaki yüksek alkolün soğutma etkisi ve yüksek gizli buharlaşma sıcaklıklarından dolayı azot oksit (NO_x) emisyonu değerleri ile birlikte karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM) emisyonlarını düşürdüğünü tespit etmişledir. Calophyllum Inophyllum biyodizeline yüksek alkol (1-bütanol ve 1-pentanol) eklenmesi, saf biyodizel ile karşılaştırıldığında NO_x emisyonlarını düşürdüğünü ancak diğer emisyon ve performans özelliklerini kötü etkilediğini bildirmişlerdir. Bu nedenle, performans ve emisyon özelliklerini iyileştirmek için yüksek alkolün düşük oranlarda karıştırılabileceğini ifade etmişlerdir.

Wei ve ark. (2018), atık kızartma yağından elde ettikleri biyodizeli, etanol ve n-bütanol ile hacimce faklı oranlarda karıştırarak BE5 (%5 etanol, %95 biyodizel), BE10 (%10 etanol, %90 biyodizel), BE15 (%15 etanol, %85 biyodizel), BBu5 (%5 bütanol, %95 biyodizel), BBu10 (%10 bütanol, %90 biyodizel) ve BBu15 (%15 bütanol, %85 biyodizel) yakıtlarını elde etmişlerdir. Motor denemelerini 5 motor yükünde (28, 84, 140, 196 ve 224 Nm) ve sabit motor devrinde (1800 d dak^{-1}), doğrudan enjeksiyonlu bir dizel motorda gerçekleştirerek yakıtların yanma özellikleri ve motor performansı ve emisyonlara etkilerini dizel yakıtına göre değerlendirmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre;

- Harmanlanmış yakıtların, özellikle düşük yükte motor performansı üzerinde olumsuz etkilerinin olduğunu ve bu olumsuz etkinin bütanol katkılı karışımlara (BBu) göre etanol katkılı karışımlarında (BE), daha fazla olduğunu,
- 5 motor yükünün ortalamalarına göre, karışımlara bütanol (BBu) ve etanol (BE) ilavesinin, sırasıyla karbonmonoksit (CO) emisyonunu %13.7 ve %22.8, hidrokarbon (HC) emisyonunu %5.6 ve %29.2 oranında artırdığını, buna karşılık azot oksit (NO_x) emisyonunu %6.5 ve %28, parçacık kütle konsantrasyonunu %20.7 ve %20.6 ve parçacık sayısı konsantrasyonunu ise %22 ve %21 oranında düşürdüğünü, genel olarak yakıtlara etanol (BE) ilavesinin partikül madde (PM) ve azotoksit (NO_x) emisyonlarının azaltılmasında daha etkili olduğunu, ancak bütanol ilavesinin (BBu) yakıtların karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarında daha az artışa sebep olduğunu ifade etmişlerdir.

Yeşilyurt ve ark. (2018) ED (%100 dizel yakıt), B (sarı hardal tohumu yağı biyodizeli), Bt (1-bütanol) ve P (n-pentanol)'ü kullanarak B2Bt5 (%93 dizel, %2 biyodizel, %5 1-bütanol), B2B10 (%88 dizel, %2 biyodizel, %10 1-bütanol), B20Bt5 (%75 dizel, %20 biyodizel, %5 1-bütanol), B20Bt10 (%70 dizel, %20 biyodizel, %10 1-bütanol), B2P5 (%93 dizel, %2 biyodizel, %5 1-pentanol), B2P10 %88 dizel, %2 biyodizel, %10 1-pentanol), B20P5 (%75 dizel, %20 biyodizel, %5 1-pentanol) ve B20P10 (%70 dizel, %20 biyodizel, %10 1-pentanol) yakıt karışımlarını hazırlamışlardır. Karışımları farklı motor devirleri ve tam yük çalışma koşulları altında tek silindirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda denemek suretiyle, karışım yakıtlarına ait belirledikleri yanma özellikleri, motor performansı ve egzoz emisyonları değerlerini dizel yakıtına ait sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Karışım yakıtlarındaki alkol miktarı arttıkça fren gücü ve tork değerlerinde dizel yakıtına göre azalma, özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise %0.77 ile %8.07 arasında bir artış olduğunu bildirmişlerdir. Yakıtlara ait emisyon değerleri sonuçlarına göre, alkol karışımlı yakıtların dizel yakıtına kıyasla düşük egzoz gazı sıcaklığı ve karbondioksit (CO_2), içeriklerindeki yüksek oksijen içeriği nedeniyle ise yüksek oksijen (O_2) emisyonu değerleri gösterdiklerini, ayrıca yakıtlara faklı hacimlerde ilave edilen alkollerin emisyon değerlerinden azotoksiti (NO_x) %0.56 ile %2.65, karbonmonoksiti (CO) %6.90 ile %32.40 ve partikül madde (PM) yoğunluğunu ise %10.47 ile %44.43 arasındaki oranlarda düşürdüğünü ifade etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar n-pentanol ile harmanlanmış yakıtların, 1-bütanol ile harmanlanan yakıtlara göre daha iyi motor performansı ve emisyon sonuçları gösterdiğini bildirmişlerdir. Karışımlara alkol ilavesinin, düşük motor devirlerinde maksimum silindir iç basıncını ortalama %1.38 artırdığını, yüksek motor devirlerinde ise %3.75'e varan azalışlara neden olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarının sonucunda, yüksek alkollerin (n-pentanol ve 1-bütanol), motor performansını olumsuz yönde etkilediğini, emisyonları iyileştirmek için dizel motorlarda biyodizel-dizel karışımlarında alternatif katkı maddeleri olarak kullanılabileceği önerisinde bulunmuşlardır.

Yılmaz ve ark. (2018), dizel yakıtı (D), atık yağ biyodizeli (B), soya yağı (VO) ile propanol (Pro) ve pentanol (Pen) gibi yüksek alkol grubuna giren alkolleri kullanarak DB (%50 dizel, %50 biyodizel), DBVOPro (%40 dizel, %40 biyodizel,%10 soya yağı, %10 propanol) ve DBVOPen (%40 dizel, %40 biyodizel, %10 soya yağı, %10 pentanol) karışım yakıtlarını elde etmişlerdir. Elde ettikleri yakıtların bazı yakıt özellikleri (yoğunluk, kinematik viskozite, ısıl değer, setan sayısı, parlama noktası) ile motor

performansı ve egzoz emisyonu değerlerini incelemişlerdir. Karışım yakıtlarına ait motor performansı ve egzoz emisyon testlerini, 4 silindirli, 4 zamanlı bir dizel motorda, 1800 d dak^{-1} sabit motor hızında ve çeşitli yüklerde (0, 3, 6, 9 kW) gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacıların, yakıt ve karışımlarına ait belirledikleri yakıt özellikleri ASTM D6751 standartı ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Yakıt ve karışımlarına ait bazı yakıt özellikleri

Parametreler	ASTM D6751	Dizel	Biyodizel	Soya yağı	Propanol	Pentanol	DB	DBVOPro	DBVOPen
Yoğunluk 25ºC (kg m^{-3})	0.880	0.818	0.855	0.920	0.804	0.815	0.836	0.841	0.843
Kin. viskozite (mm^2 s^{-1})	1.9-6.0	2.95	4.57	33.1	2.41	2.89	3.67	4.4	4.36
Setan sayısı	≥47	54	52	38	12	20	53.1	47.3	48.1
Isıl değer (Mj kg^{-1})	-	44.8	40.5	37.3	29.82	34.94	42.62	40.90	41.34
Parlama noktası (ºC)	100-170	70	126	315	22	49	-	-	-

Motor testi sonuçlarına göre, DBVOPro karışım yakıtına ait ortalama özgül yakıt tüketimi değerlerinin, tüm motor yüklerinde DB ve DBVOPen yakıtları ile karşılaştırıldığında artış gösterdiğini, DB harmanına kıyasla, DBVOPro yakıtının %11.9 azalma ile en iyi azot oksit (NO_x) sonuçlarını verdiğini, bununla birlikte her bir yüksek alkolün DB'ye ilave edilmesinin karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarının oluşumunu arttırdığını belirlemişlerdir.

Karaboğa (2019), atık hamsi yağından transesterifikasyon yöntemi ile ürettiği hamsi yağı biyodizeli (B) ile motorin (M), etanol (E) ve bütanolü (Bü) hacimce farklı oranlarda karıştırarak M80B20 (%80 dizel, %20 biyodizel), M75B20E5 (%75 dizel, %20 biyodizel, %5 etanol), M70B20E10 (%70 dizel, %20 biyodizel, %10 etanol), M65B20E15 (%65 dizel, %20 biyodizel, %15 etanol), M75B20Bü5 (%75 dizel, %20 biyodizel, %5 bütanol), M70B20Bü10 (%70 dizel, %20 biyodizel, %10 bütanol) ve M65B20Bü15 (%65 dizel, %20 biyodizel, %15 bütanol) karışım yakıtlarını elde etmiştir. Karışım yakıtlarını, dizel yakıtına göre yakıt özellikleri, motor performansı ve egzoz emisyon değerlerindeki değişimler açısından değerlendirmiştir. Motor testlerini turboşarjlı, 4 silindirli, 4 zamanlı bir dizel motorda gerçekleştirmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, tüm yakıtların yakıt özelliklerinin standartlarla uyumlu olduğunu açıklamıştır. Tüm yakıt ve karışımlarına ait yoğunluk değerlerini 835.0 ile 895.1 kgm^{-3}, kinematik viskoziteleri 2.66 ile 4.55 mm^{2}s^{-1} ısıl değerleri 39.72 ile 46.33 MJ kg^{-1}, su içerikleri 17.88 ile 452.37 ppm, bulutlanma, SFTN ve akma noktaları

sırasıyla -6.5 ile 8 ºC -16 ile 7 ºC, -26 ile 6 ºC ve setan sayıları 44.14 ile 53.71 arasında belirlemiştir. Motor performans değerlerinde, maksimum motor gücü ve motor torku ile minimum özgül yakıt tüketimi değerlerini sırasıyla 2200 d dak^{-1} motor devrinde 80.1 BG, 1300 d dak^{-1}'de 321.03 Nm ve 1400 d dak-^{1}'de 190.54 g BGh^{-1} değerleri ile M100 yakıtında tespit etmiştir. Tüm yakıt ve karışımlarına ait emisyon değerlerinden oksijeni (O_2) %6.73 ile %19.89, azot oksit (NO_x) 81ppm ile 1279 ppm, karbondioksiti (CO_2) %1.45 ile %11.27 ve hidrokarbonu (HC) ise 0 ppm ile 38 ppm arasında belirlemiştir.

Kobuk ve ark. (2019), 8 aspir hattı (BAY-ER 1,2,5,6,12,15,16 ve17) ve 5 çeşit aspir tohumunun (Dinçer, Linas, Balcı, Olas ve Remzibey) bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, Aspir hat ve çeşitlerinin fiziksel özelliklerinin benzerlik gösterdiğini, kimyasal özellikleri bakımından ise çeşit ve hatların yağ içeriklerinin %25.78 ile %35.16 arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, en yüksek yağ içeriğinin %35.16 ile BAY-ER 15 hattında gerçekleştiğini, bunu %34.90 değeri ile Olas, %34.10 ile Linas ve %33.07 ile BAY-ER 5 genotiplerinin izlediğini belirlemişlerdir.

Araştırmacılar tarafından deneme materyali aspir çeşitlerine ait belirlenen bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 2.4 ve Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Aspir çeşitlerine ait tohumların uzunluk (H), genişlik (W), kalınlık (T), geometrik ortlama çap (D_g), küresellik (S_p), en-boy oranı (R_a), yüzey alanı (S), hacim ağırlığı (H_a) ve 1000 tane ağırlığı (P) değerleri

Çeşit/hat	H (mm)	W(mm)	T(mm)	D_g(mm)	S_p(%)	R_a	S(mm^2)	H_a(g L^{-1})	P (g)
Dinçer 5-118	7.37	4.33	3.58	4.85	65.82	0.59	74.11	580.87	42.40
Remzibey-05	8.31	4.29	3.68	5.08	61.15	0.52	81.33	576.37	41.60
Balcı	7.57	3.99	3.32	4.64	61.39	0.53	67.85	555.90	40.20
Linas	7.72	4.04	3.27	4.67	60.56	0.52	68.81	537.07	43.85
Olas	8.35	3.90	3.29	4.75	56.93	0.47	70.95	548.80	42.40

Çizelge 2.5. Aspir çeşitlerine ait tohumların kabuk oranı, yağ oranı ve yağ asitleri ortalamaları

Çeşit/hat	Kabuk oranı(%)	Yağ oranı(%)	Palmitik asit(%)	Stearik asit(%)	Oleik asit(%)	Linoleik asit(%)
Dinçer 5-118	52.77±0.10	25.78±0.09	4.96±0.71	1.62±0.71	8.06±1.41	83.04±1.41
Remzibey-05	52.90±2.26	28.73±1.35	5.83±0.71	2.38±0.71	13.35±1.41	78.24±1.41
Balcı	45.44±3.46	32.67±3.48	6.80±0.71	2.40±0.71	11.46±0.71	79.17±0.71
Linas	43.19±0.58	34.10±0.82	6.32±0.71	2.92±0.71	16.68±1.41	73.83±1.41
Olas	43.35±2.91	34.90±0.07	5.15±0.70	2.23±0.71	67.09±3.54	23.18±0.71

Yeşilyurt (2020), dizel yakıtına hacimsel olarak %15 oranlarında 1-bütanol, 1-pentanol ve 1-hekzanol alkollerini ekleyerek hazırladığı alternatif yakıtları (Bt15: %15

1-bütanol + %85 dizel yakıtı, Pt15: %15 1-pentanol + %85 dizel yakıtı, Hk15: %15 1-hekzanol + %85 dizel yakıtı) tek silindirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda 1500 d dak^{-1} sabit motor devri ve farklı yüklerde (%25, %50, %75 ve %100) denemiş ve sonuçta bu yakıtlara ait motor performansı, emisyon ve yanma karakteristiklerini referans dizel yakıtı (D100) ile karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda;

- Alkollerin dizel yakıtına göre daha düşük kalori değerlerine sahip olmalarından dolayı alkol karışımlı yakıtların fren termal verimi azalttığını, fren özgül yakıt tüketimini ise yükselttiğini,
- %100 motor yükünde D100, Bt15, Pt15 ve Hk15 yakıtlarının maksimum net ısı salınımı hızlarının sırasıyla 29,55 J o^{-1}, 31,14 J o^{-1}, 32,66 J o^{-1} ve 33,80 J o^{-1}, maksimum silindir basınçlarının ise sırasıyla 46,97 bar, 47,76 bar, 48,41 bar ve 48,91 bar olarak gerçekleştiğini,
- Alkol karışımlı yakıtların düşük setan sayılarından dolayı tutuşma gecikmesi süresini dizel yakıtına göre genel olarak artırdığını, dizel yakıtına alkol ilavesinin CO, HC ve NO_X emisyonları ile egzoz gazı sıcaklıklarını azalttığını, CO_2 ve O_2 emisyonlarını arttırdığını,
- Tüm deneysel sonuçlar genele olarak değerlendirildiğinde ise Hk15 yakıtının motor performansı, emisyon ve yanma bakımından en iyi sonuçları verdiğini vurgulamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Aspir tohumu (*Carthamus tinctorius*) ve yağı

Araştırmada, transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretmek için Linas çeşidi aspir tohumu ve bu tohumdan hidrolik pres yardımıyla elde edilen yağ kullanılmıştır. Linas çeşidi aspir tohumu Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilmiş olup piyasadan temin edilmiştir. Araştırmada kullanılan linas çeşidi aspir tohumlarına ait genel görünüm ile yağa ait bazı yağ kompozisyonu bileşimi değerleri sırasıyla Şekil 3.1 ve Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Aspir tohumu (Linas çeşidi)

Çizelge 3.1. Aspir (Linas çeşidi) yağına ait bazı yağ kompozisyonu bileşimi değerleri*

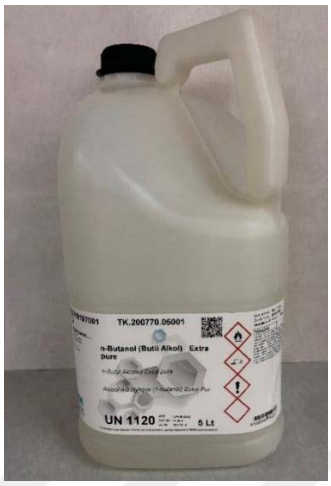
Yağ Asitleri	Değerler (%)
Palmitik asit	6.7
Stearik asit	2.6
Oleik asit	17.9
Linoleik asit	71.3

*Firmadan temin edilen değerlerdir.

3.1.2. n-bütanol

Hazırlanan bazı karışım yakıtlarının içeriğinde hacimsel olarak %5, %10 ve %20 oranlarında yer alan ($M_{85}B_{10}BÜ_5$, $M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN, $M_{75}B_{20}BÜ_5$, $M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN, $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$, $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN) n-bütanol piyasadan temin edilmiştir.

Araştırmada kullanılan n-bütanolün genel görünümü ile bazı kimyasal özellikleri sırasıyla Şekil 3.2'de ve Çizelge 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2. n-bütanol

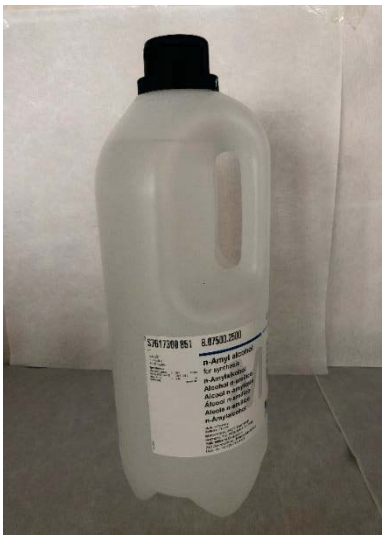
Çizelge 3.2. Araştırmada kullanılan n-bütanole ait bazı kimyasal özellikler

Parametreler	Kimyasal özellikler
Kimyasal formülü	$C_4H_{10}O$
Molekül ağırlığı (g mol^{-1})	74.12
Saflık (%)	99.5
Yoğunluk (20 ºC) (g cm^{-3})	0.80-0.81
Erime noktası (ºC)	-89.5
Kaynama noktası (ºC)	118
Parlama noktası (ºC)	34

3.1.3. n-pentanol

Hazırlanan bazı karışım yakıtlarının içeriğinde hacimsel olarak %5, %10 ve %20 oranlarında yer alan ($M_{85}B_{10}P_5$, $M_{85}B_{10}P_5$+EHN, $M_{80}B_{10}P_{10}$, $M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN, $M_{70}B_{10}P_{20}$, $M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN, $M_{75}B_{20}P_5$, $M_{75}B_{20}P_5$+EHN, $M_{70}B_{20}P_{10}$, $M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN, $M_{60}B_{20}P_{20}$, $M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN) n-pentanol piyasadan temin edilmiştir.

Araştırmada kullanılan n-pentanolün genel görünümü ile bazı kimyasal özellikleri sırasıyla Şekil 3.3'de ve Çizelge 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. n-pentanol

Çizelge 3.3. Araştırmada kullanılan n-pentanole ait bazı kimyasal özellikler

Parametreler	Kimyasal özellikler
Kimyasal formülü	$C_5H_{12}O$
Molekül ağırlığı (g mol^{-1})	88.15
Saflık (%)	98.0
Yoğunluk (20 °C) (g cm^{-3})	0.814-0.815
Erime noktası (°C)	-78
Kaynama noktası (°C)	138
Parlama noktası (°C)	47

3.1.4. 2-Etilhekzil nitrat (EHN)

Hacimce farklı oranlarda motorin/biyodizel/n-bütanol ve motorin/biyodizel/n-pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarının setan sayılarını iyileştirmek amacıyla bu yakıtlara 2000 ppm konsantrasyonunda setan geliştirici 2-etilhekzil nitrat (EHN) ilave edilmiştir. EHN katkılı karışım yakıtlarının ($M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN, $M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN, $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN, $M_{85}B_{10}P_5$+EHN, $M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN, $M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN, $M_{75}B_{20}P_5$+EHN, $M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN, $M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN) hazırlanmasında kullanılan 2-etilhekzil nitrat (EHN) piyasadan temin edilmiştir.

Araştırmada kullanılan 2-etilhekzil nitrat'ın (EHN) genel görünümü ve bazı kimyasal özellikleri sırasıyla Şekil 3.4'te ve Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. 2-etilheksil nitrat (EHN)

Çizelge 3.4. Araştırmada kullanılan 2- etilhekzil nitrata ait bazı kimyasal özellikler

Parametreler	Kimyasal özellikler
Kimyasal formülü	$C_8H_{17}NO_3$
Molekül ağırlığı (g mol^{-1})	175.23
Saflık (%)	97.0
Yoğunluk (20 ^{0}C) (g cm^{-3})	0.963
Parlama noktası (^{0}C)	76.1

3.1.5. Motorin

Motorin, euro dizel olup piyasadan temin edilmiştir. Araştırmada motorin yakıtının kullanımı iki yönlüdür. Bunlar;

- Referans yakıtı (M_{100})
- Hacimce farklı oranlarda karışım yakıtlarında ($M_{85}B_{10}BÜ_5$, $M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN, $M_{75}B_{20}BÜ_5$, $M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN, $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$, $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN, $M_{85}B_{10}P_5$, $M_{85}B_{10}P_5$+EHN, $M_{80}B_{10}P_{10}$, $M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN, $M_{70}B_{10}P_{20}$, $M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN, $M_{75}B_{20}P_5$, $M_{75}B_{20}P_5$+EHN, $M_{70}B_{20}P_{10}$, $M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN, $M_{60}B_{20}P_{20}$, $M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN)

3.1.6. Aspir yağı metil esterinin (biyodizel) üretim aşamasında kullanılan kimyasallar

3.1.6.1. Metanol (metil alkol) ve katalizör

Aspir biyodizelinin (B_{100}) transesterifikasyon yöntemiyle gerçekleştirilen üretim aşamasında piyasadan temin edilen metanol (CH_3OH) ve katalizör olarak da sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

Araştırmada kullanılan metanol (CH_3OH) ve sodyum hidroksit (NaOH)'in genel görünümleri ile bazı kimyasal özellikleri sırasıyla Şekil 3.5 ve Çizelge 3.5'te verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.5. (a) Metanol (CH_3OH) ve (b) sodyum hidroksit (NaOH)

Çizelge 3.5. Metanol (CH_3OH) ve sodyum hidroksite (NaOH) ait bazı kimyasal özellikler

Parametreler	Metanol	Sodyum hidroksit
Kimyasal formülü	CH_3OH	NaOH
Molekül ağırlığı (g mol^{-1})	32.04	40.00
Saflık (%)	99.5	-
Yoğunluk (20 °C) (g cm^{-3})	0.791-0.793	2.13
Erime noktası (°C)	-98	319 - 322
Kaynama noktası (°C)	64.5	-
Parlama noktası (°C)	9.7	-

3.1.7. Dijital kumpas

Aspir tohumlarına ait uzunluk, genişlik ve kalınlık boyutlarının belirlenmesinde 'Mitutoyo' marka CD-15CPX model dijital kumpastan yararlanılmıştır.

Cihaza ait teknik özellikler ile cihazın genel görünümü sırasıyla Çizelge 3.6 ve Şekil 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Dijital kumpasa ait teknik özellikler

Parametreler	Birimi	Değeri
Ölçüm aralığı	mm	0-150
Hassasiyet	mm	0.01
Ağırlık	g	164
Açma/Kapama Tuşu		Var
Ekran		LCD
Sıfırlama		Var



Şekil 3.6. Dijital kumpas

3.1.8. Etüv

Aspir tohumlarına ait nem içeriği değerlerinin belirlenmesinde 'Memmert' marka etüv cihazı kullanılmıştır.

Etüv cihazına ait teknik özellikler Çizelge 3.7'de, cihazın genel görünümü ise Şekil 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Etüv cihazına ait teknik özellikler

Maksimum sıcaklık	+ 300 °C
Hassasiyet	0.1 °C
Ekran	Dijital ve renkli
İç ve dış yapı	Paslanmaz çelik
Hava sirkülasyonu	Doğal veya fanlı



Şekil 3.7. Etüv cihazı

3.1.9. PLC destekli pilot üretim tesisi

Aspir (linas çeşidi) yağı metil esterinin (biyodizel) üretiminde, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü bünyesinde yer alan ve DPT 2004/7 nolu proje (Öğüt ve ark., 2004) kapsamında kurulan PLC *(programlanabilir kontrol cihazı*) destekli pilot üretim tesisinden faydalanılmıştır. Pilot üretim tesisi ve 100 litre üretim kapasitesine sahip olup 10 farklı üniteden oluşmaktadır (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. PLC destekli pilot üretim tesisini oluşturan üniteler

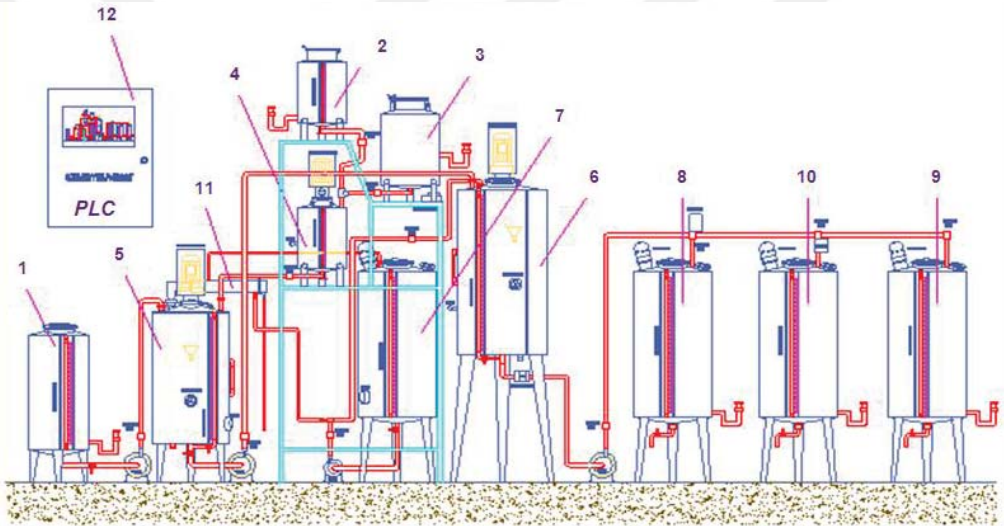
Ünite no	Ünite adı
1	Ham yağ tankı
2	Katalizör tankı
3	Metanol tankı
4	Metoksit tankı
5	Reaktör tankı
6	Su tankı
7	Yıkama tankı
8	Gliserol tankı
9	Biyodizel tankı
10	Atık tankı

Biyodizel üretimi, pilot üretim tesisinde yer alan programlanabilir kontrol sistemi (PLC) ile elle veya otomatik olarak kontrol edilebilmektedir.

Pilot üretim tesisinin genel ve şematik görünüşü ile programlanabilir kontrol sistemi (PLC) sırasıyla Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.8. PLC (Programlanabilir kontrol cihazı) destekli pilot üretim tesisi



1-Ham yağ tankı, 2-Katalizör tankı, 3-Metanol tankı, 4-Metoksit tankı,5-Reaktör tankı, 6-Yıkama tankı, 7-Su tankı, 8-Gliserol tankı, 9-Atık tankı, 0-Biyodizel tankı, 11-Eşanjör, 12-Otomasyon panosu

Şekil 3.9. PLC (Programlanabilir kontrol cihazı) destekli pilot üretim tesisinin şematik görünüşü (Oğuz, 2004b; Öğüt ve Oğuz, 2006)



Şekil 3.10. PLC ekranı

3.1.10. Yakıt özelliklerinin belirlenmesinde faydalanılan laboratuvar ve cihazlar

Motor denemeleri öncesinde tüm yakıt ve karışımlarına (26 adet) ait yakıt özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü bünyesinde yer alan ve DPT 2004/7 nolu proje (Öğüt ve ark., 2004) kapsamında kurulan yakıt analiz laboratuvarından ve laboratuvardaki ölçüm cihazlarından faydalanılmıştır.

3.1.10.1. Yakıt analiz laboratuvarı

Yakıt analiz laboratuvarının genel görünüşü Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Yakıt analiz laboratuvarı

3.1.10.2. Cihazlar

Tüm yakıt ve karışımlarına ait yakıt özelliklerinin belirlenmesinde yakıt analiz laboratuvarında bulunan ölçüm cihazlarından faydalanılmıştır.

Aşağıda ölçüm cihazlarına ait teknik özellikler açıklanmıştır.

3.1.10.2.1. Yoğunluk ölçüm cihazı

Tüm yakıt ve karışımlarına ait yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde kullanılan yoğunluk ölçüm cihazının genel görünümü ile cihaza ait teknik özellikler sırasıyla Şekil 3.12' de ve Çizelge 3.9 da verilmiştir.



Şekil 3.12. Yoğunluk ölçüm cihazı

Çizelge 3.9. Yoğunluk ölçüm cihazına ait teknik özellikler

Markası	Kem Kyoto
Modeli	DA-130N
Ölçüm aralığı (gr cm^3)	0.0000 - 2.0000
Hata sınıfı (gr cm^3)	±0.001
Ölçüm sıcaklığı aralığı (^oC)	0-40

3.1.10.2.2. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

Tüm yakıt ve karışımlarına ait kinematik viskozite değerlerinin belirlenmesi için yakıt analiz laboratuvarında bulunan "Koehler" marka ve 'K23377 model' kinematik vizkozite ölçüm cihazından faydalanılmıştır. Ortam sıcaklığı ile 150^oC arasında değişken çalışma sıcaklığı değerlerine sahip olan cihazın sıcaklık derecesi hassasiyeti 0.01'dir. Cihaz ile ASTM D 445, DIN 51550 ve ISO 3104 standartlarına uygun ölçüm yapılabilmektedir. Şekil 3.13'te kinematik viskozite ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 3.13. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

3.1.10.2.3. Kalorimetre (*kalori ölçüm cihazı*)

Tüm yakıt ve karışımlarına ait kalori değerlerinin (ısıl değer) belirlenmesinde "IKA" marka ve 'C 200' model kalori ölçüm cihazı kullanılmıştır. Maksimum 40.000 joule (J) ölçüm kapasitesine sahip olan kalori tayin cihazı ile DIN 51900, ISO 1928, ASTM D240, ASTM D4809, ASTM D5865, ASTM D1989, ASTM D5468, ASTM E711 standartlarına uygun ölçüm yapılabilmektedir.

Kalori ölçüm cihazının genel görünüşü Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Kalorimetre cihazı

3.1.10.2.4. Hassas terazi

Aspir (linas çeşidi) yağı metil esterinin (biyodizel) üretim aşamasında kullanılan katalizör madde (NaOH) ile tüm yakıt ve karışımlarına ait kalori (ısıl) değerlerinin ve su muhtevası içeriklerinin belirlenmesinde gerekli olan tartım işlemlerinin gerçekleştirilmesinde maksimum kapasitesi ve hassasiyeti sırasıyla 210 gr ve 0.1 mg olan "Denver Instrument" marka hassas terazi kullanılmıştır.

Hassas terazinin genel görünümü Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Hassas terazi

3.1.10.2.5. Parlama noktası ölçüm cihazı

Aspir biyodizeli (B_{100}) ve motorin (M_{100}) yakıtlarının parlama noktalarının ölçümünde yakıt analiz laboratuvarında bulunan "Koehler" marka ve ' K16270' model parlama noktası ölçüm cihazından faydalanılmıştır. Gazla ısıtılan bu cihaz ile ASTM D93, ISO 2719 ve DIN 51758 metotlarına göre ölçüm yapılabilmektedir.

Parlama noktası ölçüm cihazı Şekil 3.16'da görülmektedir.

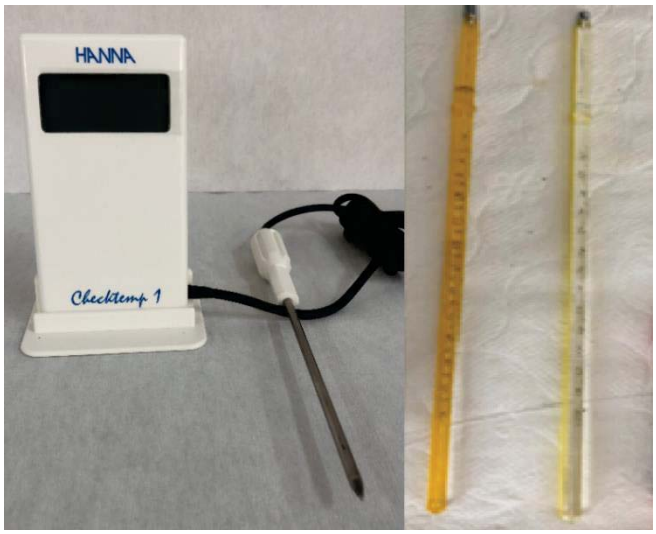


Şekil 3.16. Parlama noktası ölçüm cihazı

3.1.10.2.6. Termometreler

Yakıt analizlerinde gerekli olan sıcaklık ölçümlerinde 0.1ºC hassasiyete sahip ’Hanna Checktemp’ marka dijital termometre ile -5…110°C ve 90…370°C sıcaklık aralıklarında ölçüm yapabilen, 1°C hassasiyetli cıva sütunlu termometreler kullanılmıştır.

Termometrelerin genel görünümü Şekil 3.17’de verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.17. Diğital (a) ve civa sütunlu (b) termometreler

3.1.10.2.7. Bulutlanma ve akma noktaları test cihazı

Tüm yakıt ve karışımlarına ait bulutlanma ve akma noktalarının belirlenmesinde ASTM D97 standardına uygun ölçüm yapabilen "Polyscience" marka cihazdan faydalanılmıştır.

Cihazın genel görünüşü Şekil. 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Bulutlanma ve akma noktaları ölçüm cihazı

3.1.10.2.8. Soğuk filtre tıkanma noktası ölçüm cihazı

Tüm yakıt ve karışımlarına ait soğuk filtre tıkanma noktası değerlerinin (SFTN) tespitinde "Tanaka" marka ve 'AFP-102' model cihaz kullanılmıştır. Soğuk filtre tıkanma noktası ölçüm cihazı ile ASTM D-6371 standartlarına uygun olarak düşük sıcaklıkta dizel yakıtların, biyodizelin ve motor yağlarının akış karakteristiklerini tespit mümkündür. Soğutmalı sirkülatör ünitesi –60 °C'ye kadar kontrol edilebilen cihazda yapılan testlerin sonucu UFD ekran modülü kontrol ünitesinden otomatik olarak alınabilmektedir.

Soğuk filtre tıkanma noktası ölçüm cihazının genel görünümü Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Soğuk filtre tıkanma noktası ölçüm cihazı

3.1.10.2.9. Bakır şerit korozyon test cihazı

Tüm yakıt ve karışımların, bakır ve alaşımları üzerindeki korozif etkilerinin belirlenmesi için ASTM D 130, DIN 51759 ve ISO 2160 standartlarına uygun olarak ölçüm yapabilen "Koehler" marka ve 'K 25330' model cihaz kullanılmıştır. Cihazda banyo sıcaklığı kademeli olarak maksimum 190 ± 1 °C'ye kadar artırılabilmektedir.

Bakır şerit korozyon test cihazına ait genel görünüm Şekil 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.20. Bakır şerit korozyonu test cihazı

3.1.10.2.10. Su içeriği ölçüm (*Karl-Fischer titrasyon*) cihazı

Tüm yakıt ve karışımlarına ait su içeriği değerlerinin belirlenmesinde kullanılan cihazının genel görünümü ile teknik özellikleri sırasıyla Şekil 3.21'de ve Çizelge 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.21. Su içeriği ölçüm cihazı

Çizelge 3.10. Su içeriği ölçüm cihazına ait teknik özellikler

Markası	Kem Kyoto Electronics
Modeli	MKC-501
Ölçüm aralığı (mg)	10 - 100
Ölçüm sıcaklığı aralığı (^{o}C)	5-35
Ekran	16 karakterli LCD

3.1.10.2.11. Laboratuvar tipi karıştırıcı

Yakıt karışımları hazırlanırken, karışımı oluşturan yakıtların birbirleriyle homojen bir şekilde karışımını sağlamak için laboratuvar tipi karıştırıcıdan yararlanılmıştır. "Yellow Line" marka "DI 18 Basic" model olan karıştırıcının devir sayısı 50-2000 d dak^{-1} arasındadır. Şekil 3.22'de cihazın görünümü verilmiştir.



Şekil 3.22. Homojenizatör

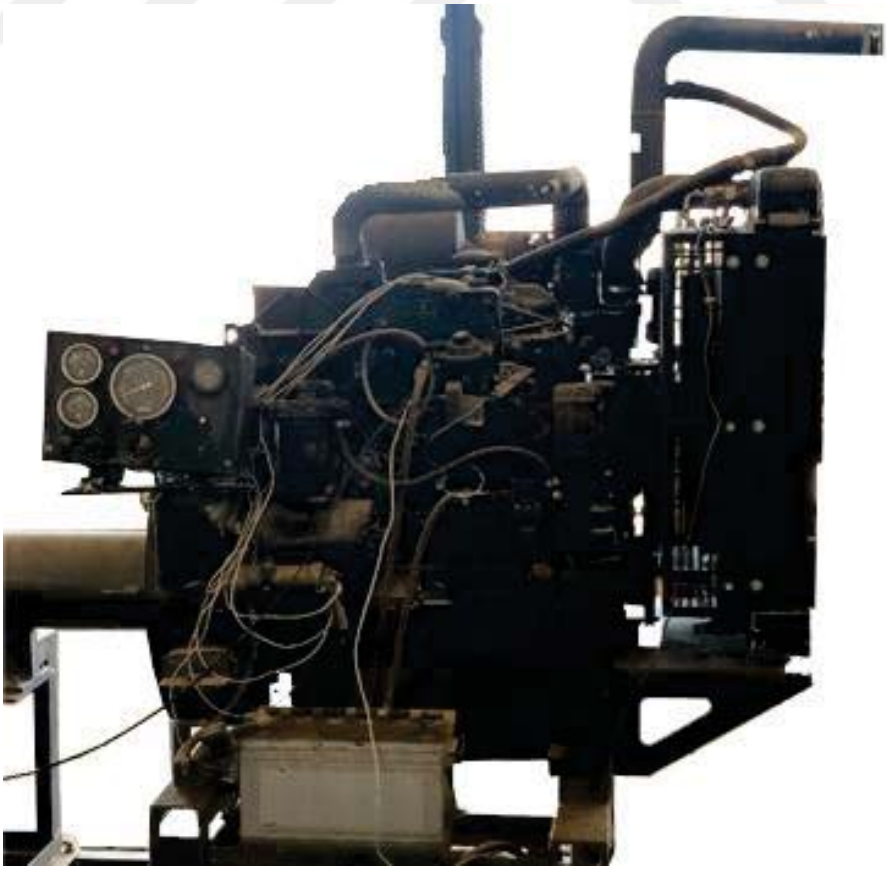
3.1.11. Dizel motor

Araştırmada, 26 adet farklı yakıta ait motor performansı ve egzoz emisyonu testleri 4 zamanlı, 4 silindirli, direkt enjeksiyonlu ve turboşarj sistemine sahip bir dizel motorda gerçekleştirilmiştir.

Denemelerde kullanılan motora ait teknik özellikler ile motorun genel görünüşü sırasıyla Çizelge 3.11 ve Şekil 3.23'te görülmektedir.

Çizelge 3.11. Araştırmada kullanılan dizel motora ait teknik özellikler

Markası ve Modeli	Tümosan 4DT-39T-185C
Anma gücü	85 BG
Maksimum tork	340 Nm
Toplam motor hacmi	3908 cm^3
Çap x Strok	104 mm x 115 mm
Silindir sayısı	4
Minimum özgül yakıt tüketimi	160 g/BGh
Aspirasyon	Turboşarj
Silindir başına valf sayısı	2
Sıkıştırma oranı	17:01
Yanma sistemi	Direkt Enjeksiyon
Soğutma sistemi	Su Soğutmalı



Şekil 3.23 Denemelerde kullanılan dizel motor

3.1.11.1. Motor test düzeneği

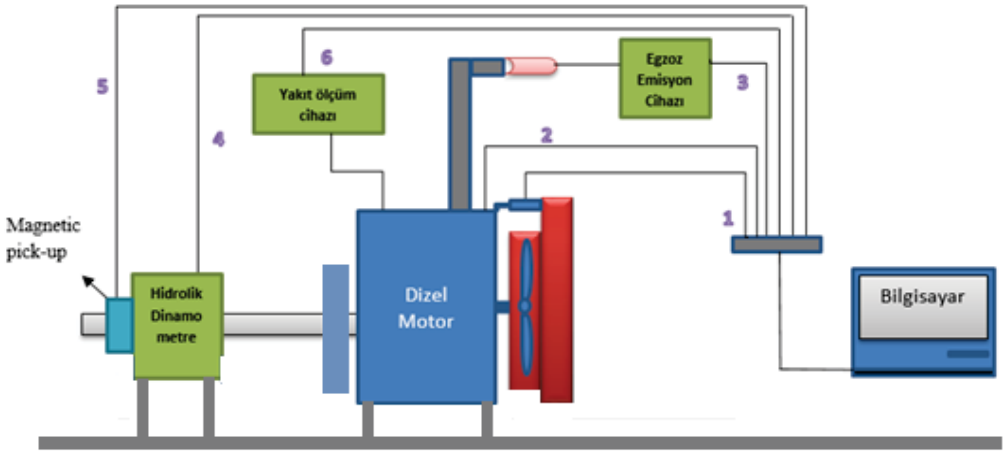
Motorin, üretilen aspir biyodizeli ve karışım yakıtlarına ait motor performansı ve egzoz emisyon değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan motor deneyleri, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü bünyesindeki motor test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.

Test düzeneği;

- Motor
- Hidrolik dinamometre
- Magnetic pick-up
- S tipi load cell
- Yakıt ölçüm cihazı
- Egzoz emisyon
- Kontrol cihazından oluşmaktadır.

Test düzeneği ile motora ait devir, tork ve güç değerleri ve bunlara ilaveten yakıt tüketimi, motor yağı basınç ve sıcaklığı, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklığı, motor soğutma suyu debisi ve egzoz gazı sıcaklığı değerleri ölçülerek veriler gerçek zamanlı olarak bilgisayara kayıt edilebilmektedir.

Şekil 3.24'te motor test düzeneğinde yer alan elemanlar ile bu elemanların motor ile bağlantıları şematik olarak gösterilmiştir.



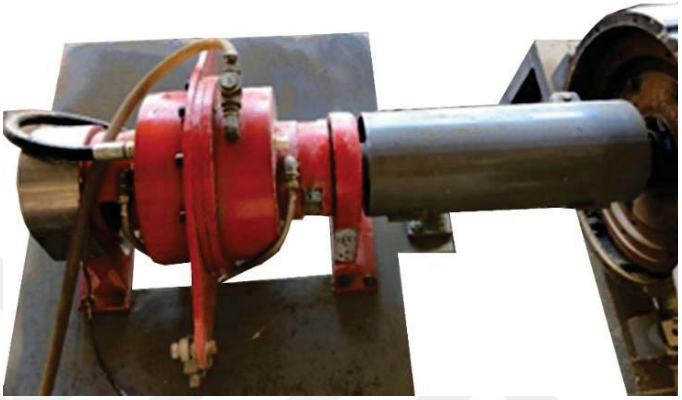
1-Motor suyu sıcaklığı ölçümü
2- Motor yağı sıcaklığı ölçümü
3- Egzoz emisyonları ölçümü
4- Tork ölçümü
5- Devir ölçümü
6- Yakıt tüketimi ölçümü

Şekil 3.24. Motor test düzeneğinin şematik görünüşü

3.1.11.1.1. Hidrolik dinamometre

Motora ait tork, hız ve güç değerlerinin belirlenmesinde stator ve rotor grubundan oluşan hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Rotor ile stator arasında su kullanılmakta ve sistem, harici olarak bir yağlamaya ihtiyaç duymadan çalışmaktadır. Rotor milinin motor volanına irtibatlandırılması kardan mili vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir.

Şekil 3.25'te hidrolik dinamometre görülmektedir.



Şekil 3.25. Hidrolik dinamometre

3.1.11.1.2. Magnetic pick-up

Motor ya da dinamometre devir sayısının ölçümünde magnetic pick-up olarak tanımlanan hız sensöründen faydalanılmıştır. Sabit mıknatıslı algılayıcının (sensör) önünden geçen her bir diş için ileti (pulse) üretilmekte ve birim zamanda üretilen bu iletiler bilgisayara bağlı bir sayıcı ile sayılarak motor devri ölçülebilmektedir.

Magnetic pick-up'ın genel görünümü Şekil 3.26'da verilmiştir.



Şekil 3.26. Magnetic pick-up

3.1.11.1.3. S tipi load cell

Dinamometreye ait tork değerlerinin belirlenmesinde S tipi load cell kullanılmıştır. Motor momenti ya da dinamometre frenleme momenti, tork koluna bağlanan S tipi load cell'e etkiyen kuvvetin ölçülmesi suretiyle belirlenmektedir. Ölçülen değerler bilgisayar ortamına aktarılarak motor gücü hesaplanabilmektedir.

S tipi load cell'in genel görünümü Şekil 3.27'de görülmektedir.



Şekil 3.27. S tipi load cell

3.1.11.1.4. Yakıt tüketimi ölçüm cihazı

Tüm yakıt ve karışımlarına ait motor testlerinde birim zamandaki birim yüke karşılık gelen yakıt tüketimi değerlerinin belirlenmesi amacıyla, kütlesel olarak ölçüm yapma özelliğine sahip olan yakıt tüketimi ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yakıt tüketimi ölçüm cihazı yakıt deposu ile yakıt pompası arasına bağlanmıştır. Deneyler esnasında elde edilen saatlik (g s^{-1}) ve özgül yakıt tüketimi (g BGh^{-1}) değerleri bilgisayar ekranına aktarılabilmekte ve ayrıca test dosyasına kaydedilebilmektedir.

Yakıt tüketimi ölçüm cihazının görünüşü Şekil 3.28'de verilmiştir.

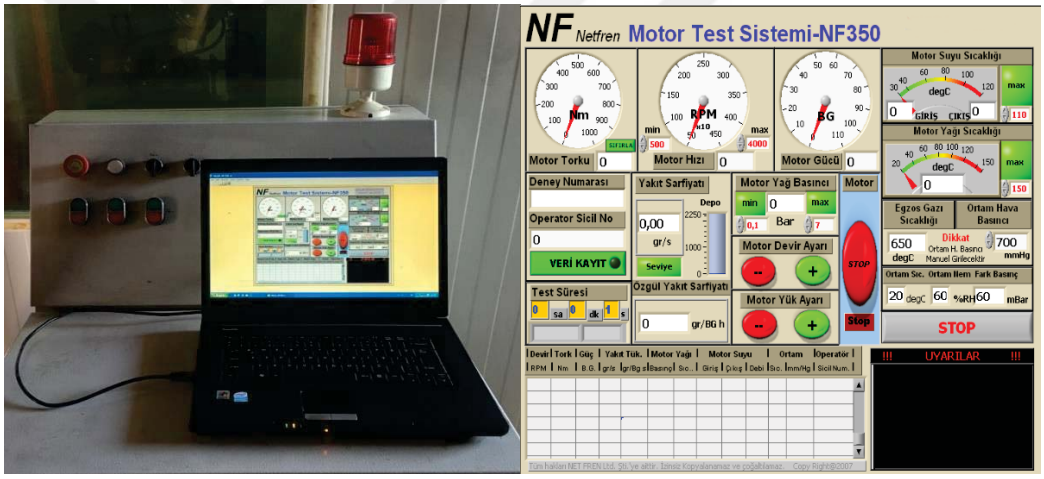


Şekil 3.28. Yakıt tüketimi ölçüm cihazı

3.1.11.1.5. Veri toplama ve kontrol ünitesi

Veri toplama ve kontrol ünitesi, motor denemeleri esnasında sensörler vasıtasıyla iletilen sinyalleri değerlendirmek suretiyle ölçülmesi istenen bütün parametrelerin (motor torku, güç, hız, yakıt sarfiyatı, vb.) belirlenmesinde kullanılan ünitedir. Kontrol ünitesi test edilen motorun hızının ve dinamometre yükünün ayarlanması için gerekli fonksiyonlara sahip olup, ölçülen değerlerin sınır şartların dışına çıkması durumundan önce operatöre uyarı verecek (ikaz lambası), değerlerin tehlikeli sınırlara ulaşması durumunda ise sistemi otomatik olarak durduracak şekilde tasarlanmıştır. Deney motorunun çalıştırılması ve durdurulması ise kontrol panosunda yer alan şalterler aracılığı ile gerçekleştirilmektedir.

Kontrol ünitesi ve kayıt sistemi Şekil 3.29'da gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Veri toplama ve kontrol ünitesi

3.1.11.1.6. Egzoz emisyon ölçüm cihazı

Deneme materyali yakıtlara ait egzoz emisyon ölçümlerinde "Mobydic" marka egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Egzoz emisyon verilerinin cihaza aktarılması egzoz çıkışına takılan bir prob tarafından gerçekleştirilmiştir.

Emisyon cihazına ait teknik özellikler ile cihazın genel görünüşü sırasıyla Çizelge 3.12 ve Şekil 3.30'da, egzoz çıkışına takılan prob ise Şekil 3.31'de görülmektedir.

Çizelge 3.12. Egzoz Emisyon Cihazına ait Teknik Özellikler

Ölçüm Parametreleri	Birim	Ölçüm aralığı
CO	%Vol	0 – 10
CO_2	%Vol	0 – 20
HC	ppmVol	0 - 20000
O_2	%Vol	0 – 21
NO_x	ppm	0 – 5000
SO_2	ppm	0 – 500



Şekil 3.30. Egzoz emisyon ölçüm cihazı



Şekil 3.31. Egzoz çıkışına takılan prob

3.2. Yöntem

Çalışma, aşağıda belirtilen işlem basamaklarından oluşmuştur. Bunlar;

- Motorin ve linas çeşidi aspir tohumlarının piyasadan temin edilmesi,
- Aspir tohumlarından yağ eldesi,
- Aspir yağı metil esteri (biyodizel) üretim aşamasında gerekli olan metanol ve sodyum hidroksit (NaOH)'in piyasadan temin edilmesi,
- Elde edilen ham aspir (linas çeşidi) yağından transesterifikasyon yöntemiyle aspir yağı metil esterinin (biyodizel) üretilmesi,
- Karışım yakıtlarının hazırlanmasında kullanılacak olan alkol yakıtlar bütanol ve pentanol ile setan iyileştirici 2-etilhekzil nitrat (EHN)'ın piyasadan temin edilmesi,
- Hacimce belli oranlarda motorin, biyodizel (%10 ve %20) ve n-bütanol (%5, %10 ve %20) içeren karışımların (M_{85}-B_{10}-$BÜ_5$, M_{80}-B_{10}-$BÜ_{10}$, M_{70}-B_{10}-$BÜ_{20}$, M_{75}-B_{20}-$BÜ_5$, M_{70}-B_{20}-$BÜ_{10}$, M_{60}-B_{20}-$BÜ_{20}$) hazırlanması,
- Hacimce belli oranlarda motorin, biyodizel (%10 ve %20) ve n- pentanol (%5, %10 ve %20) içeren karışımların (M_{85}-B_{10}-P_5, M_{80}-B_{10}-P_{10}, M_{70}-B_{10}-P_{20}, M_{75}-B_{20}-P_5, M_{70}-B_{20}-P_{10}, M_{60}-B_{20}-P_{20}) hazırlanması,
- Hazırlanan tüm yakıt karışımlarına 2000 ppm 2-etilhekzil nitrat (EHN) katkısı ilave edilmek suretiyle EHN ilaveli karışım yakıtlarının elde edilmesi (M_{85}-B_{10}-$BÜ_5$+EHN, M_{85}-B_{10}-P_5+EHN, M_{80}-B_{10}-$BÜ_{10}$+EHN, M_{80}-B_{10}-P_{10}+EHN M_{70}-B_{10}-$BÜ_{20}$+EHN, M_{70}-B_{10}-P_{20}+EHN, M_{75}-B_{20}-$BÜ_5$+EHN, M_{75}-B_{20}-P_5+EHN, M_{70}-B_{20}-$BÜ_{10}$+EHN, M_{70}-B_{20}-P_{10}+EHN, M_{60}-B_{20}-$BÜ_{20}$+EHN, M_{60}-B_{20}-P_{20}+EHN)
- Referans yakıtı motorin, biyodizel ve karışım yakıtlarına ait yakıt özelliklerinin belirlenmesi,
- Referans yakıtı motorin, biyodizel ve karışım yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonları testlerinin gerçekleştirilmesi

3.2.1. Aspir (Linas çeşidi) tohumunun bazı fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Biyolojik materyallere ait teknik özelliklerin belirlenmesi, makinelerin (ekim, dikim, ilaçlama, hasat makineleri vb.) tasarımından yapımına, kullanımından verimlilik ve etkinliklerinin arttırılmasına kadar ve ayrıca hasat sonrası yapılacak işlemlerin (kurutma, ezme, öğütme, paketleme, depolama vb.) etkin bir şekilde uygulanması gibi

pek çok alanda başarılı sonuçlar alınabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Mohsenin ve ark., 1970; Kobuk ve ark., 2019).

Aşağıda araştırmamıza konu olan linas çeşidi aspir tohumunun fiziko- mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan ölçüm metotları açıklanmıştır.

3.2.1.1. Standart boyutlar

Aspir tohumlarının uzunluk, genişlik ve kalınlık değerlerini belirlemek için dijital kumpas kullanılmıştır. Ölçümlerde rastgele seçilen 100 adet tohum kullanılmış olup ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

3.2.1.2. Geometrik ortalama çap ve küresellik

Aspir tohumuna ait geometrik ortalama çap ve küresellik değerlerinin belirlenmesinde aşağıda belirtilen eşitliklerden faydalanılmıştır (Mohsenin ve ark., 1970).

$$D_p = (L_u.W.T)^{1/3} \tag{3.1}$$

D_p= geometrik ortalama çap (mm)

L_u= uzunluk (mm)

W= genişlik (mm)

T = kalınlık (mm)

$$\phi = \frac{(L_u.W.T)^{1/3}}{L_u} \; x100 \tag{3.2}$$

Φ= küresellik (%)

L_u= uzunluk (mm)

W =genişlik (mm)

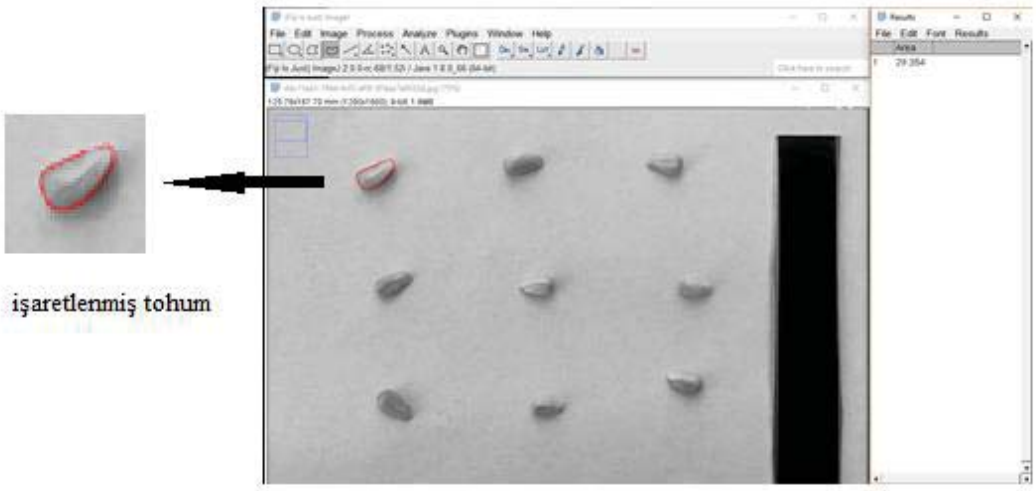
T = kalınlık (mm)

3.2.1.3. Projeksiyon (*izdüşüm*) alanı

Linas çeşidi aspir tohumunun projeksiyon (izdüşüm) alanının belirlenmesinde görüntü işleme tekniğinden faydalanılmıştır. Bu amaçla ‘Canon’ marka dijital fotoğraf

makinesi, 2.4 GHz işlemcili bir bilgisayar ve 'Fiji programı' kullanılmıştır. Rastgele seçilen aspir tohumları beyaz bir zemin üzerine yerleştirilmek suretiyle, bir kalibrasyon yüzeyi ile birlikte uygun ışıkta fotoğrafları çekilmiştir. Görüntüler daha sonra bilgisayara aktarılmış ve 'Fiji' programında işlenerek izdüşüm alanları belirlenmiştir.

Aspir tohumunun projeksiyon alanının belirlenmesinde kullanılan programın ekran görüntüsü Şekil 3.32'de görülmektedir.



Şekil 3.32. Ekran görüntüsü

3.2.1.4. Porozite

Porozite (ε) değerinin hesaplanmasında aşağıdaki verilen eşitlikten faydalanılmıştır (Mohsenin ve ark., 1970; Sacilik ve ark., 2003).

$$\varepsilon = (\frac{\rho_t - \rho_b}{\rho_t})100 \qquad (3.3)$$

ε = Porozite

ρ_t =Gerçek yoğunluk

ρ_b =Yoğunluk

Gerçek hacim ağırlığının (ρ_t) belirlenmesinde, sıvı olarak su yerine toluen tercih edilmiştir (Çekim ve Özarslan, 2020). Yer değiştirme olarak tanımlanan yöntemde sıvı olarak su yerine toluen (C_7H_8) tercih edilmesi, toluenin tohum danelerinin üzerindeki en

küçük boşlukları dahi doldurmaya imkân veren yüzey yoğunluğuna ve daha düşük dağılma kapasitesine sahip olmasından dolayıdır (Özlü ve Güner, 2016).

Aşağıdaki formül ile tohumlara ait gerçek hacim ağırlığı hesaplanmıştır (Çekim ve Özarslan, 2020)

$$\rho_t = (m.d_t)/(m_t) \quad (3.4)$$

ρ_t= gerçek hacim ağırlığı (g cm^{-3})
m= örnek ağırlığı (g)
d_t= toluen yoğunluğu (g cm^{-3})
m_t= tanelerle yer değiştiren toluenin ağırlığı (g)

Tohumlara ait yığın hacim ağırlığının (ρ_b) belirlenmesinde ise 100 ml'lik silindirik ölçekli kap kullanılmıştır. Tohum örneği bu ölçekli kap içerisine dökülmüş, belirlenen kütle ağırlığının (kg) hacime bölünmesiyle hacim ağırlığı belirlenmiştir (Çekim ve Özarslan, 2020).

3.2.1.5. Bin dane ağırlığı

Tohumun bin dane ağırlığını belirleyebilmek için öncelikle numunedeki yabancı maddeler temizlenmiştir. Daha sonra 10 adet numune kabına rastgele seçilen 100'er adet tohumun kütlesi hassas terazi yardımıyla ölçülmüş ve aşağıda verilen eşitlikle tohumun bin dane ağırlığı (m_1), gram cinsinden hesaplanmıştır (Anonim, 2011a).

$$m_1 = \frac{m_t.100}{N_d} \quad (3.5)$$

m_1 = bin dane ağırlığı (g)
m_t = numune miktarı (g)
N_d = sayılan dane sayısı

3.2.1.6. Nem içeriği

Linas çeşidi aspir tohumunun nem içeriğinin belirlenmesinde, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü biyoyakıt analiz laboratuvarında bulunan etüvden faydalanılmıştır. Numunelerin konulacağı petri kapları etüvde 105^{o}C sıcaklıkta 1 saat süreyle kurutulduktan sonra desikatörde soğutulmuş (30 dk) ve daha sonra hassas terazide darası alınmıştır. Daha sonra kaplara yaklaşık 5 g konularak 105^{o}C kurutma havası sıcaklığında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmişlerdir. Kurutma işleminden sonra etüvden çıkarılan örnekler oda sıcaklığına kadar soğumaları için desikatöre yerleştirilmiş ve tekrar hassas terazide tartılmak suretiyle sonuçlar kaydedilmiştir. Nem tayini sonucunda örneklere ait nem içerikleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Yılmaz, 2018).

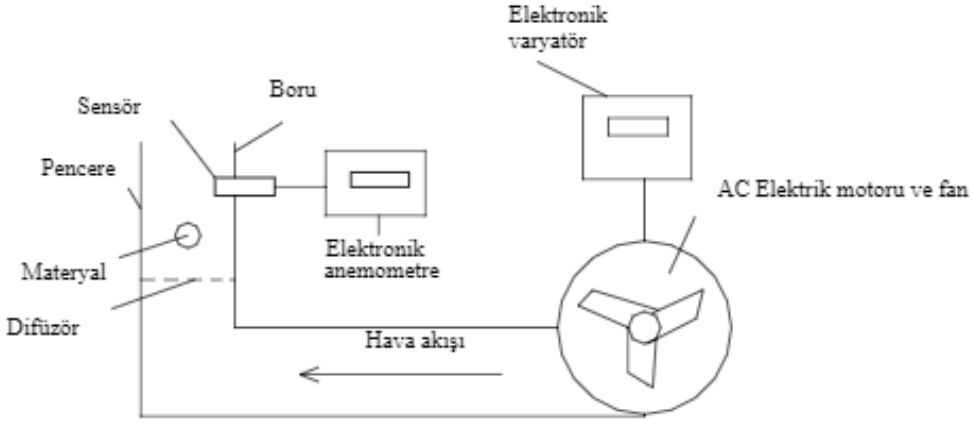
$$\%Nem = (İlk\ tartım - Son\ tartım)/Örnek\ miktarı)*100 \quad (3.6)$$

3.2.1.7. Kritik hız

Araştırmada linas çeşidi aspir tohumlarının kritik hız değerlerinin belirlenmesinde Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan kritik hız ölçme ünitesinden faydalanılmıştır.

Kritik hız ölçme ünitesi;

- Elektronik varyatör
- AC elektrik motoru ve fan
- Hava akış borusu
- Difüzör
- Elektronik anemometre ve sensör kısımlarından oluşmaktadır.



Şekil 3.33. Kritik hız ölçme ünitesi (Marakoğlu ve ark., 2005)

Rastgele seçilen aspir tohumlarının kritik hızlarının (tohumun havada askıda kaldığı hava hızı) ölçümünde hava akış kanalının üst kısmından bir adet tohum akış içersine bırakılmış ve tohum kanal içersinde askıda kalana kadar hava debisi arttırılmıştır. Tohumun askıda kaldığı noktada anemometre aracılığı ile m s^{-1} birimi cinsinden kritik hız değeri ölçülmüş ve kaydedilmiştir (Çekim ve Özarslan, 2020)

3.2.1.8. Kırılma direnci

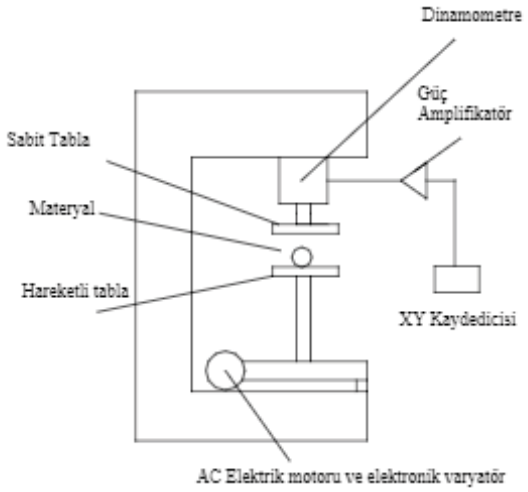
Tohumların kırılma direnci değerlerinin belirlenmesinde Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan biyolojik materyal test ünitesinden faydalanılmıştır.

Biyolojik materyal test ünitesi;

- Sabit ve hareketli tabla
- AC elektrik motoru ve elektronik
- Dinamometre
- Amplifikatör
- XY yazıcı kısımlarından oluşmaktadır.

Test ünitesindeki ölçümlerde daneli ürünler için tablalar (plaka) meyveler için ise silindirik uçlar kullanılmaktadır (Öğüt ve ark., 1992; Eryılmaz, 2009). Linas çeşidi aspir tohumu sabit yükleme hızı (50 mm dak^{-1}) uygulanarak hareketli ve sabit plakalar arasında sıkıştırılmıştır. Ölçüm esnasında tohum üzerine uygulanan kuvvet dinamometre ile amplifikatörden XY yazıcısına kaydedilmiştir.

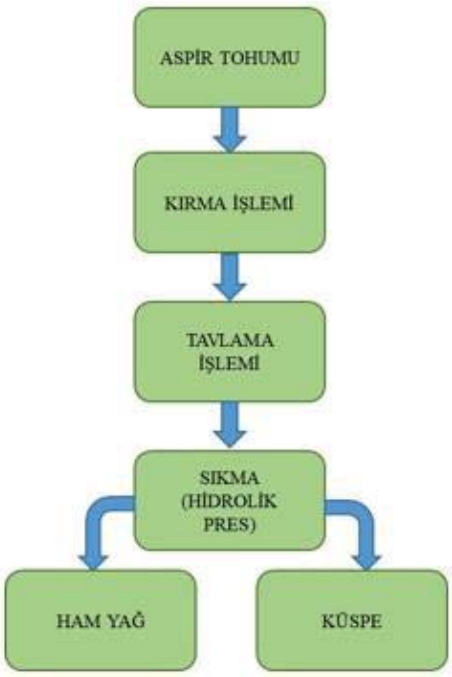
Biyolojik materyal test ünitesinin şematik görünümü Şekil 3.34'te verilmiştir.



Şekil 3.34. Biyolojik materyal test ünitesi (Marakoğlu ve ark., 2005)

3.2.2. Aspir tohumundan yağ çıkarma işlemi

Aspir (linas çeşidi) tohumundan yağ çıkarma işlemi, kırma, tavlama ve sıkma olmak üzere 3 aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.35), Tohumlar, ilk önce kırma makinesinde ön işleme tabi tutulmuş ve daha sonra ısıtılıp tavlı hale getirilmek suretiyle 200 tonluk hidrolik preste soğuk sıkılarak yağı ve küspesi elde edilmiştir (Şekil 36-38).



Şekil 3.35. Aspir tohumlarından yağ elde etme prosesi



a) Kırma makinesi



b) Makineye konulan ürün



c) Kırma işleminden sonra elde edilen ürün

Şekil 3.36. Aspir tohumuna kırma işleminin uygulanması



Şekil 3.37. Tavlama işleminin yapılması



a) Hidrolik presten yağ elde edilmesi



b) Küspe



c) Aspir yağı

Şekil 3.38. Hidrolik presten yağ elde edilmesi, aspir yağı ve küspesi

3.2.3. Aspir yağına ait bazı kimyasal özelliklerin belirlenmesi

3.2.3.1. Ham aspir yağının filtre edilmesi

Aspir (linas çeşidi) tohumlarından hidrolik pres yöntemi ile elde edilen ham aspir yağı, biyodizel üretiminde kullanılmadan önce filtrasyon işleminden geçirilmiştir. Yağın filtre edilmeden önceki ve sonraki durumu ile yağa uygulanan filtrasyon işlemi Şekil 3.39'da görülmektedir.



(a) Filtre öncesi (b) Filtrasyon işlemi (c) Filtre sonrası

Şekil 3.39. Ham aspir yağına uygulanan filtre işlemi

3.2.3.2. Aspir yağı metil esteri (biyodizel) üretimi

Biyodizel üretimi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü bünyesinde yer alan ve DPT 2004/7 nolu proje (Öğüt ve ark., 2004) kapsamında kurulan 100 litre üretim kapasitesine sahip PLC destekli pilot üretim tesisinde transesterifikasyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Biyodizel üretimine ait işlem aşamaları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır;

- Filtre işleminden geçirilen ham aspir yağı [Şekil 3.40.(a)], biyodizel pilot üretim tesisinde bulunan ham yağ reaktöründe, ester veriminin en iyi olduğu reaksiyon sıcaklığı olan 55ºC'ye kadar ısıtılmıştır (Eryılmaz, 2009). 90 lt aspir yağının %20'sine karşılık gelen 18 lt metanol ve katalizör olarak 315 gr (3.5 g lt^{-1}) sodyum hidroksit (NaOH) metoksit tankında karıştırılmak suretiyle daha önce 55ºC reaksiyon sıcaklığına kadar ısıtılmış olan aspir yağına ilave edilmiştir. Aspir yağı ve metoksit (metanol+ NaOH), reaksiyonun gerçekleşeceği reaktör tankında, PLC kontrol ünitesi aracılığıyla 55ºC olan reaksiyon sıcaklığında sabit tutulmak suretiyle 60 dakika boyunca karıştırılmıştır.
- Reaksiyon sonucunda elde edilen iki üründen (biyodizel ve gliserol) biri olan gliserolün çökelti oluşturması için 24 saat süreyle beklenmiştir. Çökme işlemi neticesinde gliserol, aspir biyodizelinden ayrışarak dibe çökmüştür [Şekil 3.40.(b)].

- Elde edilen biyodizel, içeriğindeki alkolün uzaklaştırılması için 70°C'ye kadar ısıtılmış ve 1 saat boyunca karıştırılarak alkol uzaklaştırılmıştır.
- Yıkama tankına alınan biyodizel (50°C), su tankında 50°C'ye kadar ısıtılmış olan saf su ile mistleme (nemlendirme) yöntemi ile yıkama işlemine tabii tutulmuştur. Yıkama işlemi, biyodizel içerisinde kalan yağ asitleri, reksiyona girmeyen alkol, katalizör madde ve ayrıştırma esnasında bünyede kalma ihtimali olan gliserolün uzaklaştırılması için yapılmaktadır (Eryılmaz, 2009)
- Yıkama işleminin tamamlanmasından sonra yıkama suyunun dibe çökmesi için 8 saat süre ile beklenmiş ve bu süre sonucunda elde edilen su, atık su tankına alınmıştır [Şekil 3.40.(c)].
- Dinlendirme/yıkama tankında bulunan ve yıkama suyundan ayrıştırılan biyodizel, içeriğinde su kalma ihtimaline karşın karıştırılmak suretiyle 100°C'ye kadar ısıtılmış ve kalan su buharlaştırılmak suretiyle tanka irtibatı olan bir pompa ile dışarı tahliye edilmiştir (Eryılmaz, 2009).
- 2 saat süre boyunca 100°C sıcaklığındaki biyodizele kurutma işlemi uygulanarak süre sonunda aspir yağı metil esteri (biyodizel) üretimi tamamlanmıştır. Şekil 3.40.(d)'de ham yağdan transesterifikasyon yöntemiyle üretimi gerçekleştirilen aspir yağı metil esteri (biyodizel) görülmektedir.



(a) ham yağ, (b) gliserol, (c) yıkama suyu, (d) aspir biyodizeli

Şekil 3.40. Aspir (linas çeşidi) yağı metil esteri (biyodizel) üretim aşamaları

3.2.3.3. Yakıt karışımlarının hazırlanması

Motorin, biyodizel ve yüksek alkol grubuna giren n-bütanol ve n-pentanol hacimsel olarak belli oranlarda homojenizatör ile homojen bir şekilde karıştırılmak suretiyle EHN ilavesiz karışım yakıtları hazırlanmıştır. Ayrıca hacimsel olarak aynı oranlarda tekrar hazırlanan bu karışım yakıtlarına 2000 ppm setan geliştirici 2-etilhekzil nitrat (EHN) ilave edilerek EHN ilaveli karışım yakıtları elde edilmiştir. Hazırlanan yakıt ve karışımlarının % karışım oranları ile bu yakıtlara ait genel görünüşler sırasıyla Çizelge 3.12 ve Şekil 3.41'de görülmektedir.

Çizelge 3.12'nin incelenmesinden görüleceği üzere kullanım kolaylığı açısından motorin "M" , aspir biyodizeli "B", n-bütanol "BÜ", n-pentanol "P" ve 2-etilhekzil nitrat ise "EHN" şeklinde sembolize edilmiştir. Sembollerin altına indis şeklinde eklenen rakamlar ise yakıtlara ait karışım oranlarını temsil etmektedir.

Çizelge 3.12. Hazırlanan yakıtlar ve % karışım oranları

Yakıtlar	Motorin (%)	Biyodizel (%)	Bütanol (%)	Pentanol (%)	EHN (ppm)
M_{100}	100	-	-	-	-
B_{100}	-	100	-	-	-
$M_{85}B_{10}BÜ_5$	85	10	5	-	-
$M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN	85	10	5	-	2000
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$	80	10	10	-	-
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN	80	10	10	-	2000
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$	70	10	20	-	-
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN	70	10	20	-	2000
$M_{75}B_{20}BÜ_5$	75	20	5	-	--
$M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN	75	20	5	-	2000
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$	70	20	10	-	-
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN	70	20	10	-	2000
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$	60	20	20	-	-
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN	60	20	20	-	2000
$M_{85}B_{10}P_5$	85	10	-	5	-
$M_{85}B_{10}P_5$+EHN	85	10	-	5	2000
$M_{80}B_{10}P_{10}$	80	10	-	10	-
$M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN	80	10	-	10	2000
$M_{70}B_{10}P_{20}$	70	10	-	20	-
$M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN	70	10	-	20	2000
$M_{75}B_{20}P_5$	75	20	-	5	-
$M_{75}B_{20}P_5$+EHN	75	20	-	5	2000
$M_{70}B_{20}P_{10}$	70	20	-	10	-
$M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN	70	20	-	10	2000
$M_{60}B_{20}P_{20}$	60	20	-	20	-
$M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN	60	20	-	20	2000



Şekil 3.41. Araştırmada kullanılan yakıtlar

3.2.4. Yakıt özelliklerinin belirlenmesi

Hazırlanan yakıt ve karışımlarına ait yakıt analizleri, DPT 2004/7 nolu proje (Öğüt ve ark., 2004) kapsamında kurulan ve Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü bünyesinde bulunan yakıt analiz laboratuvarında yapılmıştır. Yakıtlara ait setan sayısı analizleri ise TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'ne (MAM) yaptırılmıştır.

Yakıt analizlerine ait ölçüm aşamaları her bir yakıt özelliği için aşağıda açıklanmıştır.

3.2.4.1. Yoğunluk

Yakıtlara ait yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde öncelikle ölçüm hassasiyeti açısından ölçülecek olan yakıtla yoğunluk ölçüm cihazı temizlenmiştir. Yoğunluk ölçümü değerleri yoğunluk ölçüm cihazı üzerinde bulunan LCD ekrandan g cm^{-3} cinsinden okunarak kaydedilmiştir. Her bir yakıt için yoğunluk ölçümleri 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

3.2.4.2. Kinematik viskozite

Kinematik viskozite ölçüm cihazı, ölçüme başlamadan önce 40°C'ye ayarlanmış ve bu sıcaklıkta sabit hale gelinceye kadar beklenilmiştir. Yakıt ve karışımlarına ait tüm ölçümler 40°C'de gerçekleştirilmiştir. Analizi yapılacak olan yakıt numunesi, cihaz içerisindeki cam ölçüm tüpünün içine konulmuştur. Cam tüpün üzerinde farklı büyüklüklerde balonlar bulunmakta olup ters akış özelliğine göre çalışmaktadır. Balonun dolması pipet ya da puar yardımıyla sağlanmaktadır. Yakıt numunesinin cam tüp üzerindeki iki ölçüm çizgisi arasında geçen akma süresi kronometre yardımıyla ölçülmüştür. Ölçüm değerleri saniye cinsinden kaydedildikten sonra 40°C'deki ölçüm katsayısı ile çarpılmak suretiyle yakıt numunesine ait kinematik viskozite değeri (mm^2 s^{-1}) cinsinden hesaplanmıştır. Her bir yakıt için kinematik viskozite ölçümleri 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

3.2.4.3. Kalori değeri (*ısıl değer*)

Yakıt numunesi 0.1 gram olacak şekilde hassas terazi ile tartılıp, kalori ölçüm cihazı içindeki 'kroze' adı verilen numune kabına alınmıştır. Yakma ipi askı aparatına takılıp kroze içine daldırılarak yakıtla temas etmesi sağlanmıştır. Daha sonra kroze bomba içerisine yerleştirilip ağzı sıkıca kapatılmış ve içerisine 28 bar oksijen basılmıştır. Bomba, kalorimetre cihazın içine yerleştirilip, cihazın su kabına oda sıcaklığında yaklaşık 2 litre su ilave edilmiştir. Gerekli veriler girildikten sonra cihazın kapağı kapatılarak ölçüm gerçekleştirilmiştir. Yakıt numunelerine ait kalori ölçüm değerleri cihaz bilgi ekranında 'cal/g' cinsinden okunmuş ve bu değerler 'MJ kg^{-1}' olarak kaydedilmiştir. Her bir yakıt numunesine ait kalori (ısıl) ölçümleri 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

3.2.4.4. Parlama noktası

Yakıtlara ait parlama noktası değerlerinin belirlenmesi için öncelikle yakıt numunesi, ölçüm cihazına ait deney kabının (120 ml) 75 ml'sinde bulunan ölçü çizgisine kadar doldurulmuştur. Deney kabındaki yakıt numunesi cihaz içerisine yerleştirildikten sonra üzeri kapak ile kapatılmıştır. Kapak üzerindeki karıştırıcı ve ısıtıcı aracılığı ile yakıtın karıştırılması ve ısıtılması sağlanmıştır. Cihaz üzerinde bulunan deney alevi yakılarak numunenin tahmini parlama noktası sıcaklığına yakın derecelerde deney numunesine uygulanmış ve parlamanın oluşup oluşmadığı gözlenmiştir. Her bir yakıt numunesine ait parlama noktası analizleri 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

3.2.4.5. Bulutlanma noktası ve akma noktası

Bulutlanma noktası değeri belirlenecek olan yakıt numunesi deney tüpü (32 x 115 mm) içersine konulmak suretiyle bulutlanma ve akma noktası ölçüm cihazına yerleştirilmiştir. Cihaz tarafından gerçekleştirilen sıcaklık düşüşüne bağlı olarak yakıt numunesinde gerçekleşen değişimin gözlemlenmesi amacıyla tüp cihazdan çıkarılmak suretiyle kontrol edilmiştir. Tüp içersindeki yakıt numunesinin alt kısmında bulutlanmanın gözlemlendiği sıcaklık değeri (^oC) bulutlanma noktası olarak kaydedilmiştir.

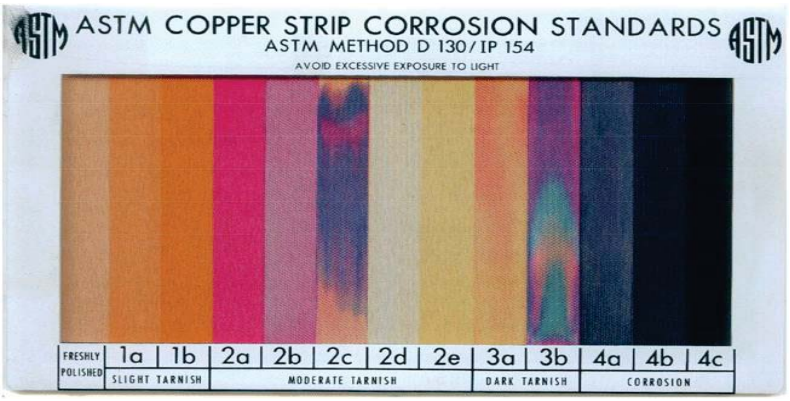
Bulutlanma noktası belirlendikten sonra numune cihazın içerisinde soğumaya devam etmiş ve peryodik kontroller neticesinde yakıt numunesinde akıcılığının olmadığı andaki sıcaklık değeri (ºC) not edilmiştir. Akıcılığın durduğu bu sıcaklık değerine 3°C eklenmek suretiyle test tekrarlanmış ve akıcılığın gözlemlendiği en düşük sıcaklık değeri yakıtın akma noktası olarak belirlenmiştir.

3.2.4.6. Soğuk filtre tıkanma noktası

Deney tüpüne konulan yakıt numunesi (45 ml) soğuk filtre tıkanma noktası (STFN) cihazı içersine yerleştirilmiştir. 20 ml yakıtın 1 dakika süre boyunca geçeceği minimum sıcaklık değeri (ºC) soğuk filtre tıkanma noktası olarak belirlenmiş ve ölçülen değer cihaza ait bilgi ekranından okunarak kaydedilmiştir.

3.2.4.7. Bakır şerit korozyon testi

Bakır şerit korozyon testi amacıyla, cihazın banyo sıcaklığı 50ºC'de sabitlenmiş ve banyodaki bu sıcaklığın homojenliği cihaza ait karıştırıcı ile sağlanmıştır. Yakıt ve karışımlarının korozif etkilerinin belirlenmesinde kullanılan düzgün yüzeyli ve %99.9'dan daha fazla saflıkta olan bakır şeritler (75x12.5x2.5 mm) analiz öncesinde 65µm inceliğe sahip silisyum-karbür zımpara kağıdı ile yüzeyleri parlatılmıştır. Her bir cam deney tüpü (25 x 150 mm) içerisine yakıt numunesi (30 mL) ile birlikte bakır şerit konulmuş ve bunu takiben tüplerin ağzı mantar tıpalarla sıkıca kapatılarak test cihazı banyosuna yerleştirilmişlerdir. Yakıt numuneleri 50ºC'deki banyoda 3 saat süreyle tutulmuşlardır. Süre sonunda deney numunesi yakıtlar içersindeki bakır şeritler pens yardımıyla çıkarılmak suretiyle referans korozyon şeritleri (Şekil 3.42) ile karşılaştırılmış ve renk değişikliği ve korozyon belirtileri bakımından muayene edilmişlerdir. Karşılaştırma sırasında hem referans korozyon şeritleri hem de deney bakır korozyon şeritleri ışığın bakır çubuk korozyonu test cihazında yaklaşık 45º açıyla yansımasını sağlayacak şekilde tutulmuşlardır.



Şekil 3.42. Referans korozyon şeritleri

3.2.4.8. Su içeriği

Yakıt ve karışımlarına ait su içeriklerinin belirlenmesinde 'Karl-Fischer titrasyon yöntemi kullanılmıştır.

Su miktarı tayininde diğer yöntemler göre daha yüksek ve kesin sonuçlar verdiği tespit edilen Karl-Fisher titrasyon yöntemi son zamanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem, numunede bulunan eser miktardaki su ile Karl-Fischer reaktifleri arasındaki iyodimetrik reaksiyona dayanmaktadır. Yakıt ve karışımlarına ait su içerikleri belirlenirken aşağıdaki işlem basamakları takip edilmiştir;

- Şırınga aracılığı ile yakıttan alınan yaklaşık 5 ml yakıt numunesi hassas terazi ile tartılarak ilk değer olarak not edilmiştir.
- Yakıt numunesi, su içeriği ölçme cihazının titrasyon kabına boşaltılmış ve şırınga tekrar tartılmak suretiyle 2. değer olarak not edilmiştir.
- Cihazda titrasyon ile ölçüm işlemi tamamlandıktan sonra sırayla iki değer cihaz bilgi ekranına girilmiştir.
- Sonuçlar cihaz bilgi ekranından ppm (mg kg^{-1}) cinsinden okunup kaydedilmiştir.
- Her bir yakıt numunesine ait su içeriği ölçüm analizleri 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş olup ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

3.2.4.9. Setan sayısı

Yakıt ve karışımların ait setan sayısı ölçümleri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'ne (MAM) yaptırılmıştır. Setan sayısının belirlenmesinde 'Core Lab. CFR

Dresser' marka ve 'Waukesha Dresser' model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ile ASTM D613, TS EN ISO 5165 standartlarına uygun olarak ölçüm yapılabilmektedir.

3.2.5. Motor deney düzeneğinin hazırlanması ve motor deneyleri

Yakıt ve karışımlarına ait motor performans ve egzoz emisyon testleri motor üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmadan yapılmıştır. Motor performans testlerine başlamadan önce motora ait katalog değerleri dikkate alınarak motorun tamir-bakım kontrolleri yapılmıştır. Yapılan kontroller; yağ ve su kaçağı, yağ seviyesi, yakıt pompası, enjektör ayarı, yağ filtresi, kayış gerginlik ve marş motoru kontrollerinden oluşmaktadır (Aydın, 2014a).

Motor deneylerine başlamadan önce deney motoru o deneme için kullanılacak olan yakıt ile 15-20 dakika süreyle çalıştırılmış ve motorun kararlı hale gelmesi sağlanmıştır (Alptekin, 2013).

Deney motoru testlere hazır hale getirildikten sonra yakıt ve karışımlarına ait motor performansı ve egzoz emisyon değerlerini belirlemek amacıyla deney motoruna tam yük-farklı hız testleri uygulanmıştır. Motor performans deneyleri TSE 1231 standardına göre yapılmış olup her bir deney tam yük şartlarında, 100 d dak^{-1} aralıklar ile 2500-1000 d dak^{-1} motor devri aralığında gerçekleştirilmiştir.

Her bir yakıt numunesine ait motor deneyleri 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş olup, tekrarlı deneylerden elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Her bir yakıt için tekrar deneyleri arasında en az 2 saat motorun soğuması için beklenmiştir. Motor deneylerinde başlangıç olarak motorin referans yakıt olarak denenmiş ve daha sonra diğer yakıt çeşitleri için deneylere geçilmiştir (Alpgiray, 2006).

Egzoz emisyon testleri TS 11365 standardına göre yapılmış olup, yakıt ve karışımlarına ait karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2), hidrokarbon (HC), oksijen (O_2) ve azot oksit (NO_x) emisyon değerleri belirlenmiştir.

Emisyon değerleri belirlenirken, motor devri kararlı hale geldikten sonra emisyon değerlerinin de sabit hale gelmesi beklenmiştir. Tüm yakıtlara ait emisyon testleri 3 tekrarlı olarak yapılmış ve değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır (Atmanlı, 2013).

3.2.6. Motor performansı parametreleri

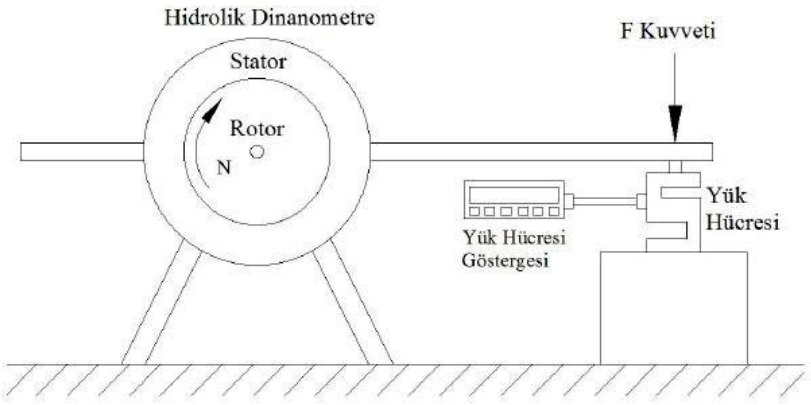
Motor test cihazındaki efektif güç ve moment kullanıcı tarafından herhangi bir hesaplamaya gerek olmadan sistem programı tarafından hesaplanmakta ve ekrana yansıtılmaktadır.

3.2.6.1. Motor momenti

Döndürme momenti bir motorun iş yapabilme yeteneğini göstermektedir. (Özsezen, 2007) Motorun verdiği döndürme momenti (M_d) önce rotora etki etmekte, daha sonra rotor ile stator arasındaki bulunan sıvı vasıtasıyla stator dönmeye çalışmaktadır. Stator üzerinde bulunan kol, yük hücresine baskı yaparak bir devirde 2лr yol boyunca kuvvet uygulamakta, bu kuvvetin oluşturduğu moment ise motorun döndürme momenti olarak ifade edilmektedir (Reşitoğlu, 2010b; Aydın, 2014b).

Motorun döndürme momenti değerleri hidrolik dinamometre vasıtasıyla belirlenmiştir. Motorun dinamometre ile bağlantısı, motor çıkış mili ile hidrolik dinamometrenin rotor flanşı arasına kardan mili ile monte edilmesiyle sağlanmıştır.

Şekil 3.43'te motor test düzeneğinde döndürme momenti ölçümünün şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 3.43. Motor test düzeneğinde döndürme momenti ölçümünün şematik görünümü (Özçelik, 2011)

Döndürme momenti (M_d) aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$M_d = F.L \quad (3.7)$$

M_d = Motor döndürme momenti (Nm)

F= Hidrolik güç freninin moment kolu üzerinden teraziye uyguladığı kuvvet (N)

L= Hidrolik frenin moment kolu uzunluğu (m)

3.2.6.2. Efektif motor gücü

Birim zamanda motorun yanma odasında elde edilen iş indike güç olarak tanımlanmaktadır. Efektif güç ise motordan elde edilen verimli gücün göstergesidir (Özsezen, 2007).

Volandan alınan efektif gücün (P_e) hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten faydalanılmaktadır (Saral, 1992).

$$P_e = \frac{n.M_d}{9549,58}(kW) \quad (3.8)$$

P_e = Efektif güç (kW)

M_d = Döndürme momenti (Nm),

n = Motor devri (d dak^{-1})

3.2.6.3. Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi birim güç başına birim zamanda tüketilen yakıt miktarı olarak tanımlanmaktsdır (Özsezen, 2007) Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır (Saral, 1992).

$$b_e = \frac{B.1000}{P_e} \quad (3.9)$$

b_e = Özgül yakıt tüketimi, (g kWh^{-1})

B = Saatlik yakıt tüketimi, (kg h^{-1})

P_e = Efektif motor gücü, (kW)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Aspir (linas çeşidi) Tohumuna Ait Bazı Fiziksel- Mekanik Özellikler

Tohumlara ait boyut (uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ve aritmetik ortalama çap vb.) ve şekil özellikleri ayırma, toplama, boyutlandırma ve öğütme makinelerinin tasarımında, gerçek hacim ağırlığı, yığın hacim ağırlığı ve bin dane ağırlığı ise depolama yapılarına ait boyutların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Porozite ve yüzey alanı ise yığın halindeki materyalin hava akımına karşı direncini etkilemekte ve bu özelliklerin bilinmesi kurutma işlemleri için de gerekli olmaktadır. Bu bakımdan tohumların boyut, küresellik, projeksiyon alanı, gerçek hacim ağırlığı, yığın hacim ağırlığı, kütle, sürtünme katsayısı ve kritik hız gibi parametrelerin ortaya konulması gerekmektedir (Çekim ve Özarslan, 2020).

Bu amaç doğrultusunda çalışmada, linas çeşidi aspir tohumunun bazı geometrik özellikleri (uzunluk, genişlik, kalınlık, geometrik ortalama çap, küresellik, projeksiyon alanı), gravimetrik özellikleri (bin dane ağırlığı, gerçek hacim ağırlığı, porozite), aerodinamik özellikleri (kritik hız), ve mekanik özellikleri (kabuk kırılma direnci) belirlenmiştir.

Araştırmamıza konu olan Linas çeşidi aspir tohumuna ait bazı fiziko-mekanik özellikler ile bu özelliklerin ortalama değerleri ve standart sapmaları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan aspir (linas çeşidi) tohumuna ait bazı fiziko-mekanik özellikler

Sınıf	Adı	Birimi	Değerler
Geometrik Özellikler	Kalınlık	(mm)	2.99± 0.23
	Genişlik	(mm)	4.01± 0.44
	Uzunluk	(mm)	7.47± 0.63
	Geometrik ortalama çap	(mm)	4.46± 0.26
	Küresellik	(%)	59.94± 3.36
	Projeksiyon alanı	(mm^2)	26.17
Gravimetrik Özellikler	Porozite	(%)	40.68
	Yoğunluk	($g\ lt^{-1}$)	549±9.65
	Bin dane ağırlığı	(g)	39.72± 0.75
Aerodinamik Özellik	Kritik hız	($m\ s^{-1}$)	3.77± 0.27
Mekanik Özellik	Kırılma direnci	($N\ mm^{-2}$)	10.65± 1.43
Kimyasal Özellikler	Nem (yaş baza göre)	(%)	5.3
	Nem (kuru baza göre)	(%)	5.6

Analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde Kobuk ve ark. (2019)'nın çalışması ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Elde edilen verilerdeki küçük farklılıklar, bitkinin yetiştirildiği bölgedeki ekolojik şartların (toprak, iklim vb. faktörler) aynı olmaması ile açıklanabilir.

4.2. Yakıt Özellikleri

4.2.1. Yoğunluk

Yoğunluk değeri, birim hacimdeki yakıtın kütle miktarını ifade etmekte olup, yakıtın yapısı, karbon-hidrojen miktarı, yakıtın parçalanması ve tutuşma kabiliyeti ile ilgili bilgiler vermektedir (Tillem, 2005). Yakıtlarda yüksek yoğunluk ve viskozite değeri, yakıtın enjektör sisteminden istenilen boyutta atomize bir şekilde püskürtülmemesine ve bunun bir sonucu olarak yanma olayını etkileyen tutuşma gecikmesinin süresinin uzaması ile yanmanın kötüleşmesine neden olmaktadır (Akdere, 2006).

Motorin (M_{100}) ve aspir biyodizeli (B_{100}) yakıtlarına ait yoğunluk analiz sonuçları, bu yakıtlarla ilgili standart değerler ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.2'de, motorin (M), aspir biyodizeli (B), n-bütanol (BÜ), n-pentanol (P) ve 2-etilhekzil nitrat (EHN) 'den oluşan karışım yakıtlarına ait sonuçlar ise Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.2'nin incelenmesinden görüleceği üzere araştırmamıza konu olan motorin (M_{100}) ve biyodizel (B_{100}) yakıtlarına ait belirlenen ortalama yoğunluk değerlerinin (M_{100}: 0.830 g cm^{-3}; B_{100}: 0.8885 g cm^{-3}) ilgili standartların sınır değerleri içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Biyodizelin yoğunluk değerinin ilgili standardın (TS EN 14214) üst sınır değeri olan 0.900 g cm^{-3}'ten yüksek çıkması transesterifikasyon işleminde gliserinin yeterince uzaklaştırılamamış olduğunun diğer bir ifadeyle yakıt olarak kullanılmaması gerektiğinin bir göstergesidir. Ayrıca aspir biyodizeline ait yoğunluk değerinin motorine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Özgür (2017) çalışmasında, literatürdeki pek çok çalışmaya göre biyodizellere ait yoğunluk değerlerinin motorin yakıtına göre daha fazla olduğunu bildirmiştir.

Analiz sonuçlarına göre tüm karışım yakıtlarına ait ortalama yoğunluk değerleri 0.8337 g cm^{-3} ile 0.8388 g cm^{-3} arasında belirlenmiş olup, bu değerlerin tamamının TS 3082 EN 590 motorin standardına uygun değerler olduğu (Çizelge 4.3) tespit

edilmiştir. Karışım yakıtlarında, hacimce aynı oranda n-bütanol ve n-pentanol içeren yakıtlar genel olarak karşılaştırıldığında, n-pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarının yoğunluk değerlerinin, n-bütanol ihtiva eden karışımlara göre az da olsa daha yüksek değerler gösterdiği ve ayrıca karışım yakıtlarında alkol oranı (BÜ ve P) arttıkça yoğunluk değerlerinin düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum pentanolün yoğunluk değerinin bütanole göre daha yüksek olmasıyla açıklanabilir. Kumar ve Saravanan (2016) çalışmalarında, pentanolün yoğunluk değerinin (0.8148 g cm^{-3}), bütanole (0.8097 g cm^{-3}) göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca karışım yakıtlarına ilave edilen setan geliştirici 2-etilhekzil nitrat (EHN) katkısının yoğunluğu çok az oranda düşürdüğü görülmüştür. Örneğin $M_{70}B_{10}P_{20}$ karışım yakıtında yoğunluk değeri 0.8368 g cm^{-3} iken bu değer EHN ihtiva eden aynı karışım yakıtında ($M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN) ise az bir düşüşle 0.8342 g cm^{-3} olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar Atmanlı (2016a); İleri (2016) tarafından yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.2. Motorin (M_{100}) ve biyodizel (B_{100}) yakıtlarına ait yoğunluk analiz sonuçları

Yakıtlar	Yoğunluk (15 ºC) (g cm^{-3})	TS EN 14214	TS 3082 EN 590
M_{100}	0.8300	-	0.820-0.845
B_{100}	0.8885	0.860-0.900	-

Çizelge 4.3. Karışım yakıtlarına ait yoğunluk analiz sonuçları

Karışım yakıtları	Yoğunluk değeri (15 ºC) (g cm^{-3})
$M_{85}B_{10}BÜ_5$	0.8379
$M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN	0.8377
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$	0.8368
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN	0.8365
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$	0.8339
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN	0.8337
$M_{75}B_{20}BÜ_5$	0.8384
$M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN	0.8382
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$	0.8375
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN	0.8372
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$	0.8351
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN	0.8348
$M_{85}B_{10}P_5$	0.8388
$M_{85}B_{10}P_5$+EHN	0.8382
$M_{80}B_{10}P_{10}$	0.8375
$M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN	0.8373
$M_{70}B_{10}P_{20}$	0.8347
$M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN	0.8342
$M_{75}B_{20}P_5$	0.8383
$M_{75}B_{20}P_5$+EHN	0.8381
$M_{70}B_{20}P_{10}$	0.8379
$M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN	0.8375
$M_{60}B_{20}P_{20}$	0.8367
$M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN	0.8362

4.2.2. Kinematik viskozite

Kinematik viskozite, bir akışkanın yerçekimi etkisi altında akma eğilimine karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Dizel araçlarda kullanılan yakıtın viskozitesi enjeksiyon pompasının düzgün bir şekilde çalışmasını sağlayacak kadar yüksek olmalıdır. Düşük viskozite, yakıtın kolayca akmasına bağlı olarak yakıt pompasında kaçaklara neden olabilmektedir (Acaroğlu ve ark., 2010). Yüksek viskozite ise enjektörlerde tıkanmalarla başlayıp yakıtın fakir atomizasyonuna ve bunun bir sonucu olarak yanmanın kötüleşmesine, segmanlarda karbon birikimine ve yağlama yağının bozulmasına neden olmaktadır (Oğuz, 2004a; Erol ve ark., 2006).

Motorin (M_{100}) ve aspir biyodizeli (B_{100}) yakıtları ile ham aspir yağına ait kinematik viskozite analiz sonuçları, ilgili standart değerler ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.4'te, hacimsel olarak farklı oranlarda motorin (M), aspir biyodizeli (B), n-bütanol (Bü) veya n-pentanol (P) den oluşan 2-etilhekzil nitrat (EHN) ilaveli veya ilavesiz tüm karışım yakıtlarına ait sonuçlar ise Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre, aspir (linas çeşidi) tohumlarından elde edilen ham aspir yağının, ortalama kinematik viskozite değeri 33.63 $mm^2\ s^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Motorlarda kullanım açısından çok yüksek olan bu viskozite değeri transesterifikasyon yöntemi ile düşürülmüş ve bu yöntemle elde edilen biyodizelin kinematik viskozite değerinin (4.57 $mm^2\ s^{-1}$) biyodizel standart (TS EN 14214) değerler (3.5-5 $mm^2\ s^{-1}$) arasında bulunduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).

Karışım yakıtlarına ait kinematik viskozite değerleri 2.52 ile 2.83 $mm^2\ s^{-1}$ arasında belirlenmiştir. Bu değerler, TSE 3082 EN 590 motorin standardı sınır değerleri (2-4.5 $mm^2\ s^{-1}$) arasındadır. n-bütanol ve n-pentanol içeren tüm karışım yakıtları genel olarak incelendiğinde, pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarının kinematik viskozite değerlerinin, bütanol ihtiva eden karışımlara göre %0.36 ile %8.27 arasında değişen oranlarda daha yüksek değerler verdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, pentanolün viskozite değerinin (2.89 $mm^2\ s^{-1}$) bütanole (2.22 $mm^2\ s^{-1}$) göre daha yüksek olması ile açıklanabilir. Kumar ve Saravanan (2016) pentanol ve bütanolün viskozite değerlerini sırasıyla 2.89 $mm^2\ s^{-1}$ ve 2.22 $mm^2\ s^{-1}$ olarak bildirmişlerdir. Ayrıca tüm karışım yakıtlarında alkol oranı (BÜ ve P) arttıkça vizkosite değerlerinde %0.35 ile %6.88 arasında değişen düşüşlerin olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlar Campos-Fernández ve ark. (2012); Yeşilyurt ve ark. (2018) çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir. Bunlara ilaveten hacimce aynı oranda motorin (M), biyodizel (B) ve alkol (BÜ veya P) içeren karışım

yakıtlarına EHN katkısı ilavesinin kinematik viskozite değerlerini genel olarak çok az miktarda düşürdüğü gözlenmiştir. Bu sonuçlar Atmanlı (2016b); İleri (2016)'nın çalışma sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.4. Motorin (M_{100}) ve biyodizele (B_{100}) ait kinematik viskozite analiz sonuçları

Yakıtlar	Kinematik viskozite ($mm^2\ s^{-1}$)	TS EN 14214	TS 3082 EN 590
M_{100}	2.97	-	2-4.5
B_{100}	4.57	3.5-5	-
Ham aspir yağı	33.63	-	

Çizelge 4.5. Karışım yakıtlarına ait kinematik viskozite analiz sonuçları

Karışım yakıtları	Kinematik viskozite ($mm^2\ s^{-1}$)
$M_{85}B_{10}BÜ_5$	2.81
$M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN	2.80
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$	2.66
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN	2.65
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$	2.54
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN	2.52
$M_{75}B_{20}BÜ_5$	2.81
$M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN	2.76
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$	2.79
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN	2.75
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$	2.62
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN	2.57
$M_{85}B_{10}P_5$	2.83
$M_{85}B_{10}P_5$+EHN	2.82
$M_{80}B_{10}P_{10}$	2.76
$M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN	2.74
$M_{70}B_{10}P_{20}$	2.75
$M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN	2.66
$M_{75}B_{20}P_5$	2.82
$M_{75}B_{20}P_5$+EHN	2.78
$M_{70}B_{20}P_{10}$	2.81
$M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN	2.80
$M_{60}B_{20}P_{20}$	2.71
$M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN	2.70

4.2.3. Kalori değeri (*ısıl değer*)

Yakıtın ısıl değeri (kalori değeri), motorun optimum çalışması açısından önemli bir özellik olup, yakıtın kalitesini gösteren önemli bir kriterdir (Oğuz ve Öğüt, 2005). Diğer bir ifade ile motorun geliştirebileceği güç miktarı, yakıtın silindirlerde yandığı zaman verebileceği kalorifik enerjiye bağlı olmaktadır (Taşyürek, 2005).

Motorin (M_{100}), biyodizel (B_{100}) yakıtlarının ısıl değerleri Çizelge 4.6'da, karışımlara ait ısıl değer sonuçları ise Çizelge 4.7'de ilgili standart sınır değerleri ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelgeden de görüleceği üzere motorin (M_{100}) ve biyodizel (B_{100}) yakıtlarına ait ısıl değerler sırasıyla 45.17 Mj kg^{-1} ve 40.67 Mj kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre aspir biyodizelinin ısıl değeri, motorine göre %9.96 daha düşük bulunmuştur. Altun (2010), biyodizellerin ısıl değerlerinin, yakıtın kaynağına bağlı olarak petrol kökenli motorin yakıtına göre %8-15 arasında daha düşük olduğunu ve bu durumun motorda güç kaybına ve özgül yakıt tüketiminde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir.

Hacimsel olarak farklı oranlarda motorin (M), aspir biyodizeli (B), n-bütanol (Bü) veya n-pentanol (P) den oluşan 2-etilhekzil nitrat (EHN) ilaveli veya ilavesiz tüm karışım yakıtlarına ait sonuçlar ise Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Hacimce aynı oranda n-pentanol (P) ve n-bütanol (BÜ) içeren yakıtlar karşılaştırıldığında n-pentanol içeren yakıtların enerji içeriği değerinin n-bütanol içeren yakıtlara göre bir miktar fazla olduğu ve ayrıca hem n-bütanol ve hem de n-pentanol içeren karışımlarda, alkol konsantrasyonu oranı arttıkça yakıt karışımlarının ısıl değerlerinin azaldığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Nanthagopal ve ark. (2018) 'in çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir. Nanthagopal ve ark. (2018) karışımlardaki alkol konsantrasyonu arttıkça yakıt karışımlarının ısıl değerlerinin azaldığını ve bu durumun, yakıt karışımlarının oksijen içeriğindeki artıştan kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Karışım yakıtlarında hacimsel olarak aynı oranda n-pentanol içeren yakıtlar (Örn; $M_{75}B_{20}P_5$) ile n-bütanol içeren yakıtlar (Örn; $M_{75}B_{20}Bü_5$) karşılaştırıldığında n- pentanollü karışım yakıtlarının n-bütanollü yakıtlara göre enerji içeriklerin daha yüksek çıkması pentanolün bütanole göre daha yüksek enerji içeriğine sahip olması ile açıklanabilir. Kumar ve Saravanan (2016) çalışmalarında, pentanol ve bütanole ait ısıl değerleri sırasıyla 34.65 ve 33.09 Mj kg^{-1} olarak bildirilmiştir.

Bunlara ilaveten hacimce aynı oranda motorin (M), biyodizel (B) ve alkol (BÜ veya P) içeren karışım yakıtlarına 2000 ppm EHN katkısı ilavesinin yakıtların enerji içeriklerini arttırdığı gözlenmiştir. Örneğin $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$ karışım yakıtına ait ısıl değer 42.4 Mj kg^{-1} iken bu yakıta 2000 ppm EHN katkısı ilavesinin ($M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN) yakıtın enerji içeriği değerini yaklaşık %2 oranında (43.21 Mj kg^{-1}) arttırdığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar Imdadul ve ark. (2016a)'nın çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.6. Motorin (M_{100}) ve biyodizele (B_{100}) ait ısıl değer analiz sonuçları

Yakıtlar	Isıl Değer (Mj kg^{-1})	TS EN 14214	TS 3082 EN 590
M_{100}	45.17	-	-
B_{100}	40.67	En az 35	-

Çizelge 4.7. Karışım yakıtlarına ait ısıl değer analiz sonuçları

Karışım yakıtları	Isıl Değer (Mj kg^{-1})
$M_{85}B_{10}BÜ_5$	43.84
$M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN	44.01
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$	43.24
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN	43.43
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$	42.40
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN	43.21
$M_{75}B_{20}BÜ_5$	43.23
$M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN	43.86
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$	42.78
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN	43.31
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$	41.42
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN	42.10
$M_{85}B_{10}P_5$	43.91
$M_{85}B_{10}P_5$+EHN	44.10
$M_{80}B_{10}P_{10}$	43.50
$M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN	43.96
$M_{70}B_{10}P_{20}$	42.68
$M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN	42.77
$M_{75}B_{20}P_5$	43.84
$M_{75}B_{20}P_5$+EHN	43.96
$M_{70}B_{20}P_{10}$	43.64
$M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN	43.84
$M_{60}B_{20}P_{20}$	42.49
$M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN	42.88

4.2.4. Setan sayısı

Motorin yakıtın tutuşabilme kalitesinin bir göstergesi olup yakıtın yanma davranışını, motorun çıkış gücünü ve egzoz emisyonlarını etkileyen en önemli özelliklerden biridir. Motorlarda kullanılan motorinin setan sayısı değerinin çok yüksek veya çok düşük değerde olması motorun çalışmasını etkilediğinden bu değerin belli aralıklarda olması istenmektedir. Ortalama setan sayısı dizel motorlarda 40 ila 60 arasında olmalıdır (Uzun, 2020).

Ham aspir yağından üretilen linas çeşidi aspir biyodizeline (B_{100}) ait setan sayısı değeri 53.6 olarak belirlenmiştir. Aspir biyodizelinin (B_{100}) belirlenen setan sayısı değerinin biyodizel (TS EN 14214) standardının alt sınır değeri olan 51'den (en az 51) daha yüksek olduğu, bu nedenle setan sayısı değeri açısından ilgili standart ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Benzer durum motorin (M_{100}:55.4) yakıtı için de söz konusudur. Her iki yakıta ait setan sayısı değerlerinin karşılaştırılmasında Aktaş ve Şahin (2009);

Özçelik (2011); Keskin (2017); Özgür (2017) tarafından yapılan çalışmalarla benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Hacimsel olarak farklı oranlarda motorin (M), aspir biyodizeli (B), n-bütanol (Bü) veya n-pentanol (P) den oluşan 2-etilhekzil nitrat (EHN) ilaveli veya ilavesiz tüm karışım yakıtlarına ait setan sayısı analiz sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelgenin incelenmesinden görüleceği üzere tüm karışım yakıtlarında bütanol ve pentanol oranındaki artışın (%5, %10 ve %20) setan sayısı değerlerini düşürdüğü ve ayrıca pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarının setan sayılarının, bütanol ihtiva eden yakıtlara göre yaklaşık %0.38 ile %2.84 arasında daha yüksek değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar, Nanthagopal ve ark. (2018)'in yaptığı çalışmanın sonuçları ile benzerlikler göstermektedir. Nanthagopal ve ark. (2018), biyodizel yakıtı ile karşılaştırıldığında 1-bütanol (17) ve 1-pentanolün (20) setan sayılarının düşük olması nedeniyle, alkol içeren karışım yakıtlarının setan sayısında azalmalar görüldüğünü ve ayrıca karışım yakıtlarında alkol oranı arttıkça setan sayısının düştüğünü ifade etmiştirlerdir.

Çizelge 4.8. Karışım yakıtlarına ait setan sayısı analiz sonuçları

Karışım yakıtları	Setan sayısı
$M_{85}B_{10}BÜ_{5}$	52.3
$M_{85}B_{10}BÜ_{5}$+EHN	54.9
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$	51.9
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN	54.7
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$	49.2
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN	49.7
$M_{75}B_{20}BÜ_{5}$	52.1
$M_{75}B_{20}BÜ_{5}$+EHN	55.3
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$	51.3
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN	53.4
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$	48.8
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN	49.3
$M_{85}B_{10}P_{5}$	52.5
$M_{85}B_{10}P_{5}$+EHN	55.8
$M_{80}B_{10}P_{10}$	52.2
$M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN	55.4
$M_{70}B_{10}P_{20}$	49.5
$M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN	50.4
$M_{75}B_{20}P_{5}$	52.5
$M_{75}B_{20}P_{5}$+EHN	55.6
$M_{70}B_{20}P_{10}$	51.5
$M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN	53.9
$M_{60}B_{20}P_{20}$	49.3
$M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN	50.7

Karışım yakıtlarında yüksek oranda alkol ihtiva eden yakıtların (%20 n-bütanol ve %20 n-pentanol) dışındaki tüm yakıtların setan sayısı değerlerinin motorin (TS 3082 EN 590) ve biyodizel (TS EN 14214) standartlarının alt değeri olan 51'in (en az 51) üzerinde çıktığı tespit edilmiştir. Karışımlarda kullanılan alkol oranlarının artmasıyla setan sayılarının bir miktar düştüğü görülmektedir. Atmanlı ve ark. (2015a) yüksek alkollerin motorin yakıtı ile karıştığında yakıtın setan sayısını düşürdüğünü, bu sebeple 2-etilhekzil nitrat (EHN) gibi setan arttırıcı katkı maddelerin kullanılmasının önerildiğini vurgulamışlardır.

Bütanol içeren karışım yakıtlarına EHN katkısının setan sayılarını %1.02 ile %6.15 arasında, pentanol içeren karışım yakıtlarına EHN katkısının ise %1.82 ile %6.29 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Ciniviz ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada yakıtlara 2000 ppm EHN ilavesinin setan sayısını yaklaşık %5.45 arttırdığını ifade etmişlerdir.

4.2.5. Bakır şerit korozyon

Yakıtların bünyesinde bulunan kükürt, su ve asit bileşikleri bakır aksamlarda kararmaya neden olmaktadır. Bakır şerit korozyonu testi, motorun yakıt sisteminde bulunan bronz, pirinç ve bakır parçalarında korozyon oluşturma özelliğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.9. TS 2741 EN ISO 2160 referans korozyon şeritlerinin derecelendirilmesi

Derece	Adı	Tarif[1)]
Yeni parlatılmış şerit	-	-[2)]
1	Hafif renk değişimi	a. Açık turuncu, yeni parlatılmış şerit ile hemen hemen aynı renk b. Koyu turuncu
2	Orta renk değişimi	a. Bordo b. Eflatun c. Eflatun mavisi ve/veya bordo üzerinde yer alan gümüş renginden oluşan karışık renk d. Gümüş rengi e. Pirinç veya altın rengi
3	Koyu renk değişimi	a. Pirinç rengi üzerine morumsu kırmızı kaplama b. Kırmızı ve yeşil görünümlü, içinde gri olmayan karışık renk (tavus)
4	Korozyon	a. Şeffaf siyah, koyu gri veya hafifçe tavus yeşili ihtiva eden kahverengi renk b. Grafit rengi veya parlak olmayan siyah c. Parlak veya kehribar siyahı

[1)] Referans korozyon şeritleri, burada verilen tariflere uygun şeritlerden meydana gelmelidir.
[2)] Yeni parlatılmış şerit, referans korozyon şeritleri arasına sadece deneyden önce, deney şeridinin uygun olarak parlatılıp parlatılmadığının kontrolü için dahil edilmiştir. Bu şerit renginin, korozyon yapmayan bir numune ile deneye tabi tutulsa dahi aynen elde edilebilmesi mümkün değildir.

TS 2741 EN ISO 2160 referans korozyon şeritlerinin derecelendirilmesi Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Yakıtların korozif etkisini belirlenmesinde kullanılan bakır çubuk korozyonu, biyodizel standardı TS EN 14214'e göre en fazla sınıf 1, motorin standardı EN 590'a göre sınıf 1 olarak ifade edilmiştir. Deney yöntemi EN ISO 2160'a göre yapılmaktadır (Eryılmaz, 2009).

Analiz sonuçlarına göre, tüm yakıt ve karışımlarına ait bakır şerit korozyonu 1a sınıfında tespit edilmiş olup, bu değerler standart sınır değer ile uyum içerisindedir.

4.2.6. Su içeriği

Yakıtların bünyelerinde belli oranda su bulundurmaları motor için olumsuz bir durum oluşturmamakta, hatta su/yakıt oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığını ve azotoksit (NO_x) emisyonlarını düşürebilmektedir. Ancak yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su yakıttan ayrılmak suretiyle enjektör sisteminde bölgesel deformasyona neden olabilmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Motorin (M_{100}) ve biyodizel (B_{100}) yakıtlarının su içeriği analiz sonuçları ile karışım yakıtlarına ait sonuçlar sırasıyla Çizelge 4.10 ve 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.10'un incelenmesinden görüleceği üzere motorin (M_{100}) ve biyodizel (B_{100}) yakıtlarına ait belirlenen ortalama su içeriği değerleri (M_{100}: 48.015 ppm; B_{100}: 363.66 ppm) bu yakıtlara ait standartların üst sınır değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Diğer bir ifade ile araştırmamıza konu olan her iki yakıtında, su içeriği bakımından ilgili standartlarla uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Tüm karışım yakıtlarına ait su içeriği değerleri 325 ppm ile 499 ppm arasında değişmiştir. Bu değerlerin TS EN 14214 biyodizel standardının üst sınır değeri olan 500 ppm değerinden daha düşük olduğu ve bu bağlamda tüm karışım yakıtlarının su içeriği açısından biyodizel standardı ile uyumlu olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.10. Motorin (M_{100}) ve biyodizel (B_{100}) yakıtlarına ait su içeriği analiz sonuçları

Yakıtlar	Su İçeriği (ppm)	TS EN 14214	TS 3082 EN 590
M_{100}	48.015	-	en çok 200
B_{100}	363.66	en çok 500	-

Çizelge 4.11. Karışım yakıtlarına ait su içeriği analiz sonuçları

Karışım yakıtları	Su İçeriği (ppm)
$M_{85}B_{10}BÜ_5$	368
$M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN	358
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$	489
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN	470
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$	499
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN	425
$M_{75}B_{20}BÜ_5$	347
$M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN	325
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$	354
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN	347
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$	410
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN	406
$M_{85}B_{10}P_5$	332
$M_{85}B_{10}P_5$+EHN	326
$M_{80}B_{10}P_{10}$	350
$M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN	333
$M_{70}B_{10}P_{20}$	384
$M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN	363
$M_{75}B_{20}P_5$	426
$M_{75}B_{20}P_5$+EHN	397
$M_{70}B_{20}P_{10}$	439
$M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN	403
$M_{60}B_{20}P_{20}$	493
$M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN	461

4.2.7. Parlama noktası

Parlama noktası, sıvı buharının parlayabilir bir atmosfer meydana getirdiği en düşük sıcaklık olarak ifade edilmektedir (Yavuz ve ark., 2008). Bu değer, yakıtların risk sınıflanmasında önemli olup, taşıma ve depolama açısından yakıtların parlama noktası değerlerinin yüksek olması istenmektedir (Öğüt ve Oğuz (2006).

Araştımamıza konu olan motorin (M_{100}) ve biyodizel (B_{100}) yakıtlarına ait parlama noktası ortalama değerleri bu yakıtların ilgili standartlarındaki sınır değerleri ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Motorin (M_{100}) ve biyodizel (B_{100}) yaıtlarına ait parlama noktası analiz sonuçları

Yakıtlar	Parlama Noktası (°C)	TS EN 14214	TS 3082 EN 590
M_{100}	68	-	>55
B_{100}	160	>120	-

Çizelgede görüleceği üzere her iki yakıtın (motorin ve aspir biyodizeli) parlama noktası değerleri bu yakıtların ilgili standartlarındaki sınır değerleri karşılamıştır. Analiz

sonuçlarına göre B_{100} (biyodizel) yakıtına ait parlama noktası değeri (160ºC) M_{100} yakıtının parlama noktası değerine (68ºC) göre daha yüksek bulunmuştur. Oğuz ve Öğüt (2005) biyodizelin parlama noktasının motorine göre daha yüksek olduğunu ve bu durumun biyodizeli taşıma ve kullanımda güvenli yaptığını ifade etmişlerdir.

4.2.8. Soğuk akış özellikleri

Yakıtların soğuk akış özellikleri, bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası ve akma noktası değerleri ile ifade edilmektedir.

*Bulutlanma noktası***,** yakıtın içerisindeki wax (balmumu) kristallerinin çevre sıcaklığının azalmasıyla birlikte görülmeye başladığı sıcaklık değeridir (Yüce, 2008). Bulutlanma noktası sıcaklığının yakıtın kullanıldığı bölgenin minimum sıcaklık değerinden 6°C daha düşük olması istenmektedir (Van Gerpen ve ark., 2004).

Soğuk filitre tıkanma noktası (SFTN), yakıt bulutlanma noktasına ulaştığında oluşan kristallerin kümeleştiği ve belirli bir filtreden akacağı en düşük sıcaklıktır. (Anonim, 2002).

Akma noktası, yakıtın hareket yeteneğini diğer bir tanımlama ile akma özelliğini kaybettiği en düşük sıcaklık değeridir. Yakıtın jelleşmeye başladığı sıcaklık olarak da tanımlanmaktadır (Yüce, 2008).

Motorin (M_{100}) ve biyodizel (B_{100}) yakıtları ile hacimsel olarak farklı oranlarda motorin (M), aspir biyodizeli (B), n-bütanol (Bü) veya n-pentanol (P) den oluşan 2-etilhekzil nitrat (EHN) ilaveli veya ilavesiz tüm karışım yakıtlarına ait soğuk akış özellikleri Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelgeden de görüleceği üzere yüksek alkollerin soğukta akış özelliklerini iyileştirmede etkili olduğu, EHN katkısının ise bir miktar olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Atmanlı (2016a); İleri (2016)'nın çalışmalarında karışım yakıtlarındaki EHN ilavesinin ve EHN'deki artış oranının (500, 1000, 2000 ppm), yakıtların soğukta akış özelliklerini bir miktar bozduğunu belirlemişlerdir.

Çizelge 4.13. Motorin (M_{100}) ve biyodizelin (B_{100}) bulutlanma noktası analiz sonuçları

Yakıtlar	Bulutlanma Noktası (ºC)	SFTN (ºC)	Akma Noktası (ºC)
M_{100}	-13.9	-22	<-20
B_{100}	-2.6	-10	-15

Çizelge 4.14. Karışım yakıtlarına ait bulutlanma noktası analiz sonuçları

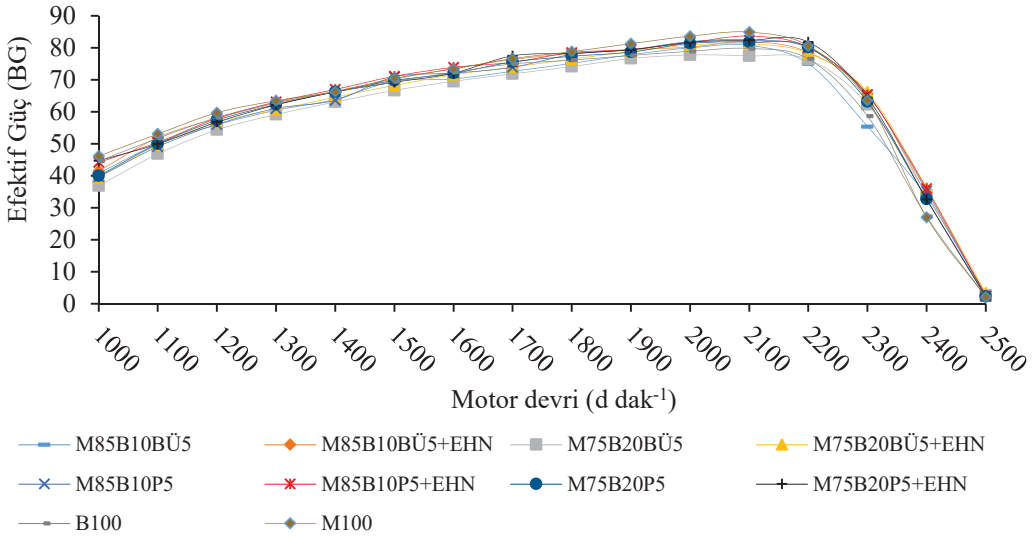
Karışım yakıtları	Bulutlanma Noktası (ºC)	SFTN (ºC)
$M_{85}B_{10}BÜ_5$	-3.2	-13
$M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN	-2.1	-11
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$	-3.2	-12
$M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN	-2.2	-11
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$	-3.2	-12
$M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN	-2	-11
$M_{75}B_{20}BÜ_5$	-3.2	-13
$M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN	-2.5	-11
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$	-2.5	-12
$M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN	-1.4	-10
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$	-3.4	-12
$M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN	-2.3	-11
$M_{85}B_{10}P_5$	-3.3	-14
$M_{85}B_{10}P_5$+EHN	-2.4	-12
$M_{80}B_{10}P_{10}$	-3.3	-13
$M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN	-2.6	-11
$M_{70}B_{10}P_{20}$	-3.5	-13
$M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN	-2.7	-10
$M_{75}B_{20}P_5$	-3.5	-14
$M_{75}B_{20}P_5$+EHN	-2.2	-12
$M_{70}B_{20}P_{10}$	-4.2	-13
$M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN	-2.9	-12
$M_{60}B_{20}P_{20}$	-4.2	-13
$M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN	-3	-11

Tüm karışım yakıtlarına ait akma noktası değerlerinin ise -20 ºC'den daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

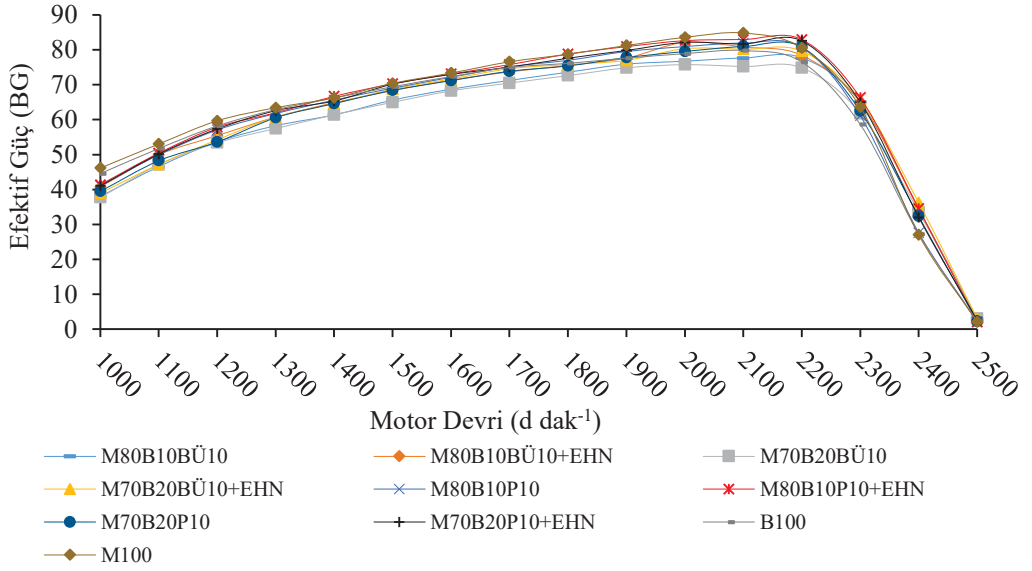
4.3. Motor Performansı Deney Sonuçları

4.3.1. Efektif güç değerlerinin değişimi

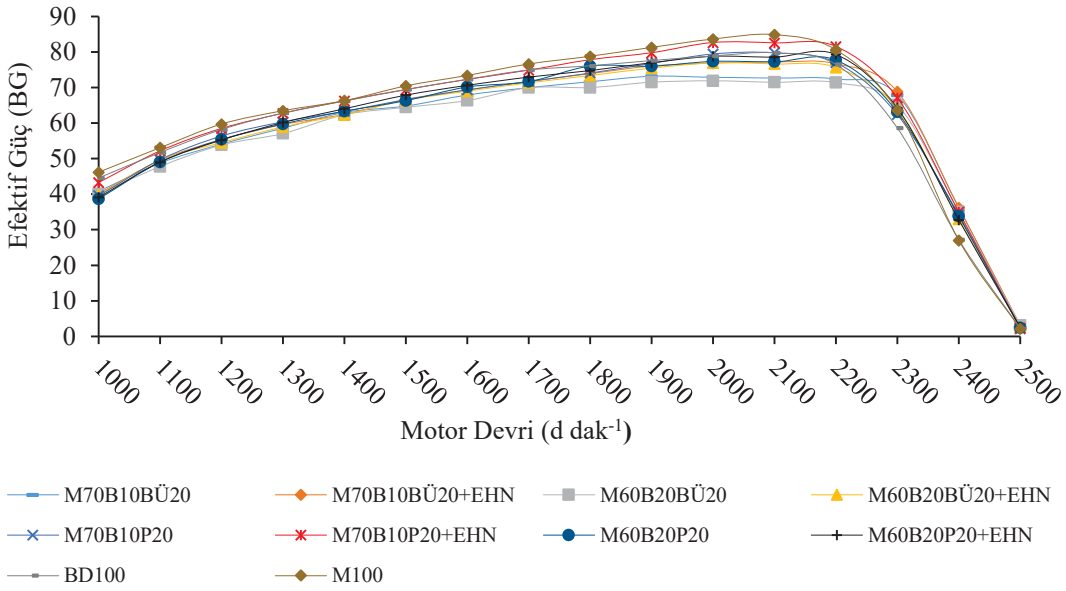
Motorin (M_{100}), biyodizel (B_{100}) ve karışım yakıtlarının (EHN katkılı–katkısız), tam yük şartlarında gerçekleştirilen motor performansı deneylerinde, motor devir sayısına (d dak^{-1}) bağlı olarak elde edilen efektif güç (BG) değerlerinin değişimi Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'te, maksimum gücün elde edildiği motor devrine ait güç değerleri ise Şekil 4.4'te verilmiştir.



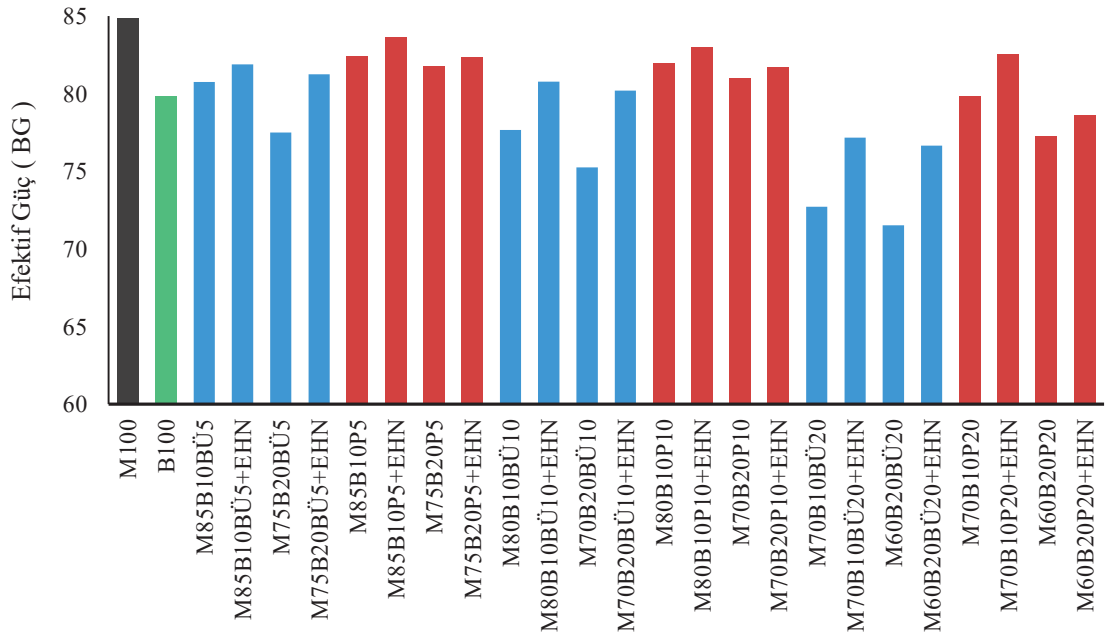
Şekil 4.1. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%5 BÜ veya P içeren) ait motor gücü değerlerindeki değişim



Şekil 4.2. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%10 BÜ veya P içeren) ait motor gücü değerlerindeki değişim



Şekil 4.3. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%20 BÜ veya P içeren) ait motor gücü değerlerindeki değişim



Şekil 4.4. Maksimum gücün elde edildiği motor devrinde (2100 d dak^{-1}) M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına ait efektif motor gücü değerleri

Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına ait efektif motor gücü değerleri genel olarak incelenecek olursa, maksimum motor gücünün ortalama 84.86 BG değeri (2100 d dak^{-1} motor devrinde) ile M_{100} yakıtından elde edildiği görülmektedir.

B_{100} yakıtına ait efektif motor gücü değerleri M_{100} yakıtına ait değerler ile karşılaştırıldığında tüm devirlerde belli oranlarda azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Maksimum gücün elde edildiği motor devrinde (2100 d dak^{-1}) B_{100} yakıtına ait efektif güç değeri, M_{100} yakıtına göre %5.94'lük bir azalma göstererek 79.82 BG olarak gerçekleşmiştir. Güç değerindeki bu azalma, aspir yağı metil esterinin (B_{100}) belirlenen yoğunluk ve viskozite değerlerinin motorine (M_{100}) göre daha yüksek, ısıl değerinin ise daha düşük olmasıyla açıklanabilir (Çizelge 4.2, 4.4 ve 4.6). İmal ve ark. (2017); Erol (2019) yüksek viskozite ve yoğunluk değerlerinin, yakıtın enjektör sisteminden atomize olarak istenilen şekilde püskürtülememesine, bunun da yanmayı etkileyen tutuşma gecikmesi süresinin uzamasına ve yanmanın kötüleşmesine sebep olduğunu ifade etmişlerdir. Altun (2010) ise biyodizel yakıtlarının ısıl değerlerinin motorin yakıtına göre daha düşük olmasından dolayı bu durumun motor gücünde bir azalmaya neden olduğu konusunda, araştırmacıların çok önemli bir kısmının hem fikir olduklarını, ayrıca biyodizel yakıtların motorine göre yüksek olan viskozite ve yoğunluğun da bu durum için bir neden olarak gösterildiğini vurgulamıştır.

Hacimce aynı oranda bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarında, (EHN katkılı ve katkısız) biyodizel oranı arttıkça (%10 ve %20) yakıtlara ait güç değerlerinde farklı oranlarda azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Örneğin maksimum motor gücünün elde edildiği 2100 d dak^{-1} motor devrinde, B_{20} ihtiva eden tüm karışım yakıtlarına ait güç değerleri B_{10} ihtiva eden yakıtlara göre ortalama %0.66 ile %4.75 oranlarında daha düşük değerler vermiştir. Tüm motor devirlerindeki ortalama değerler dikkate alındığında ise bu azalmanın %0.16 ile %4.2 arasında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre; maksimum gücün elde edildiği 2100 d dak^{-1} motor devrinde tüm karışım yakıtlarına (EHN katkılı ve katkısız) ait güç değerlerinin M_{100} yakıtına kıyasla %1.46 ile %15.72 arasında düşük çıktığı tespit edilmiştir. M_{100} yakıtına en yakın sonuç 83.62 BG değeri $M_{85}B_{10}P_5$+EHN karışım yakıtından elde edilirken, en düşük sonuç ise 71.52 BG değeri ile $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtından elde edilmiştir. M_{100} yakıtına kıyasla tüm karışım yakıtlarında belli oranlarda tespit edilen bu güç azalmalarının, bu yakıtların enerji içeriklerinin (ısıl değer) M_{100} yakıtına göre daha düşük değerlere sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çizelge 4.6 ve 4.7). Elde ettiğimiz sonuçlar (Campos-Fernández ve ark., 2012; Atmanlı, 2016b; Yeşilyurt ve ark., 2018) tarafından yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

Hacimce aynı oranda bütanol ve pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına (EHN ilaveli ve ilavesiz) ait güç değerleri kıyaslandığında, pentanol ihtiva eden yakıtların

bütanol ihtiva eden yakıtlara göre %1.3 ile %8.9 oranları arasında daha yüksek değerler gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4.4). Bu sonuç, pentanolün alt ısıl değeri ve setan sayısının bütanole göre daha yüksek olmasıyla açıklanabilir.

Şekil 4.4'ün incelenmesinden görüleceği üzere gerek bütanol ve gerekse pentanol ihtiva eden tüm karışım yakıtlarında alkol oranı arttıkça efektif güç değerlerinde belli oranlarda (%1.3 ile %10) düşüşlerin olduğu tespit edilmiştir. Campos-Fernández ve ark. (2012); Yeşilyurt ve ark. (2018) yaptıkları çalışmalarda benzer bir ilişki bildirmişlerdir.

Hacimce aynı oranda motorin (M) ,biyodizel (B), bütanol (BÜ) veya pentanol (P) ihtiva eden karışım yakıtlarının EHN katkılı ve katkısız güç değerleri karşılaştırıldığında, karışım yakıtlarına ilave edilen EHN 'nin güç değerlerini %0.72 ile %7.16 oranları arasında arttırdığı tespit edilmiştir. Örneğin, maksimum gücün elde edildiği 2100 d dak^{-1} motor devrinde karışım yakıtlarından $M_{70}B_{10}P_{20}$ yakıtına ait ortalama güç değeri 79.82 BG iken bu değer EHN ilaveli aynı yakıtta ($M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN) %3.40 artışla 82.53 BG olarak gerçekleşmiştir. Atmanlı (2016a); İleri (2016) EHN katkılı olan yakıtların, motorine yakın efektif güç değerleri gösterdiğini ve EHN katkısının gücü arttırmada etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

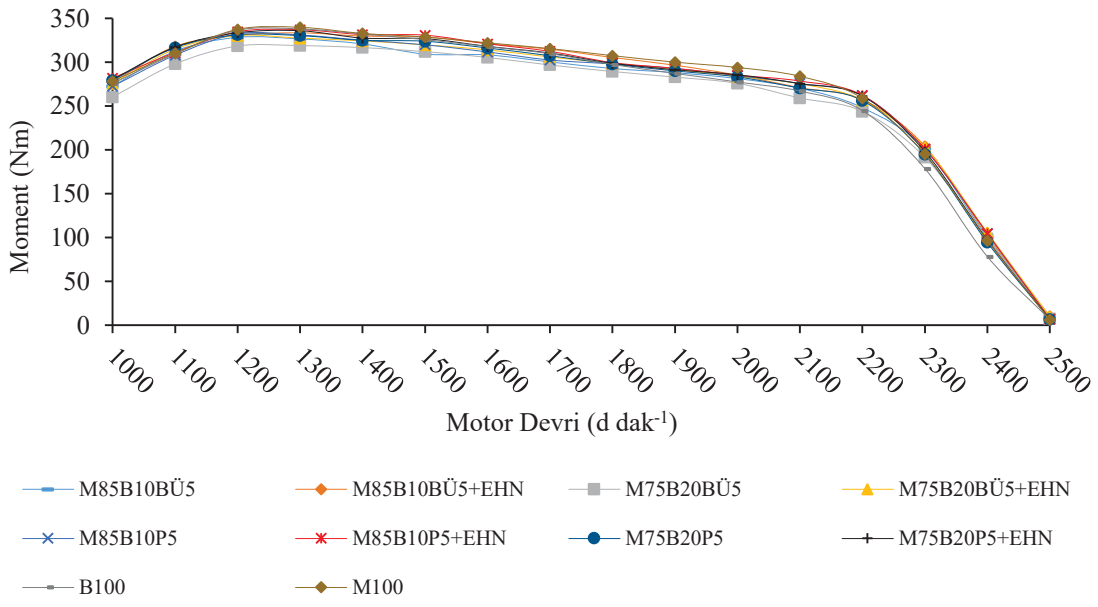
Araştırma sonuçlarına göre, maksimum gücün (M_{100}: 84.86 BG) elde edildiği 2100 d dak^{-1} motor devrinde karışım yakıtlarına ait güç değerleri, karışımlardaki alkol yakıtların oranına göre sırasıyla aşağıda verilmiştir (Şekil 4.4).

- Hacimce %5 bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına (EHN katkılı - katkısız) ait efektif motor gücü değerleri sırasıyla;
  $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtında 83.62 BG, $M_{85}B_{10}P_5$ yakıtında 82.42 BG, $M_{75}B_{20}P_5$+EHN yakıtında 82.35 BG, $M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN yakıtında 81.88 BG, $M_{75}B_{20}P_5$ yakıtında 81.76 BG, $M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN yakıtında 81.25 BG, $M_{85}B_{10}BÜ_5$ yakıtında 80.75 BG ve $M_{75}B_{20}BÜ_5$ yakıtında ise 77.49 BG olarak belirlenmiştir.
- Hacimce %10 bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına (EHN katkılı - katkısız) ait efektif motor gücü değerleri sırasıyla;
  $M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN yakıtında 82.98 BG, $M_{80}B_{10}P_{10}$ yakıtında 81.92 BG, $M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN yakıtında 81.68 BG, $M_{70}B_{20}P_{10}$ yakıtında 80.97 BG, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN yakıtında 80.77 BG, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN yakıtında 80.19 BG, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$ yakıtında 77.66 BG ve $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$ yakıtında 75.24 BG olduğu tespit edilmiştir.

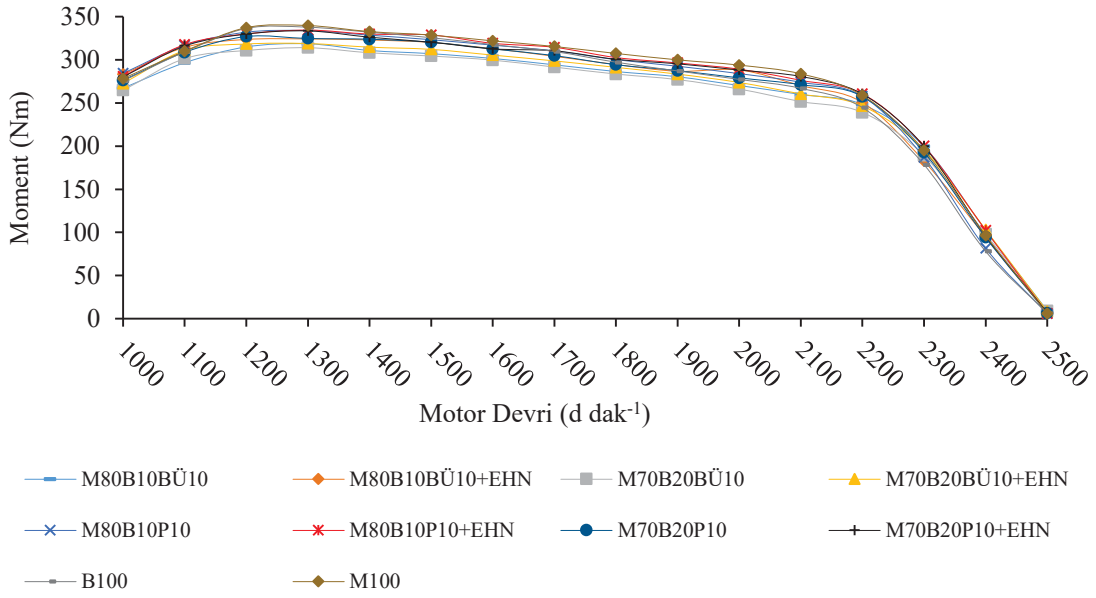
- Hacimce %20 bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına (EHN katkılı - katkısız) ait efektif motor gücü değerleri sırasıyla; $M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN yakıtında 82.53 BG, $M_{70}B_{10}P_{20}$ yakıtında 79.82 BG, $M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN yakıtında 78.61 BG, $M_{60}B_{20}P_{20}$ yakıtında 77.27 BG, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN yakıtında 77.15 BG, $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN yakıtında 76.64 BG, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$ yakıtında 72.7 BG ve $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtında 71.52 BG olarak elde edilmiştir

4.3.2. Moment değerlerinin değişimi

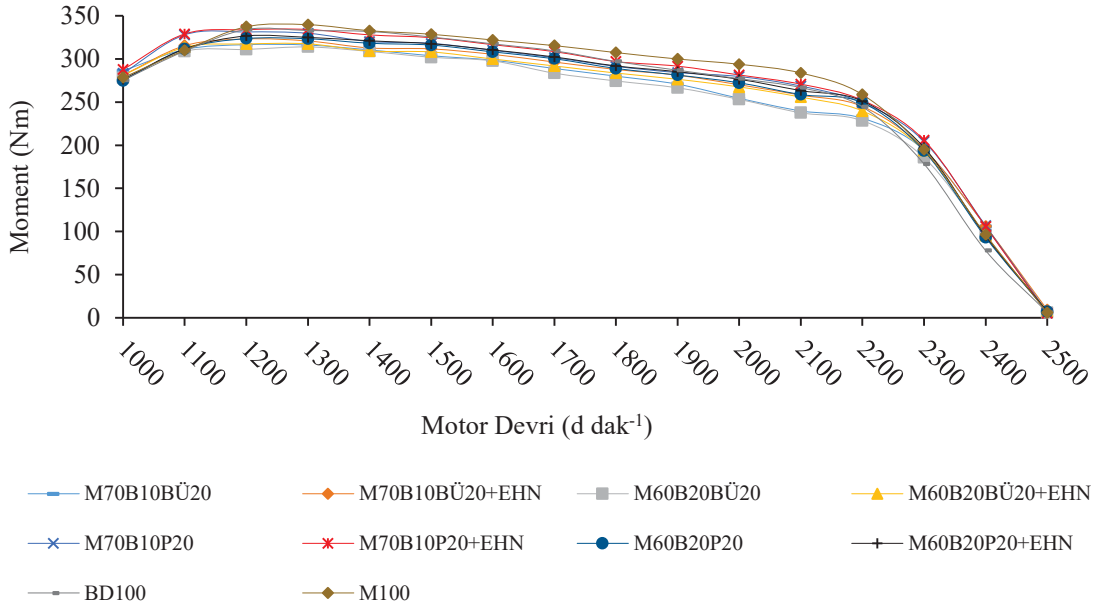
Motorin (M_{100}), biyodizel (B_{100}) ve karışım yakıtlarının (EHN katkılı – katkısız), tam yük şartlarında gerçekleştirilen motor performansı deneylerinde, motor devir sayısına (d dak^{-1}) bağlı olarak elde edilen moment (Nm) değerlerinin değişimi Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7'de, maksimum gücün elde edildiği motor devrine ait moment değerleri ise Şekil 4.8'de verilmiştir.



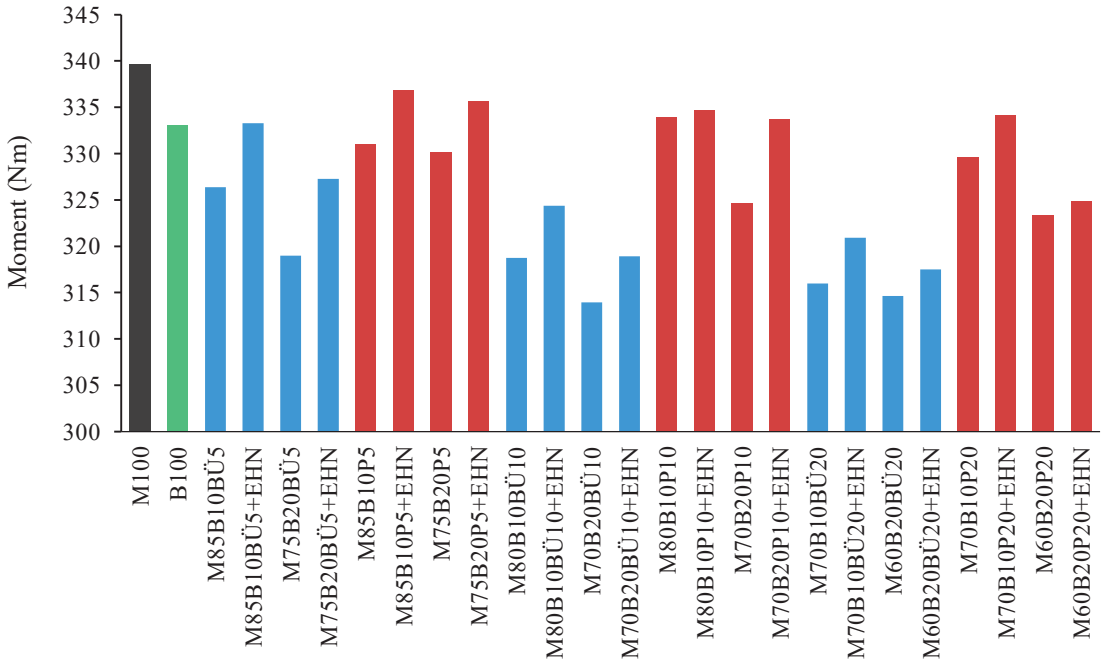
Şekil 4.5. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%5 BÜ veya P içeren) ait motor momenti değerlerindeki değişim



Şekil 4.6. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%10 BÜ veya P içeren) ait motor momenti değerlerindeki değişim



Şekil 4.7. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%20 BÜ veya P içeren) ait motor momenti değerlerindeki değişim



Şekil 4.8. Maksimum momentin elde edildiği motor devrinde (1300 d dak^{-1}) M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına ait motor momenti değerleri

Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına ait efektif motor momenti değerleri genel olarak incelenecek olursa, maksimum motor momentinin ortalama 339.65 Nm değeri (2100 d dak^{-1} motor devrinde) ile M_{100} yakıtından elde edildiği görülmektedir.

Maksimum momentin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde B_{100} yakıtına ait moment değerinde (333.08 Nm), M_{100} yakıtına göre (339.65 Nm) düşüş olduğu tespit edilmiştir. Moment değerindeki bu azalma, aspir yağı metil esterinin (B_{100}) belirlenen ısıl değer ve setan sayısı değerlerinin motorine (M_{100}) göre daha düşük değerler göstermesi ile açıklanabilir (Çizelge 4.6). Özçelik (2011) yakıtlara ait alt ısıl ve setan sayısı değerlerinin düşük olmasının tutuşma gecikmesini arttırdığını, tutuşma gecikmesi artışına bağlı olarak yanma performansının kötüleştiğini ve bunun sonucu olarak silindirin içindeki maksimum basıncın azalmasının torkun (moment) düşmesine neden olduğunu bildirmiştir.

Hacimce aynı oranda bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarında, (EHN katkılı ve katkısız) biyodizel oranı arttıkça (%10 ve %20) yakıtlara ait moment değerlerinde farklı oranlarda düşüşlerin olduğu tespit edilmiştir. Örneğin maksimum momentin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde, B_{20} ihtiva eden karışım yakıtlarına ait moment değerlerinin, B_{10} ihtiva eden karışım yakıtlarına göre %0.29 ile %2.77 oranları arasında daha düşük değerler verdiği görülmüştür.

Maksimum momentin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde tüm karışım yakıtlarına (EHN katkılı ve katkısız) ait motor momenti değerlerinin M_{100} yakıtına kıyasla yaklaşık %0.82 ile %7.57 arasında düşük çıktığı tespit edilmiştir. Bu sonuç, karışım yakıtlarının, hacimce belli oranlarda ihtiva ettikleri biyodizel ve ağır (yüksek) alkollerden (bütanol, pentanol) dolayı, ısıl değerlerinin motorin yakıtına (M_{100}) göre daha düşük değerler göstermeleri ile açıklanabilir (Çizelge 4.6 ve 4.7). Yakıtlardaki düşük ısıl değer, yanma sonucu açığa çıkan enerjinin azalmasına ve bunun bir sonucu olarak piston üzerine etkiyen basınç ile birlikte bunun faydalı işe dönüşüm oranının düşmesine neden olmaktadır (Atmanlı ve ark., 2013). M_{100} yakıtına en yakın sonuç 336.88 Nm değeri ile $M_{85}B_{10}P_5$+EHN karışım yakıtından elde edilirken, en düşük sonuç ise 313.94 Nm değeri ile $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtından elde edilmiştir. Elde ettiğimiz sonuçlar Campos-Fernández ve ark. (2012); Atmanlı (2016b); Yeşilyurt ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmalarla benzerlik göstermektedir.

Maksimum motor momentinin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde, hacimce aynı oranda bütanol ve pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına ait moment değerleri karşılaştırıldığında, pentanol ihtiva eden yakıtların bütanol ihtiva eden yakıtlara göre %1.07 ile %4.55 oranları arasında daha yüksek değerler gösterdiği belirlenmiştir. Örneğin %10 bütanol ihtiva eden $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$ karışım yakıtında ortalama 318.74 Nm moment değeri elde edilirken bu değer %10 pentanol ihtiva eden $M_{80}B_{10}P_{10}$ karışım yakıtında %4.76 artışla 333.92 Nm olarak tespit edilmiştir. Elde edilen artışlar Yeşilyurt ve ark. (2018)'nın çalışmalarının sonuçları ile benzerlikler göstermektedir.

Şekil 4.8'in incelenmesinden görüleceği üzere karışım yakıtlarında bütanol ve pentanol oranı arttıkça yakıtlara ait moment değerlerinde belli oranlarda (%0.8 ile 3.7) düşüşlerin olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, Siwale ve ark. (2013); Tüccar ve ark. (2014); Yeşilyurt ve ark. (2018) yaptıkları çalışmalarla benzerlikler göstermektedir.

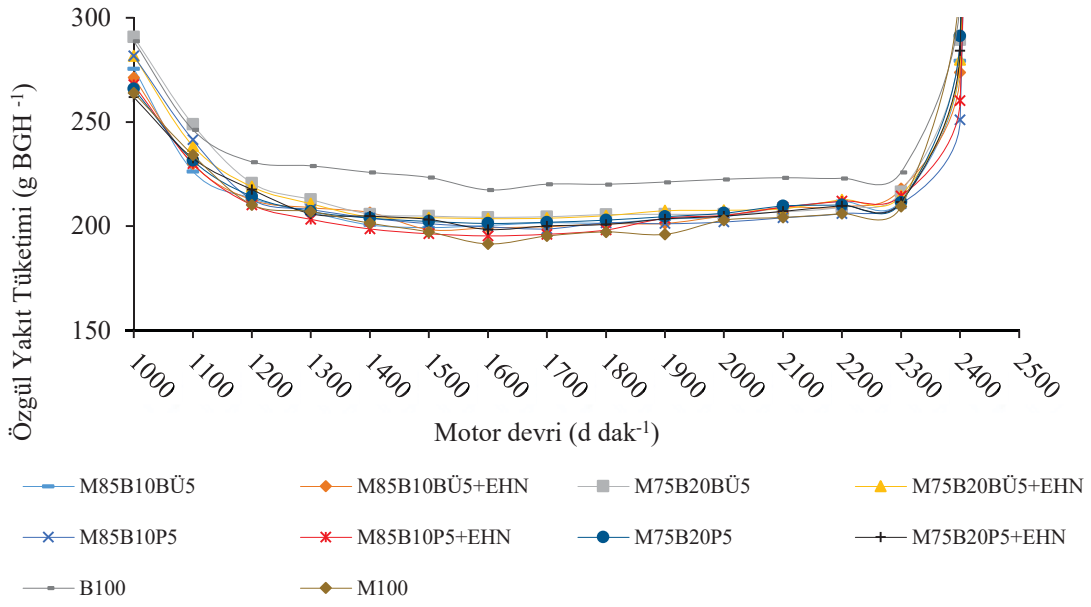
Hacimce aynı oranda motorin (M) ,biyodizel (B), bütanol (BÜ) veya pentanol (P) ihtiva eden karışım yakıtlarının EHN katkılı ve katkısız moment değerleri karşılaştırıldığında, karışım yakıtlarına ilave edilen EHN 'nin moment değerlerini %0.22 ile %2.77 oranları arasında arttırdığı tespit edilmiştir. Atmanlı (2016a); İleri (2016)'nin çalışmaları ile benzerlikler göstermektedir.

Araştırma sonuçlarına göre, maksimum momentin (M_{100}: 339.65 Nm) elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde karışım yakıtlarına ait moment değerleri, karışımlardaki alkol yakıtların oranına göre sırasıyla aşağıda verilmiştir (Şekil 4.8);

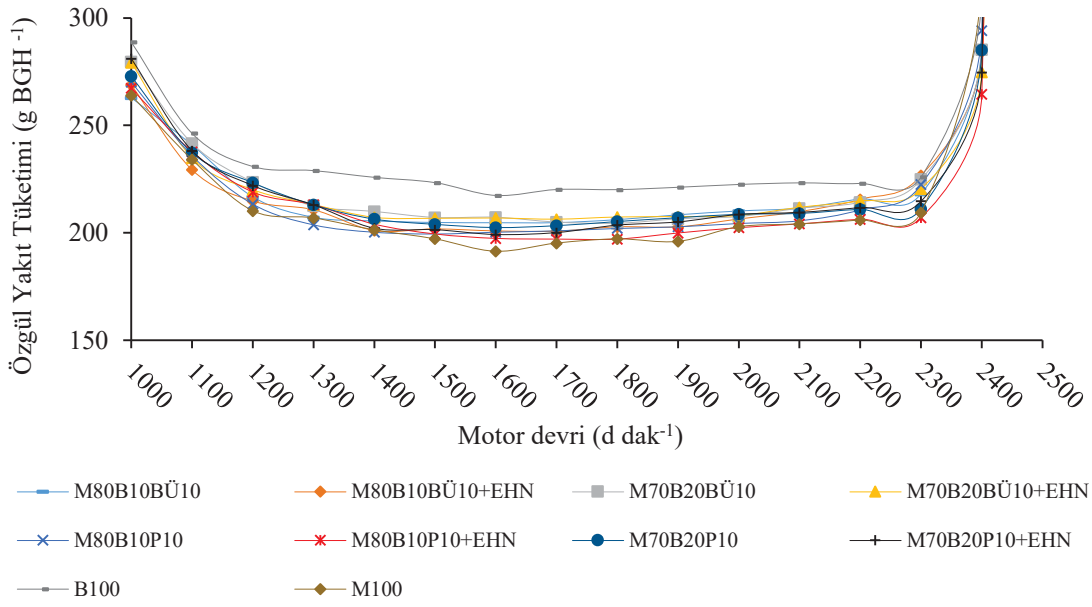
- Hacimce %5 bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına (EHN katkılı - katkısız) ait moment değerleri sırasıyla;
  $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtında 336.88 Nm, $M_{75}B_{20}P_5$+EHN yakıtında 335.68 Nm, $M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN yakıtında 333.28 Nm, $M_{85}B_{10}P_5$ 334 Nm, yakıtında ve $M_{75}B_{20}P_5$ yakıtında 330.22 Nm, $M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN yakıtında 327.27 Nm, $M_{85}B_{10}BÜ_5$ yakıtında 326.38 Nm, $M_{75}B_{20}BÜ_5$ yakıtında 318.98 Nm değerleri elde edilmiştir.
- Hacimce %10 bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına (EHN katkılı - katkısız) ait moment değerleri sırasıyla;
  $M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN yakıtında 334.67 Nm, $M_{80}B_{10}P_{10}$ yakıtında 333.92 Nm, $M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN yakıtında 333.69 Nm, $M_{70}B_{20}P_{10}$ yakıtında 324.69 Nm, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN yakıtında 324.36 Nm, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN yakıtında 318.92 Nm, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$ yakıtında 318.74 Nm, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$ yakıtında ise 314.65 Nm olduğu tespit edilmiştir.
- Hacimce %20 bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına (EHN katkılı - katkısız) ait moment değerleri sırasıyla (EHN katkılı - katkısız) ait moment değerleri sırasıyla;
  $M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN yakıtında 334.14 Nm, $M_{70}B_{10}P_{20}$ yakıtında 329.61 Nm, $M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN yakıtında 324.89 Nm, $M_{60}B_{20}P_{20}$ yakıtında 323.37 Nm, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN yakıtında 320.92 Nm, $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN yakıtında 317.49 Nm, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$ yakıtında 315.97 Nm ve $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtında 313.94 Nm olarak belirlenmiştir.

4.3.3. Özgül yakıt tüketimi değerlerinin değişimi

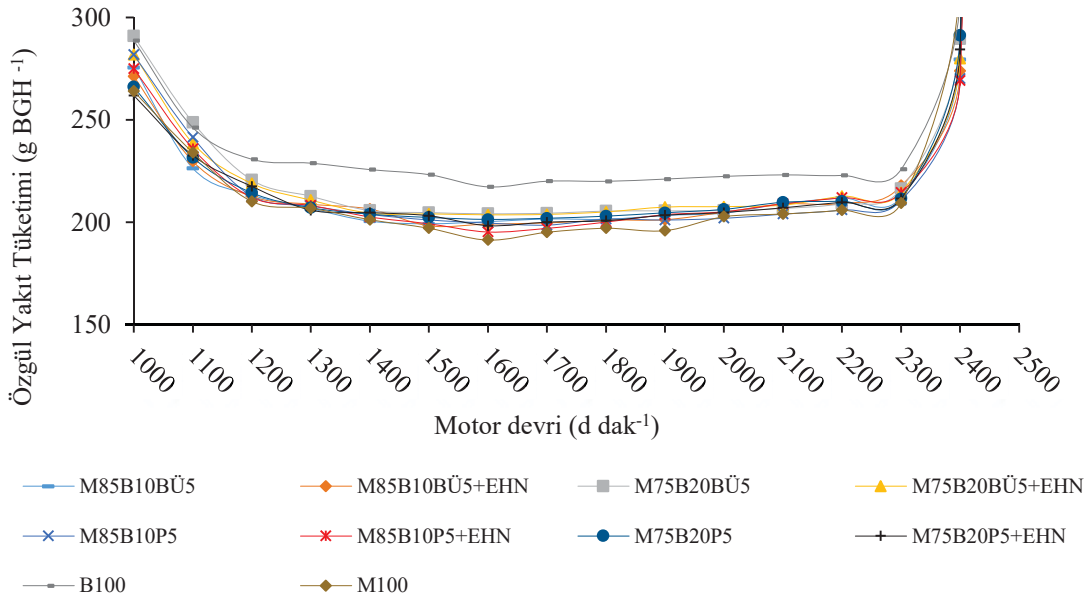
Motorin (M_{100}), biyodizel (B_{100}) ve karışım yakıtlarının (EHN katkılı – katkısız), tam yük şartlarında gerçekleştirilen motor performansı deneylerinde, motor devir sayısına (d dak^{-1}) bağlı olarak elde edilen özgül yakıt tüketimi (g BGh^{-1}) değerlerinin değişimi Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11'de, maksimum gücün elde edildiği motor devrine ait özgül yakıt tüketimi değerleri ise Şekil 4.12'de verilmiştir.



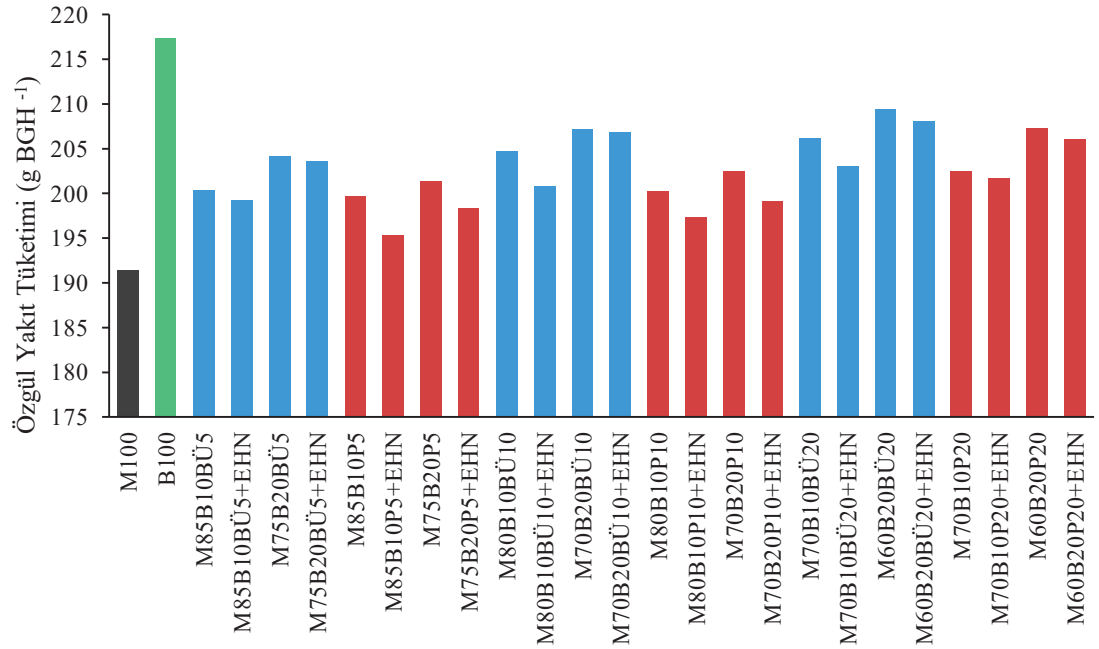
Şekil 4.9. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%5 BÜ veya P içeren) ait özgül yakıt tüketimi değerlerindeki değişim



Şekil 4.10. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%10 BÜ veya P içeren) ait özgül yakıt tüketimi değerlerindeki değişim



Şekil 4.11. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%20 BÜ veya P içeren) ait özgül yakıt tüketimi değerlerindeki değişim



Şekil 4.12. Maksimum momentin elde edildiği motor devrinde (1300 d dak^{-1}) M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimi değerleri

Araştırma materyali 26 adet yakıtın tam yük şartlarında gerçekleştirilen motor performansı deneyleri neticesinde, en düşük özgül yakıt tüketimi, 1600 d dak^{-1} motor devrinde ortalama 191.37 g BGh^{-1} değeri ile M_{100} yakıtından elde edilmiştir.

Minumum özgül yakıt tüketiminin elde edildiği 1600 d dak^{-1} motor devrinde B_{100} yakıtına ait özgül yakıt tüketimi değeri, 217.33 g BGh^{-1} olarak belirlenmiştir. Bu değer

M_{100} yakıtından elde edilen özgül yakıt tüketimi değerine (191.37 g BGh^{-1}) göre yaklaşık %13.57 fazladır. Bu sonuç, B_{100} yakıtının belirlenen ısıl değerinin (40.67 MJ kg^{-1}) M_{100}'e (45.17 MJ kg^{-1}) göre daha düşük, yoğunluk ve viskozite değerlerinin (0.8885 kg m^{-3} ve 4.57 mm^2 s^{-1}) ise daha yüksek olmasıyla açıklanabilir (Çizelge 4.2, 4.4 ve 4.6). Zhang ve Balasubramanian (2016) biyodizelin ısıl değerinin motorine göre daha düşük olması nedeniyle özgül yakıt tüketiminin %11.8-14.6 civarında artmasının beklendiğini bildirmişlerdir. Altun (2010) ise biyodizel ile ilgili yapılan araştırmaların sonuçlarının değerlendirildiği çalışmasında, araştırmacıların çok önemli bir kısmının biyodizel yakıtlarının motorine göre düşük ısıl değere sahip olmalarından dolayı özgül yakıt tüketiminde artış olduğu konusunda hemfikir olduklarını, nispeten düşük ısıl değere sahip yakıtlar kullanıldığında eşit güç üretilebilmesi için daha fazla yakıt harcaması gerektiğini bildirmiştir. Bunlara ilaveten Altun (2010) çalışmasında biyodizel yakıtlarının dizel yakıtlarına göre yüksek olan viskozite ve yoğunluğunun da bu durum için sebep olarak gösterildiğini bildirmiştir.

Hacimce aynı oranda bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarında (EHN katkılı ve katkısız) biyodizel oranı arttıkça (%10 ve %20), yakıtlara ait özgül yakıt tüketimi değerlerinde %0.83 ile %3 oranlarında artışlar olduğu tespit edilmiştir.

Minumum özgül yakıtının elde edildiği 1600 d dak^{-1} motor devrinde tüm karışım yakıtlarına (EHN katkılı ve katkısız) ait özgül yakıt tüketimi değerlerinin M_{100} yakıtına kıyasla yaklaşık %2.05 ile %9.42 arasında arttığı tespit edilmiştir. M_{100} (191.37g BGh^{-1}) yakıtına en yakın sonuçlar $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtından (195.29 g BGh^{-1}) elde edilirken en kötü sonuçlar ise $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtından (209.4 g BGh^{-1}) elde edilmiştir. Karışım yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimi değerlerinin M_{100}'e göre artış göstermesi, bu yakıtların enerji içeriklerinin M_{100}'e göre daha düşük olmasıyla açıklanabilir. (Çizelge 4.6 ve 4.7) Buna ilaveten karışım yakıtlarının içeriğinde hacimce belli oranlarda (%5,10 ve 20) bulunan bütanol ve pentanolün gizli buharlaşma ısılarının motorin yakıtına (M_{100}) göre daha yüksek olması da buna neden olarak gösterilebilir. Yeşilyurt (2020), özgül yakıt tüketimini etkileyen en önemli parametrelerden birinin gizli buharlaşma ısısı olduğunu, alkollerin gizli buharlaşma ısılarının motorine göre daha yüksek olmasının (motorin: 270-375 kJ kg^{-1}; bütanol: 581.4 kj kg^{-1}; pentanol: 308.05 kJ kg^{-1}) yanma kalitesini bozduğunu ve bu etkinin de özgül yakıt tüketimi değerleri üzerinde olumsuz sonuçlarının olduğunu ifade etmiştir.

Aynı motor devrinde hacimce aynı oranda bütanol ve pentanol içeren karışım yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimi değerleri karşılaştırıldığında pentanol ihtiva eden

karışım yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimi değerlerinin bütanol ihtiva eden yakıtlara göre %0.32 ile %3.71 oranları arasında değişen daha düşük değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedeni pentanolün bütanole göre daha yüksek kalori değeri ve daha düşük gizli buharlaşma ısısına sahip olmasıdır. Atmanlı (2016b); Nanthagopal ve ark. (2018) bütanole kıyasla daha yüksek enerji içeriğine sahip olan pentanol karışımlarının motorine göre özgül yakıt tüketimi değerlerindeki artış oranlarının daha az olduğunu bildirmiştir.

Gerek bütanol ve gerekse pentanol ihtiva eden tüm karışım yakıtlarında (EHN katkılı veya katkısız) alkol oranı arttıkça (%5, 10 ve 20) yakıtlara ait özgül yakıt tüketimi değerlerinde belli oranlarda artışlar (%0.8 ile %3.9) olduğu tespit edilmiştir. Örneğin; 1600 d dak^{-1} motor devrinde, hacimce %20 bütanol ve pentanol ihtiva eden $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$ (206.14 g BGh^{-1}) ve $M_{70}B_{10}P_{20}$ (202.44 g BGh^{-1}) karışım yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimi değerlerinde, %5 bütanol ve pentanol içeren $M_{85}B_{10}BÜ_5$ (200.33 g BGh^{-1}) ve $M_{85}B_{10}P_5$ (199.69 g BGh^{-1}) karışım yakıtlarına göre sırasıyla %2.9 ve %1.38 artışlar olduğu tespit edilmiştir. Bu artışa neden olarak, karışım yakıtlarının enerji içeriklerinin (ısıl değer) ve setan sayısı değerlerinin alkol konsantrasyonu artışına bağlı olarak düşmesi gösterilebilir. Karabektas ve Hosoz (2009); Zhang ve Balasubramanian (2016); Yeşilyurt ve ark. (2018) yakıtlarda yüksek alkol oranı artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerlerinin de arttığını bildirmişlerdir. Yoshimoto ve ark. (2013); Yılmaz ve ark. (2017) ise yüksek alkol karışımlı yakıtların alt ısıl ve setan sayısı değerlerinin düşük olması nedeniyle yanmada tutuşma gecikmesinin arttığını ve bu nedenle aynı miktarda güç üretmek için biraz daha yüksek miktarda yakıtın gerekli olduğunu ifade etmişlerdir.

Hacimce aynı oranda motorin (M) ,biyodizel (B), bütanol (BÜ) veya pentanol (P) ihtiva eden karışım yakıtlarının EHN katkılı ve katkısız özgül yakıt tüketimi değerleri karşılaştırıldığında, karışım yakıtlarına ilave edilen EHN'nin özgül yakıt tüketimi değerlerini %0.16 ile %2.2 arasında değişen oranlarda düşürdüğü tespit edilmiştir. Benzer ilişki, Atmanlı (2016b); İleri (2016) tarafından da bildirilmiştir. Araştırmacılar EHN'nin yüksek uçuculuğu nedeniyle yakıt buharının yanma haznesinde dağılmasını sağlayabileceğini ve bu durumun yanma işleminin artmasına ve yakıt tüketiminin ise düşmesine yardımcı olacağını bildirmişlerdir.

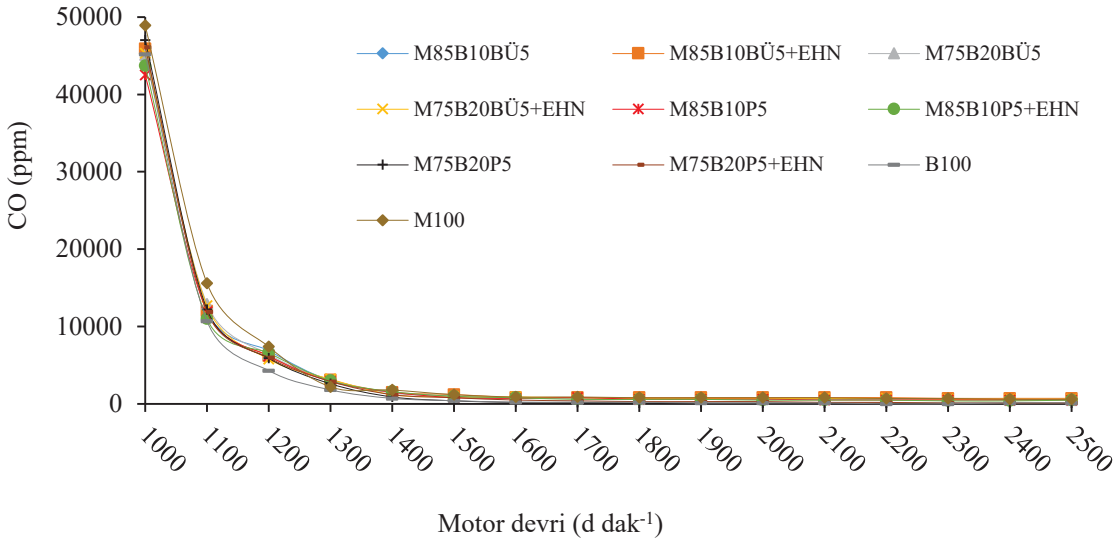
Araştırma sonuçlarına göre, minumum özgül yakıt tüketiminin elde edildiği 1600 d dak^{-1} motor devrinde karışım yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimi değerleri, karışımlardaki alkol yakıtların oranına göre sırasıyla aşağıda verilmiştir (Şekil 4.12);

- Hacimce %5 bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına (EHN katkılı - katkısız) ait özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla; $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtında 195.29 g BGh^{-1}, $M_{75}B_{20}P_5$+EHN yakıtında 198.33 g BGh^{-1}, $M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN yakıtında 199.19 g BGh^{-1}, $M_{85}B_{10}P_5$ yakıtında 199.69 g BGh^{-1}, $M_{85}B_{10}BÜ_5$ yakıtında 200.33 g BGh^{-1}, $M_{75}B_{20}P_5$ yakıtında 201.34 g BGh^{-1}, $M_{75}B_{20}BÜ_5$+EHN yakıtında 203.57 g BGh^{-1}, $M_{75}B_{20}BÜ_5$ yakıtında 204.18 g BGh^{-1} değerleri elde edilmiştir
- Hacimce %10 bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına (EHN katkılı - katkısız) ait özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla; $M_{80}B_{10}P_{10}$+EHN yakıtında 197.37 g BGh^{-1}, $M_{70}B_{20}P_{10}$+EHN yakıtında 199.16 g BGh^{-1}, $M_{80}B_{10}P_{10}$ yakıtında 200.28 g BGh^{-1}, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$+EHN yakıtında 200.83 g BGh^{-1}, $M_{70}B_{20}P_{10}$ yakıtında 202.43 g BGh^{-1}, $M_{80}B_{10}BÜ_{10}$ yakıtında 204.71 g BGh^{-1}, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN yakıtında 206.84 g BGh^{-1}, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$ yakıtında 207.17 g BGh^{-1} değerleri elde edilmiştir.
- Hacimce %20 bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarına (EHN katkılı - katkısız) ait özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla; $M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN yakıtında 201.61 g BGh^{-1}, $M_{70}B_{10}P_{20}$ yakıtında 202.44 g BGh^{-1}, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN yakıtında 203.05 g BGh^{-1}, $M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN yakıtında 206.08 g BGh^{-1}, $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$ yakıtında 206.14 g BGh^{-1}, $M_{60}B_{20}P_{20}$ yakıtında 207.24 g BGh^{-1}, $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$+EHN yakıtında 208.03 g BGh^{-1}, $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtında 209.4 g BGh^{-1} olarak tespit edilmiştir.

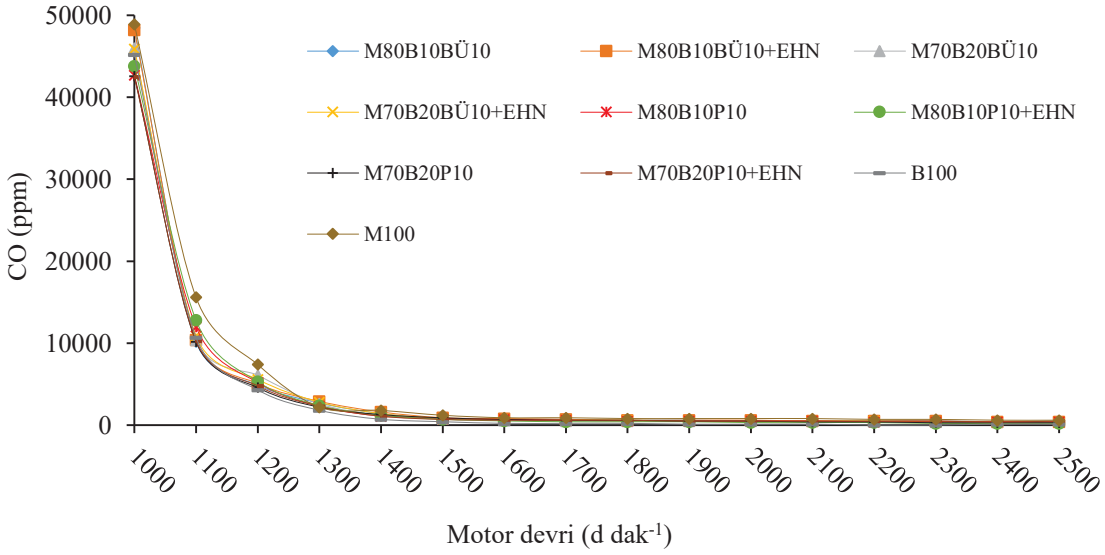
4.4. Egzoz Emisyonu Deney Sonuçları

4.4.1. Karbonmonoksit (CO) değerlerinin değişimi

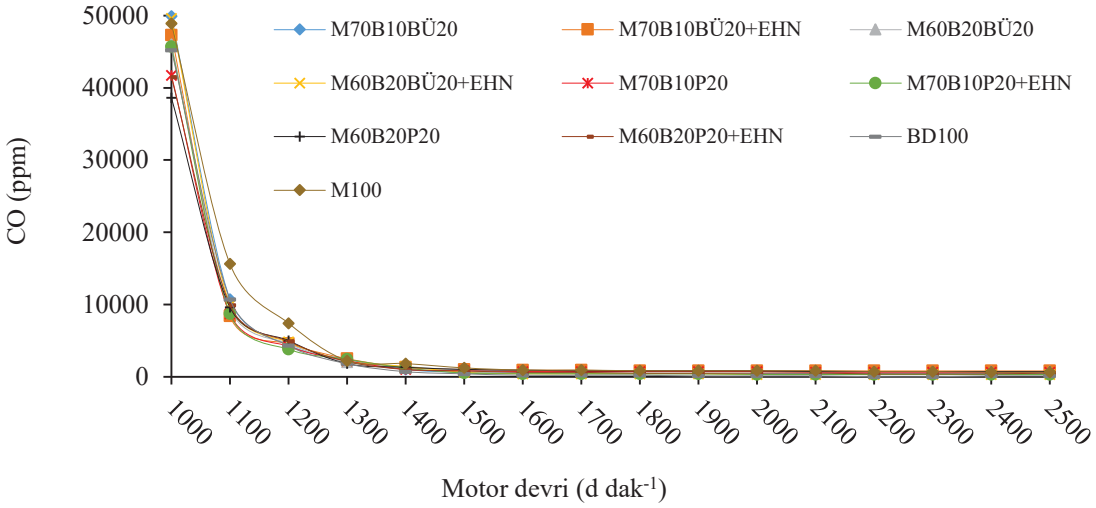
Motorin (M_{100}), biyodizel (B_{100}) ve karışım yakıtlarının (EHN katkılı – katkısız), tam yük şartlarında gerçekleştirilen egzoz emisyon deneylerinde, motor devir sayısına ($d\ dak^{-1}$) bağlı olarak elde edilen karbonmonoksit (CO) emisyonu değerlerinin değişimi Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%5 BÜ veya P içeren) ait karbonmonoksit (CO) emisyonu değerlerindeki değişim



Şekil 4.14. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%10 BÜ veya P içeren) ait karbonmonoksit (CO) emisyonu değerlerindeki değişim



Şekil 4.15. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%20 BÜ veya P içeren) ait karbonmonoksit (CO) emisyonu değerlerindeki değişim

Motorin (M_{100}) ve aspir biyodizeli (B_{100}) yakıtlarına ait değerlerin karşılaştırılmaları sonucunda, tüm motor devirlerinde M_{100} yakıtına ait karbonmonoksit (CO) emisyonu değerlerinin $B_{100'e}$ göre daha yüksek değerler gösterdiği, ayrıca motor devir sayısındaki artışa bağlı olarak her iki yakıta ait değerler arasındaki farkın azaldığı tespit edilmiştir. Maksimum motor momentinin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde B_{100} yakıtına ait CO emisyon değeri 1800 ppm iken, bu değer M_{100} yakıtında 400 ppm artış (%22.2) göstererek 2200 ppm olarak gerçekleşmiştir. Tillem (2005); Aydın ve ark. (2012); Şahin ve Öğüt (2018) biyodizelin kimyasal yapısında oksijenin fazla bulunmasından dolayı biyodizel kullanımında motorine göre CO emisyonunda azalma olduğunu ifade etmişlerdir. Bunun yanında Lešnik ve ark. (2014) biyodizelin, daha düşük hava / yakıt oranına sahip olmasında dolayı yanması için daha az oksijene ihtiyaç duyduğunu, biyodizeldeki oksijenin, C atomlarının yeterli O atomu bularak CO_2 oluşturmasına neden olduğundan, biyodizel ve karışımlarının CO emisyon değerlerinin motorine göre düştüğünü bildirmiştir.

Benzer durum hacimce %10 ve %20 biyodizel ihtiva eden karışım yakıtlarında da söz konusudur. Hacimce aynı oranda bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarında (EHN katkılı ve katkısız) biyodizel oranı arttıkça (%10 ve %20), yakıtlara ait tüm devirlerdeki ortalama CO emisyon değerlerinin %0.3 ile %3.8 oranları arasında azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuç Yeşilyurt ve ark. (2018); Acaroğlu ve Köse (2020)'nin çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir.

Hacimce aynı oranda motorin, biyodizel ve alkol (bütanol veya pentanol) ihtiva eden karışım yakıtlarına ait CO emisyonu değerleri kıyaslandığında bütanol ihtiva eden karışım yakıtlarının CO emisyon değerlerinin pentanol ihtiva eden yakıtlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Yeşilyurt ve ark. (2018) n-pentanol katkılı yakıtların, yapısındaki oksijen içeriğinin n-bütanole göre daha yüksek olması nedeniyle, n- bütanol katkılı yakıtlara göre daha iyi sonuçlar gösterdiğini bildirmiştir. Örneğin 1300 d dak^{-1} motor devrinde, %5 bütanol içeren $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ karışım yakıtına ait CO emisyonu değeri 2000 ppm iken bu değer bütanol yerine pentanol içeren aynı yakıtta ($M_{60}B_{20}P_{20}$) %10 düşüşle 1800 ppm olarak gerçekleşmiştir. İleri (2016) yaptığı çalışmada motorin yakıta göre $D_{70}S_{20}B_{10}$ ve $D_{70}S_{20}P_{10}$ yakıtlarında ortalama CO emisyon değerlerinde sırasıyla %20.35 ve %8.76 artış olduğunu bildirmiştir.

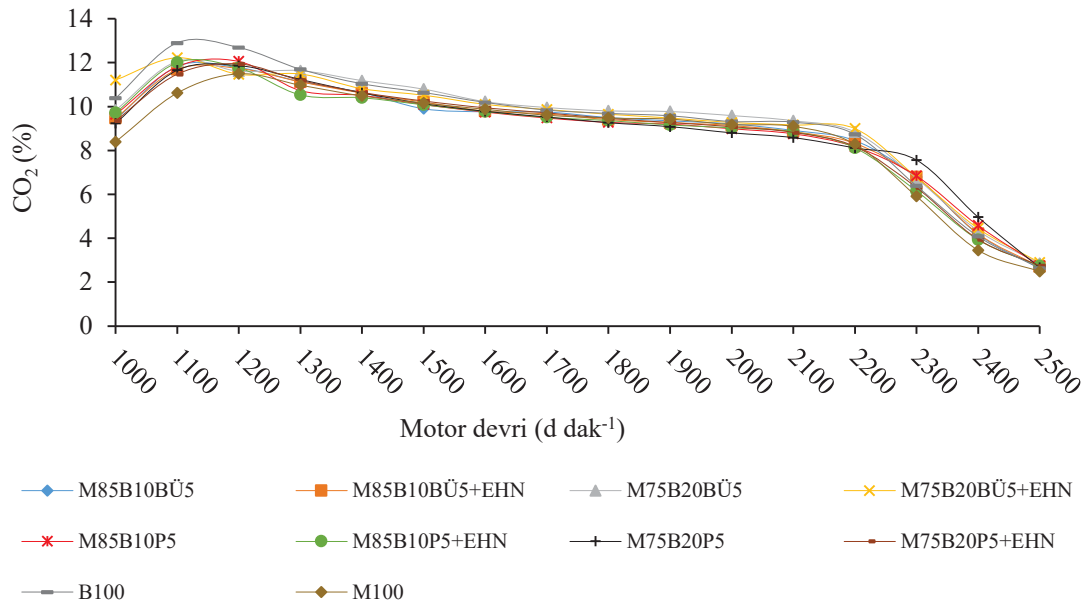
Gerek bütanol ve gerekse pentanol ihtiva eden tüm karışım yakıtlarında (EHN katkılı veya katkısız) alkol oranının artmasıyla CO emisyonlarının tüm devirlerin ortalaması alındığında %5.5 ile %9.1 oranları arasında azaldığı belirlenmiştir. Benzer sonuçlar Tüccar ve ark. (2014); Yeşilyurt ve ark. (2018) çalışmalarında da bildirilmiştir.

Yakıtlara EHN katkısının ilave CO emisyon değerlerini bir miktar arttırdığı görülmüştür. Atmanlı (2016b); İleri (2016); Imdadul ve ark. (2016a)'nın çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir.

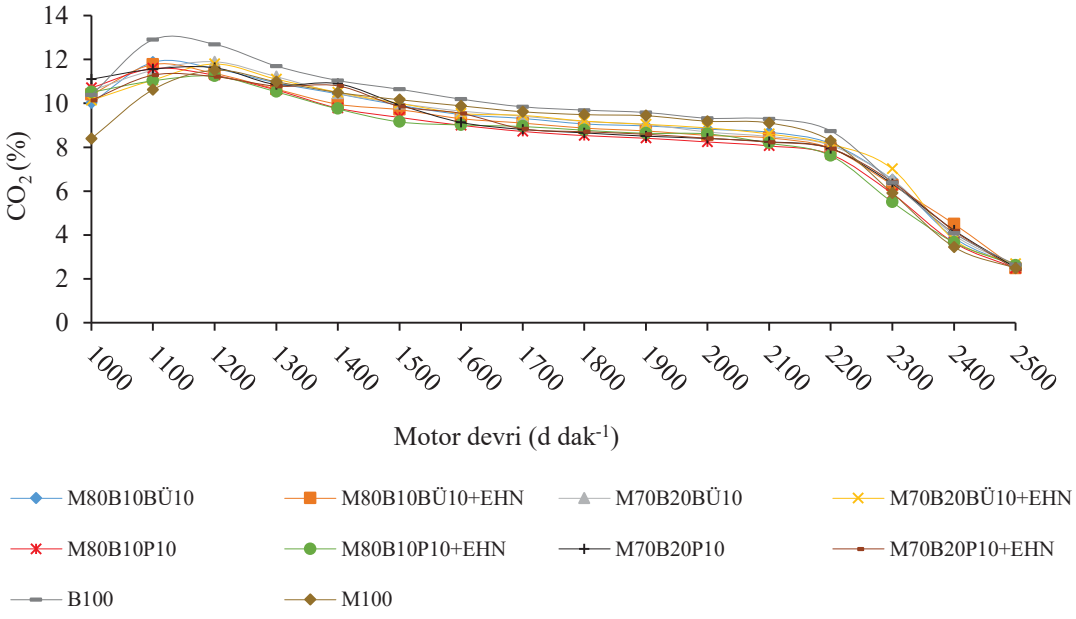
4.4.2. Karbondioksit (CO_2) değerlerinin değişimi

Karbondioksit (CO_2), atomik yapısında karbon molekülü içeren her yakıtın son yanma ürünüdür. Bir dizel motordaki karbondioksit emisyonu, yakıtın tamamen yanması ile ilgili olup yüksek yanma sonrası sıcaklık nedeniyle meydana gelmektedir. Tam bir yanma için yeterli oksijenin varlığı, karbondioksit emisyon miktarını da arttırmaktadır. Yeterli oksijen muhteviyatı ile hidroksil radikali OH (temel oksitleyici ajanlardan biri) CO'yu CO_2'ye dönüştürür (Karabektas ve Hosoz, 2009)

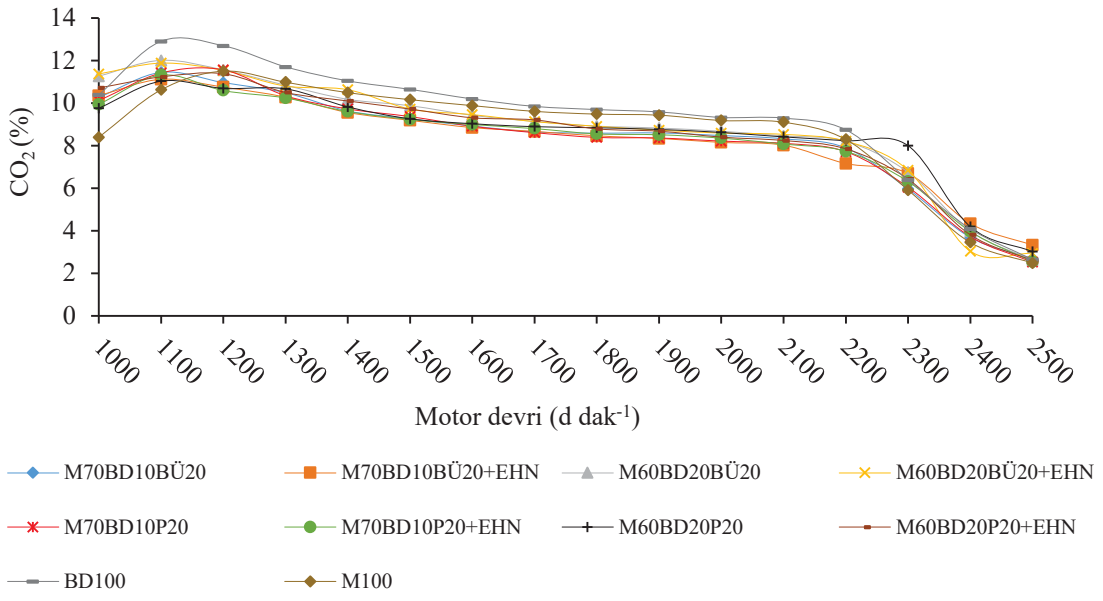
Motorin (M_{100}), biyodizel (B_{100}) ve karışım yakıtlarının (EHN katkılı – katkısız), tam yük şartlarında gerçekleştirilen egzoz emisyon deneylerinde, motor devir sayısına (d dak^{-1}) bağlı olarak elde edilen karbondioksit (CO_2) emisyonu değerlerinin değişimi Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.16. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%5 BÜ veya P içeren) ait Karbondioksit (CO_2) emisyonu değerlerindeki değişim



Şekil 4.17. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%10 BÜ veya P içeren) ait Karbondioksit (CO_2) emisyonu değerlerindeki değişim



Şekil 4.18. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%20 BÜ veya P içeren) ait Karbondioksit (CO_2) emisyonu değerlerindeki değişim

Motorin (M_{100}) ve aspir biyodizeli (B_{100}) yakıtlarına ait değerlerin karşılaştırılmaları sonucunda, tüm motor devirlerinde M_{100} yakıtına ait karbondioksit (CO_2) emisyonu değerlerinin B_{100} göre daha düşük değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Maksimum motor momentinin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde B_{100} yakıtına ait CO_2 emisyon değeri %11.7 iken, bu değer M_{100} yakıtında %10.98 olarak belirlenmiştir. Tillem (2005); Nanthagopal ve ark. (2018) çalışmalarında biyodizelin CO_2 emisyonu değerlerinin motorine göre daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Acaroğlu ve Köse (2020) çalışmalarında biyodizel yakıt (B100) ve karışımlarının (B5 ve B7) oksijen miktarının dizel yakıtından (D100) daha fazla olması sebebiyle yanmaya katkı sağladığını ve ayrıca biyodizelin yoğunluğunun dizel yakıtına göre yüksek olmasının toplam yakıt kütlesini arttırdığından CO_2 emisyon değerlerinin bir miktar yüksek çıktığını ifade etmişlerdir.

Benzer durum hacimce %10 ve %20 biyodizel ihtiva eden karışım yakıtlarında da söz konusudur. Hacimce aynı oranda bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarında (EHN katkılı ve katkısız) biyodizel oranı arttıkça (%10 ve %20), yakıtlara ait tüm devirlerdeki ortalama CO_2 emisyon değerlerinde %0.2 ile %5 oranları arasında artışlar olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç Şahin ve Öğüt (2018); Yeşilyurt ve ark. (2018) çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir.

Hacimce aynı oranda motorin, biyodizel ve alkol (bütanol veya pentanol) ihtiva eden karışım yakıtlarına ait CO_2 emisyonu değerleri kıyaslandığında bütanol ihtiva eden

karışım yakıtlarının CO_2 emisyon değerlerinin pentanol ihtiva eden yakıtlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Örneğin 1300 d dak^{-1} motor devrinde, %20 bütanol içeren $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ karışım yakıtına ait CO_2 emisyonu değeri %10.83 iken bu değer bütanol yerine pentanol içeren aynı yakıtta ($M_{60}B_{20}P_{20}$) bir miktar düşüş göstererek %10.54 olarak gerçekleşmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre; karışım yakıtlarının CO_2 emisyonu, M_{100} yakıtı ile yakın sonuçları vermiş, B_{100} yakıtıyla kıyaslandığında ise emisyon değerlerinde düşüş görülmüştür. Karışım yakıtları için CO_2 emisyonundaki azalma, daha yüksek oksijen içeriğinden ve yakıt yapılarındaki hidrojen moleküllerinden kaynaklanıyor olabilir.

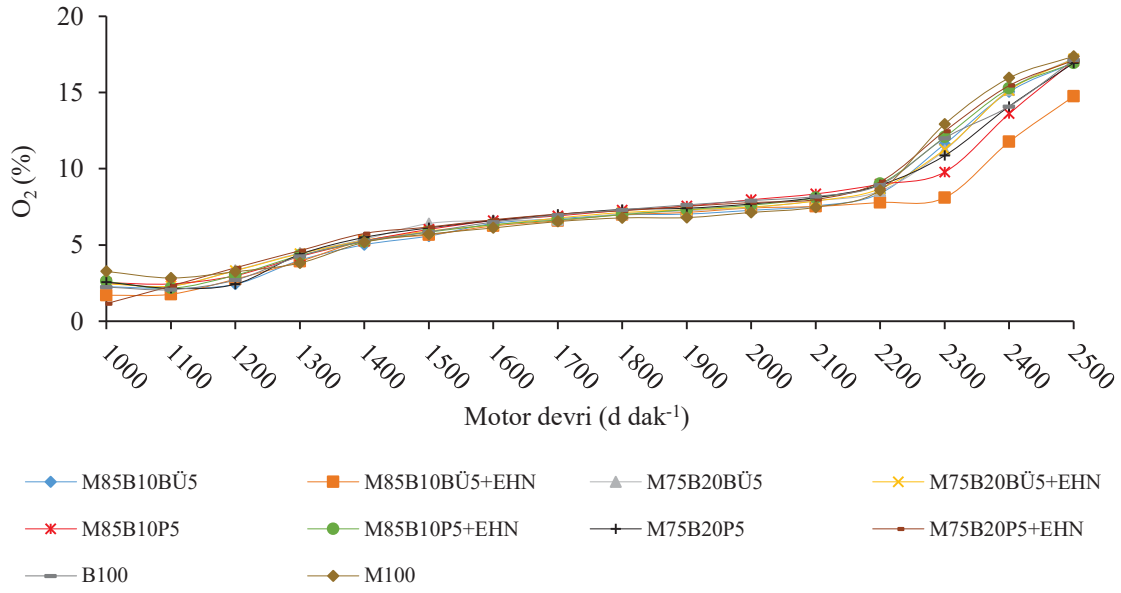
Gerek bütanol ve gerekse pentanol ihtiva eden tüm karışım yakıtlarında (EHN katkılı veya katkısız) alkol oranının artmasıyla (%5, 10 ve 20) CO_2 emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Benzer sonuçlar Lujaji ve ark. (2011); Yeşilyurt ve ark. (2018) nın çalışmalarında da bildirilmiştir. Yüksek alkollerin yapısında dizel yakıtlarına kıyasla daha az karbon atomu olduğu için karışımlardaki alkol oranı arttıkça CO_2 emisyonu tüm devirlerin ortalaması alındığında %3.7 ile %6.9 oranları arasında azalmıştır.

Yakıt karışımlarında EHN katkı maddesinin kullanılmasıyla CO_2 emisyonlarında azalma olduğu görülmüştür.

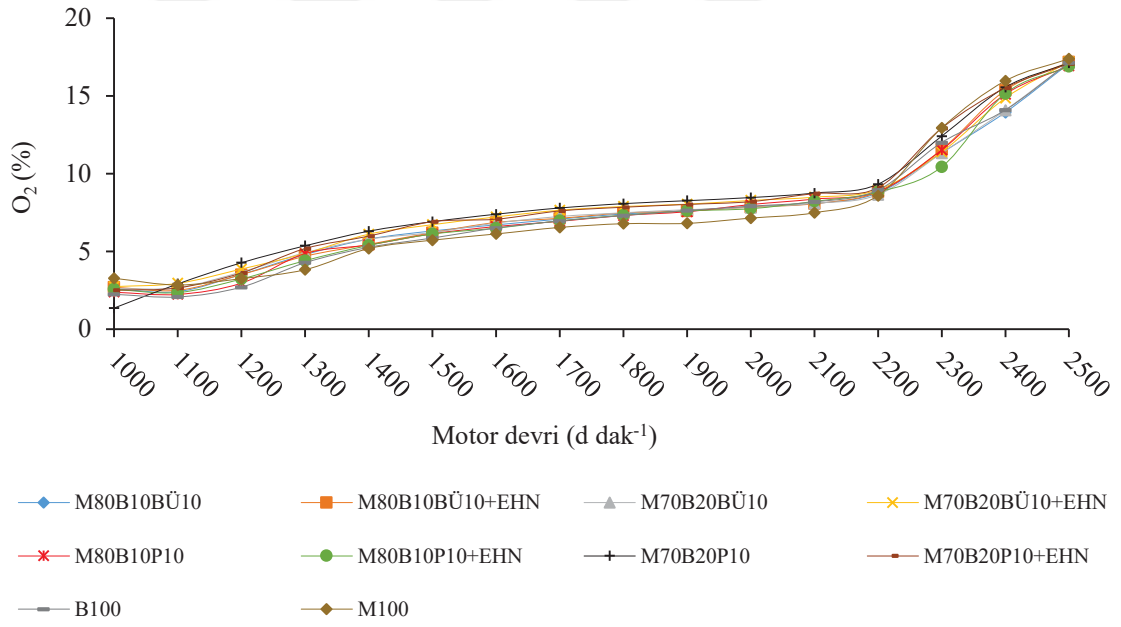
4.4.3. Oksijen (O_2) emisyon değerlerinin karşılaştırılması

Motorinin yapısındaki C atomları, havanın içerisindeki O_2'nin %21'lik kısmını kullanmasıyla oksidasyona uğrayarak yanma reaksiyonunu gerçekleştirmektedir. Farklı oranlarda O_2 içeriğine sahip olan biyodizel ve alkol gibi yakıtların kullanılması veya motorun hacimsel veriminin yüksek olması yanma odasında bulunan O_2 konsantrasyonunun artmasını sağlamaktadır.

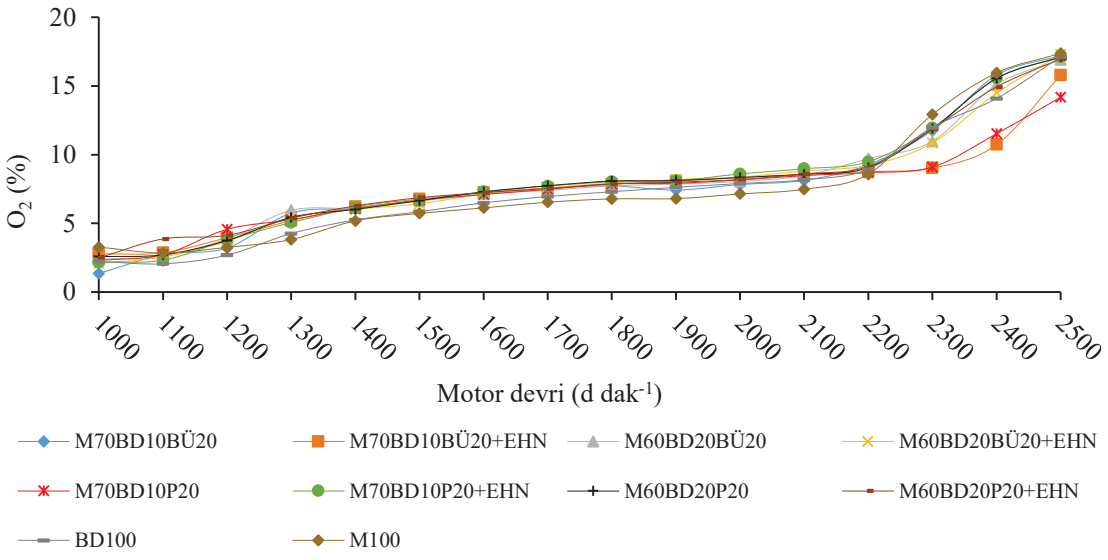
Motorin (M_{100}), biyodizel (B_{100}) ve karışım yakıtlarının (EHN katkılı – katkısız), tam yük şartlarında gerçekleştirilen egzoz emisyon deneylerinde, motor devir sayısına (d dak^{-1}) bağlı olarak elde edilen O_2 emisyonu değerlerinin değişimi Şekil 4.19, 4.20 ve 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.19. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%5 BÜ veya P içeren) ait ait Oksijen (O_2) emisyon değerleri



Şekil 4.20. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%10 BÜ veya P içeren) ait ait Oksijen (O_2) emisyon değerleri



Şekil 4.21. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%20 BÜ veya P içeren) ait ait Oksijen (O_2) emisyon değerleri

Motorin (M_{100}) ve aspir biyodizeli (B_{100}) yakıtlarına ait değerlerin karşılaştırılmaları sonucunda, tüm motor devirlerinde M_{100} yakıtına ait oksijen (O_2) emisyon değerlerinin B_{100}'e göre daha düşük değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Maksimum motor momentinin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde B_{100} yakıtına ait O_2 emisyon değeri %4.27 iken, bu değer M_{100} yakıtında azalma göstererek %3.82 olarak gerçekleşmiştir. Tillem (2005); Aydın ve ark. (2012) Yeşilyurt ve ark. (2018) Çılgın (2015); çalışmalarında tüm yakıtlar ve karışımlar içerisinde en az O_2 emisyon değerinin standart motorin yakıtından (M_{100}) elde edildiğini ifade etmişlerdir. Ağbulut ve ark. (2019) ise dizel yakıtının moleküler içeriğinde oksijen bulunmadığından en düşük O_2 emisyonuna neden olduğunu bildirmişlerdir.

Benzer durum hacimce %10 ve %20 biyodizel ihtiva eden karışım yakıtlarında da söz konusudur. Hacimce aynı oranda bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarında (EHN katkılı ve katkısız) biyodizel oranı arttıkça (%10 ve %20), yakıtlara ait tüm devirlerdeki ortalama O_2 emisyon değerlerinde %0.3 ile 12.8 oranlarında artışlar olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç Yeşilyurt ve ark. (2018) çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir.

Hacimce aynı oranda motorin, biyodizel ve alkol (bütanol veya pentanol) ihtiva eden karışım yakıtlarına ait O_2 emisyonu değerleri kıyaslandığında bütanol ihtiva eden karışım yakıtlarının O_2 emisyon değerlerinin pentanol ihtiva eden yakıtlara göre nispeten daha düşük olduğu belirlenmiştir. Örneğin %20 bütanol içeren $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ karışım yakıtına ait O_2 emisyonu değeri %5.96 iken bu değer bütanol yerine pentanol içeren aynı

yakıtta ($M_{60}B_{20}P_{20}$) azalarak %5.44 olarak gerçekleşmiştir. Bütanolün oksijen içeriğinin pentanolden daha yüksek olması daha fazla O_2 emisyonuna neden olmuştur. Yeşilyurt ve ark. (2018) çalışmalarında da benzer bir ilişki söz konusudur.

Gerek bütanol ve gerekse pentanol ihtiva eden tüm karışım yakıtlarında (EHN katkılı veya katkısız) alkol oranının artmasıyla (%5, 10 ve 20) O_2 emisyonlarının arttığı belirlenmiştir. Benzer sonuçlar Yeşilyurt ve ark. (2018) çalışmalarında da elde edilmiştir.

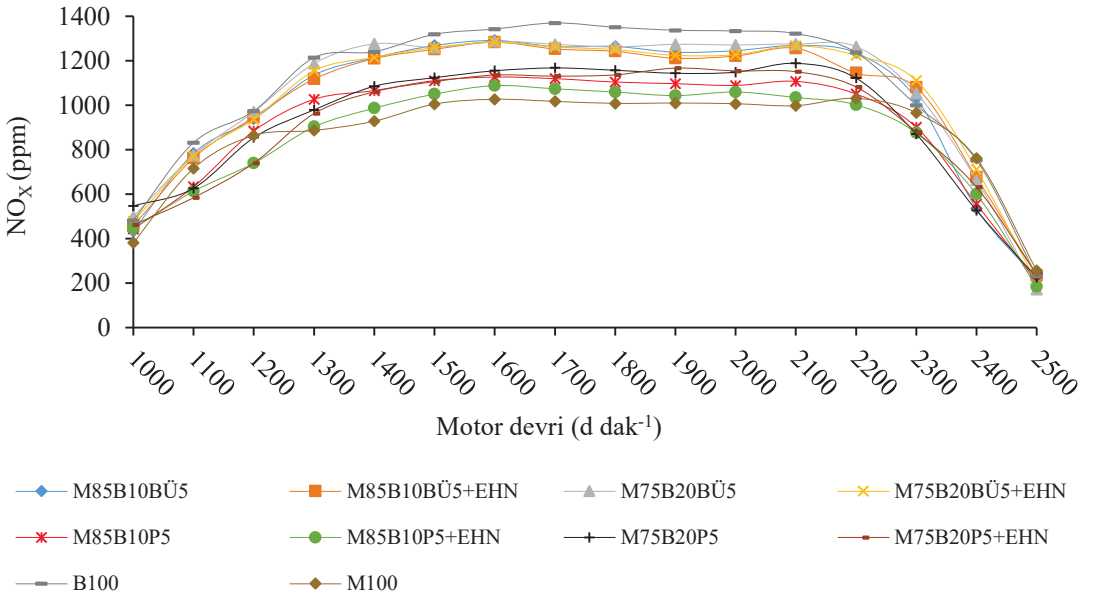
Genel olarak karışım yakıtlarına EHN katkısının ilave edilmesiyle O_2 emisyonlarının bir miktar azaldığı belirlenmiştir.

4.4.4. Azot oksit (NO_x) emisyon değerlerinin karşılaştırılması

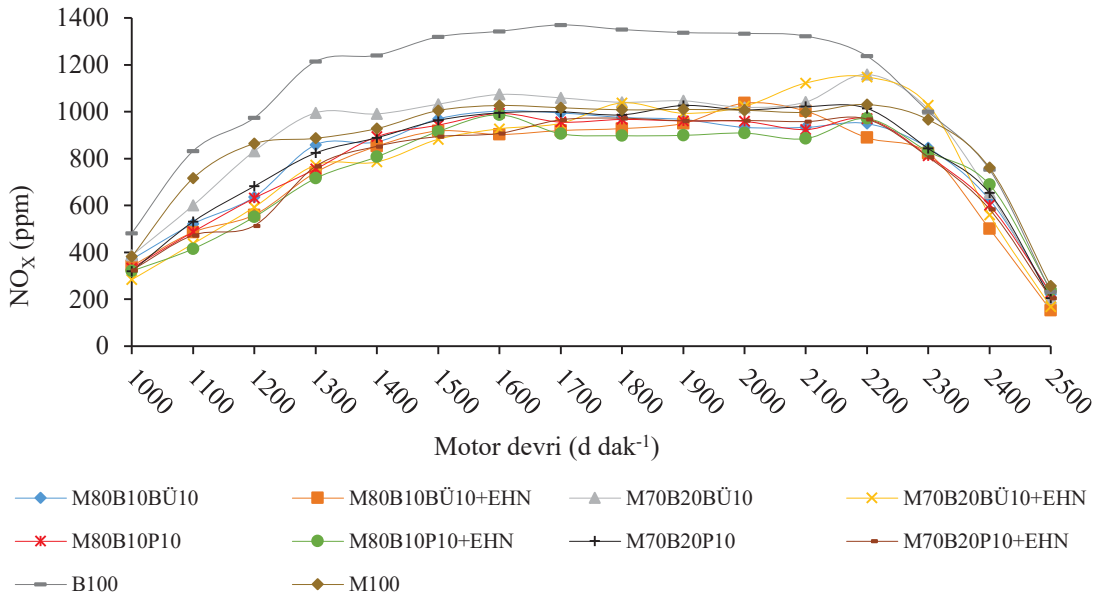
İçten yanmalı motorlarda yanma odasına emilen hava içerisindeki Azot (N_2) gazı, yanma sonucu silindir içerisinde ulaşılan yüksek sıcaklık sonucunda oksijen molekülleri ile reaksiyona girerek istenmeyen azot oksit gazları oluşturmaktadır. Azot oksit gazları içerisinde en fazla gaz olan azot monoksit (NO) çevreye salınımının bir kısmını azot dioksit (NO_2) olarak, diğer kısmını ise azot monoksit (NO_x) gazı olarak gerçekleştirmektedir (Özsezen ve ark., 2006; Candan, 2012). Bu NO_x'ler atmosfere salındıktan sonra asit yağmuru oluşturmaktadır (Örs ve ark., 2017).

Günümüzde oluşan çevre bilinci emisyon gazlarının özellikle de NO_X emisyonunun kontrol altında tutulması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Atmanlı ve Yilmaz, 2020).

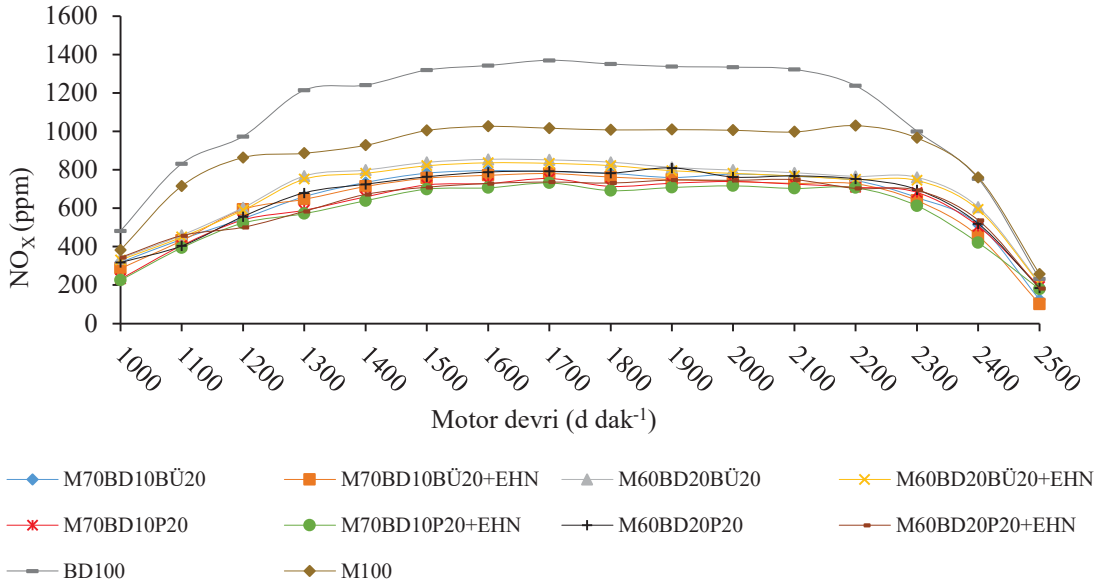
Motorin (M_{100}), biyodizel (B_{100}) ve karışım yakıtlarının (EHN katkılı – katkısız), tam yük şartlarında gerçekleştirilen egzoz emisyon deneylerinde, motor devir sayısına (d dak^{-1}) bağlı olarak elde edilen NO_x emisyonu değerlerinin değişimi Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te verilmiştir. .



Şekil 4.22. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%5 BÜ veya P içeren) ait Azotoksit (NO_x) emisyonu değerlerindeki değişim



Şekil 4.23. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%10 BÜ veya P içeren) ait Azotoksit (NO_x) emisyonu değerlerindeki değişim



Şekil 4.24. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%20 BÜ veya P içeren) ait Azotoksit (NO_x) emisyonu değerlerindeki değişim

Motorin (M_{100}) ve aspir biyodizeli (B_{100}) yakıtlarına ait değerlerin karşılaştırılmaları sonucunda, tüm motor devirlerinde M_{100} yakıtına ait azot oksit (NO_x) emisyon değerlerinin B_{100}'e göre daha düşük değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Maksimum motor momentinin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde B_{100} yakıtına ait NO_x emisyon değeri 1214 ppm iken, bu değer M_{100} yakıtında %27 azalarak 886 ppm olarak gerçekleşmiştir. NO_x emisyon değerinin B_{100} yakıtında standart motorine göre fazla çıkmasını içerisinde barındırdığı oksijen oranının fazla olmasına bağlayabiliriz. Tillem (2005); Altun (2010), çalışmalarında biyodizel yakıtlarının motorine göre daha fazla oksijen içermesi neticesinde yanma sıcaklığının yükseldiğini, bu durumun ortamda azotla okside olabilecek oksijen miktarının yüksek olmasına yol açması nedeni ile NO_x emisyonlarının artmasına sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Benzer durum hacimce %10 ve %20 biyodizel ihtiva eden karışım yakıtlarında da söz konusudur. Hacimce aynı oranda bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarında (EHN katkılı ve katkısız) biyodizel oranı arttıkça (%10 ve %20), yakıtlara ait tüm devirlerdeki ortalama NO_x emisyon değerlerinde %1.3 ile 11.6 oranlarında artışlar olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuç Reşitoğlu (2010a); Manu ve Mahla (2014) çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir.

Karışım yakıtlarında bütanol ve pentanolün kullanımının motorinle kıyaslandığında NO_x emisyonlarını azalttığı görülmüştür. Yeşilyurt (2020) yaptığı çalışmada alkol ihtiva eden yakıtların motorine göre NO_x emisyonlarının daha düşük

olduğu görülmüştür. Altun (2010) çalışmasında, yüksek oranlarda (%10-20) alkol bulunan karışım yakıtlarında motorin yakıtına kıyasla NO_x emisyonlarında azalmalar tespit edildiğini ve alkol yakıtlarının ısıl değerinin düşük olması ve buharlaşma ısılarının yüksek olmasına bağlı olarak soğutma etkisi, yanma sıcaklığını ve NO_x emisyonunu azalttığını bildirmiştir.

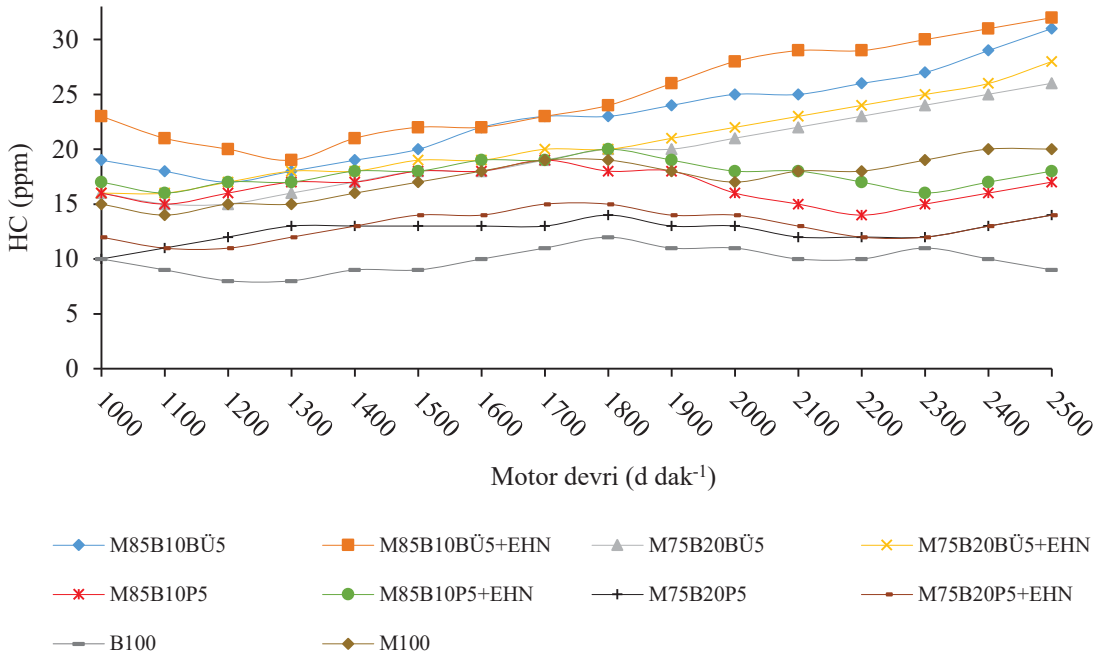
Hacimce aynı oranda motorin, biyodizel ve alkol (bütanol veya pentanol) ihtiva eden karışım yakıtlarına ait NO_x emisyonu değerleri kıyaslandığında bütanol ihtiva eden karışım yakıtlarının NO_x emisyon değerlerinin pentanol ihtiva eden yakıtlara göre nispeten daha düşük olduğu belirlenmiştir. Örneğin %20 bütanol içeren $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ karışım yakıtına ait NO_x emisyonu değeri 767 ppm iken bu değer pentanol içeren yakıtta ($M_{60}B_{20}P_{20}$) %11.47 azalarak 679 ppm olarak gerçekleşmiştir. Benzer ilişki Atmanlı (2016a); Nanthagopal ve ark. (2018)'ın çalışmalarında da görülmektedir.

Gerek bütanol ve gerekse pentanol ihtiva eden tüm karışım yakıtlarında (EHN katkılı veya katkısız) alkol oranının artmasıyla (%5, 10 ve 20) tüm devirlerin ortalaması alındığında NO_x emisyonlarının %30 ile %40 oranları arasında azaldığı belirlenmiştir. Manu ve Mahla (2014); Yilmaz ve ark. (2014) çalışmalarında biyodizel yakıtına eklenen bütanol konsantrasyonun artmasına bağlı olarak NO_x emisyonlarının azaldığını bildirmişlerdir.

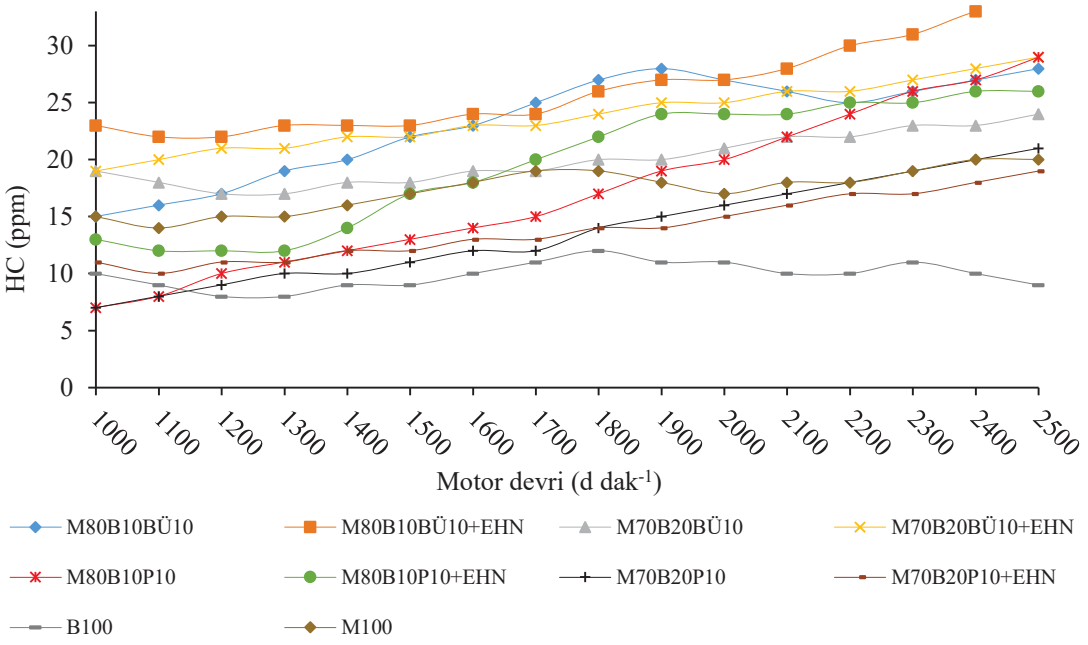
Genel olarak karışım yakıtlarına EHN katkısının ilave edilmesiyle NO_x emisyonlarının bir miktar azaldığı belirlenmiştir. Benzer sonuçlar Atmanlı (2016b) tarafından da bildirilmiştir.

4.4.5. Hidrokarbon (HC) emisyon değerlerinin karşılaştırılması

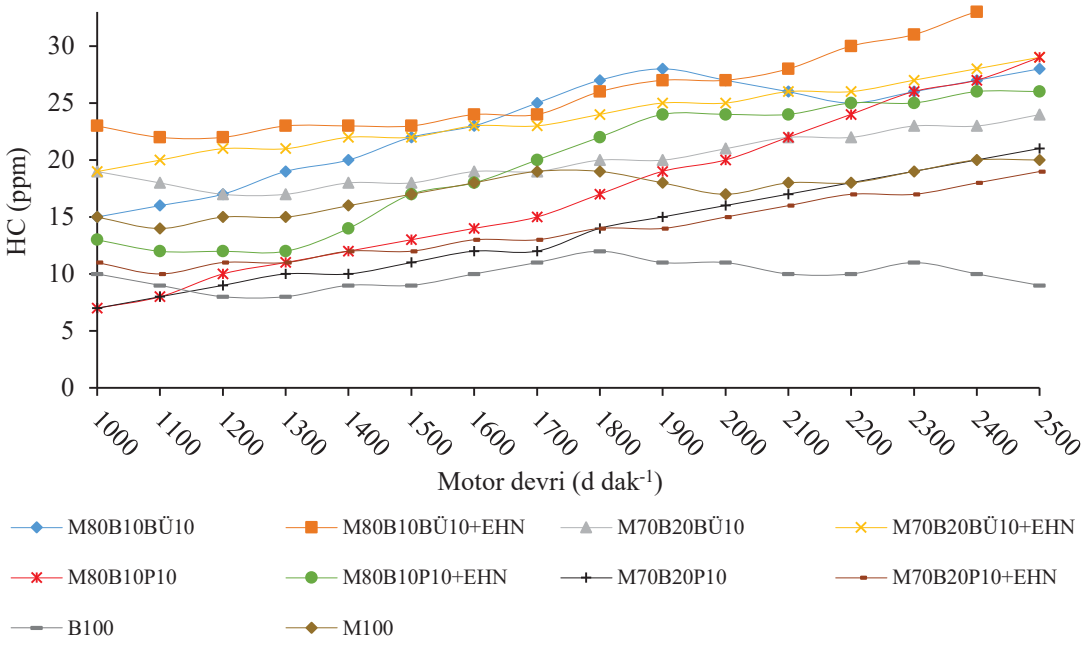
Motorin (M_{100}), biyodizel (B_{100}) ve karışım yakıtlarının (EHN katkılı – katkısız), tam yük şartlarında gerçekleştirilen egzoz emisyon deneylerinde, motor devir sayısına (d dak^{-1}) bağlı olarak elde edilen HC emisyonu değerlerinin değişimi Şekil 4.25, 4.26 ve 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.25. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%5 BÜ veya P içeren) ait ait hidrokarbon (HC) emisyonu değerlerindeki değişim



Şekil 4.26. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%10 BÜ veya P içeren) ait ait hidrokarbon (HC) emisyonu değerlerindeki değişim



Şekil 4.27. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%20 BÜ veya P içeren) ait hidrokarbon (HC) emisyonu değerlerindeki değişim

Motorin (M_{100}) ve aspir biyodizeli (B_{100}) yakıtlarına ait değerlerin karşılaştırılmaları sonucunda, tüm motor devirlerinde M_{100} yakıtına ait hidrokarbon (HC) emisyonu değerlerinin B_{100}'e göre daha yüksek değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Maksimum motor momentinin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde B_{100} yakıtına ait HC emisyon değeri 8 ppm iken, bu değer M_{100} yakıtında 6 ppm artış (%75) göstererek 14 ppm olarak gerçekleşmiştir. Motorin (M_{100}) moleküler içeriğinde oksijen barındırmadığı için B_{100} yakıtına göre HC emisyonları yüksek çıkmıştır. Bu sonuç Aydın ve ark. (2012); Rajasekar (2016)' nın çalışmalarıyla benzerlik göstermektedir

Benzer durum hacimce%10 ve %20 biyodizel ihtiva eden karışım yakıtlarında da söz konusudur. Hacimce aynı oranda bütanol veya pentanol ihtiva eden karışım yakıtlarında (EHN katkılı ve katkısız) biyodizel oranı arttıkça (%10 ve %20), yakıtlara ait tüm devirlerdeki ortalama HC emisyon değerlerinde %6 ile %29 oranlarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Imdadul ve ark. (2016b) tarafıdan yapılan çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Hacimce aynı oranda motorin, biyodizel ve alkol (bütanol veya pentanol) ihtiva eden karışım yakıtlarına ait HC emisyonu değerleri kıyaslandığında, bütanol ihtiva eden karışım yakıtlarının HC emisyon değerlerinin pentanol ihtiva eden yakıtlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Örneğin %20 bütanol içeren $M_{60}B_{20}P_{20}$ karışım yakıtına ait maksimum motor momentinin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde HC emisyonu

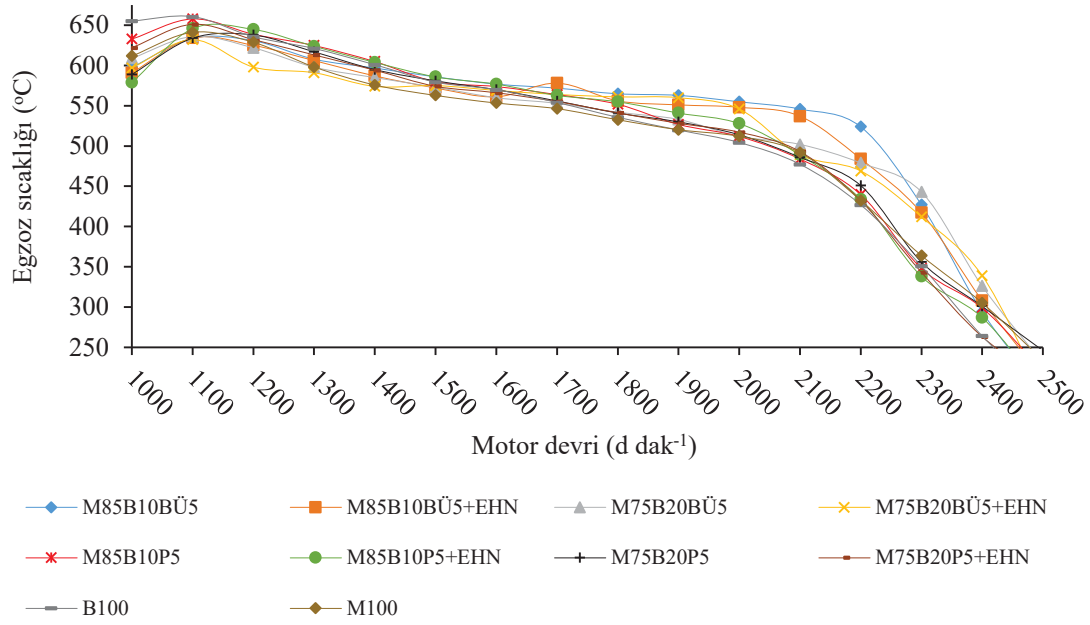
değeri 14 ppm iken bu değer pentanol içeren aynı yakıtta ($M_{60}B_{20}BÜ_{20}$) %28 artışla 18 ppm olarak gerçekleşmiştir. Bütanol ihtiva karışım yakıtlarına (EHN katkılı ve katkısız) ait ortalama HC değerleri M_{100} yakıtına kıyasla %55'e kadar artarken, pentanol ihtiva eden yakıtların ise düşük veya çok yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Atmanlı (2016b)'nin çalışmasında da bütanol içeren yakıtların HC emisyonlarının pentanol ihtiva eden yakıtlara göre daha fazla arttırdığı görülmektedir.

Gerek bütanol ve gerekse pentanol ihtiva eden tüm karışım yakıtlarında (EHN katkılı veya katkısız) alkol oranının artmasıyla (%5, 10 ve 20) tüm devirlerdeki otalama HC emisyonlarının %1 ile %29 oranlarında arttığı belirlenmiştir. Bu durum alkollerin düşük setan sayısına ve yüksek buharlaşma ısısına sahip olması ile açıklanabilir. Düşük setan sayısı ve yüksek buharlaşma ısısı ateşlenmenin gecikmesi ve yanma süresinin kısalmasına neden olduğu için tam yanma gerçekleşememekte bunun bir sonucu olarak HC emisyonu oluşumu gerçekleşmektedir. .Yilmaz ve ark. (2014) bütonal oranının hacimce artışının HC emisyonunu artırdığını, Imdadul ve ark. (2016b) ise hacimce pentanol artışının HC emisyonunu artırdığını bildirmişlerdir. Benzer ilişkiler, Kumar ve Saravanan (2016); Rajasekar (2016); Zhu ve ark. (2016); Nanthagopal ve ark. (2018) çalışmalarında da bulunmuş ve yüksek alkollerin emisyonları iyileştirmek için düşük oranlarda kullanılmasını önermişlerdir.

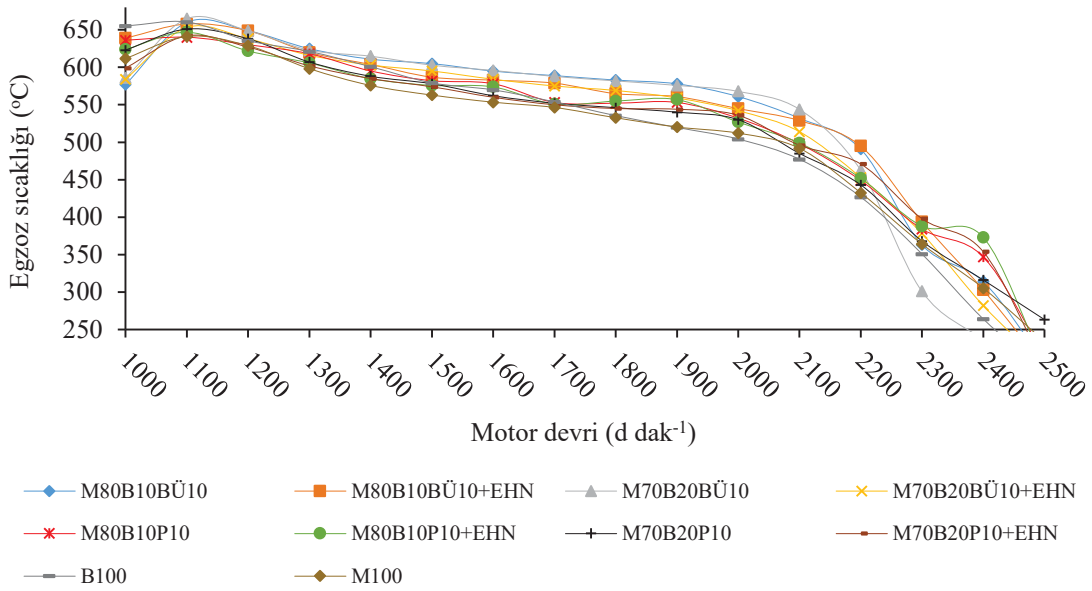
Yakıt karışımlarının tüm devirlerindeki ortalamaları incelendiğinde EHN ilaveli karışımların HC emisyonları EHN ilavesiz karışımlara göre artmıştır. Imdadul ve ark. (2017) çalışmalarında pentanollü yakıt karışımlarına EHN ilavesinin HC emisyon değerlerini arttığını bildirmişlerdir.

4.4.6. Egzoz gazı sıcaklığı değerlerinin karşılaştırılması

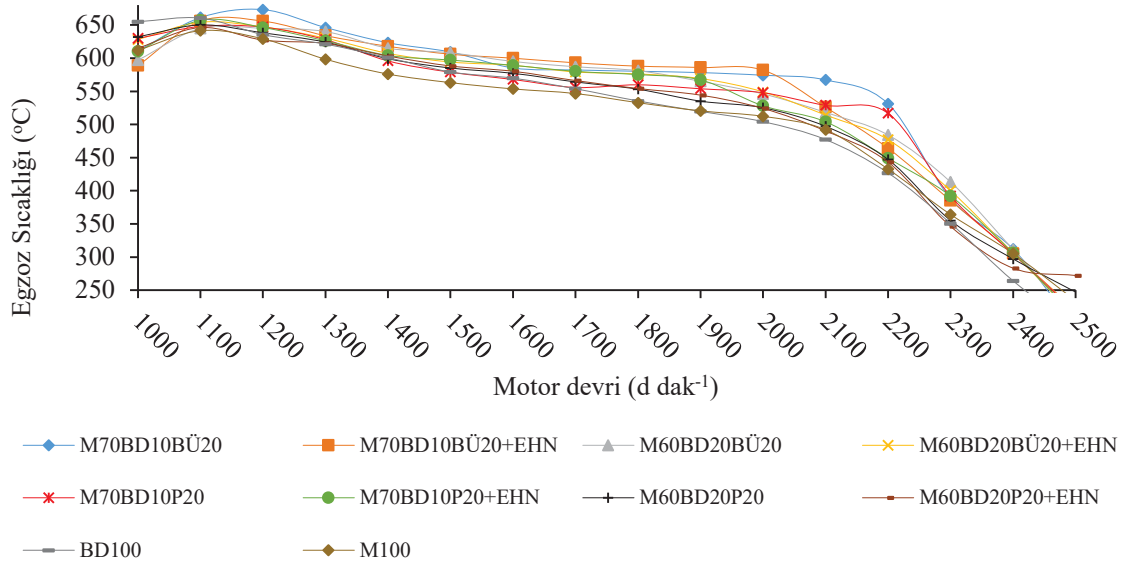
Motorin (M_{100}), biyodizel (B_{100}) ve karışım yakıtlarının (EHN katkılı – katkısız), tam yük şartlarında gerçekleştirilen egzoz emisyon deneylerinde, motor devir sayısına (d dak^{-1}) bağlı olarak elde edilen egzoz gazı sıcaklığı değerlerinin değişimi Şekil 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.28. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%5 BÜ veya P içeren) ait egzoz gazı sıcaklığı değerlerindeki değişim



Şekil 4.29. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%10 BÜ veya P içeren) ait egzoz gazı sıcaklığı değerlerindeki değişim



Şekil 4.30. Motor devir sayısına bağlı olarak M_{100}, B_{100} ve karışım yakıtlarına (%20 BÜ veya P içeren) ait egzoz gazı sıcaklığı değerlerindeki değişim

Motorin (M_{100}) ve aspir biyodizeli (B_{100}) yakıtlarına ait değerlerin karşılaştırılmaları sonucunda, tüm motor devirlerinde M_{100} yakıtına ait egzoz emisyon sıcaklığı değerlerinin B_{100}'e göre daha düşük değerler gösterdiği tespit edilmiştir. Maksimum motor momentinin elde edildiği 1300 d dak^{-1} motor devrinde M_{100} yakıtına ait egzoz emisyon sıcaklığı değeri 598°C iken, bu değer B_{100} yakıtında %3.84 artarak 621°C olarak gerçekleşmiştir. Atmanlı (2016b); Rajasekar (2016); Şahin ve Öğüt (2018)'ün çalışmalarında da benzer olarak biyodizel yakıtının egzoz gazı sıcaklığının motorine göre arttığı tespit edilmiştir. (Rajasekar, 2016) çalışmasında biyodizelin daha yavaş yanması nedeniyle motorinden daha yüksek egzoz gazı sıcaklığı verdiğini ifade etmiştir.

Motorin yakıtı ile karşılaştırıldığında karışım yakıtlarında bütanol ve pentanol kullanımının daha yüksek egzoz gazı sıcaklıklarına ulaştığı görülmüştür. Bunun başlıca nedeni, yanma odasındaki oksijen bakımından zengin bölgeleri artıran alkollerdeki oksijen miktarının, daha yüksek silindir içi sıcaklıklara ve egzoz gazı sıcaklıklarına neden olmasıdır (Atmanlı, 2016b).

Hacimce aynı oranda motorin, biyodizel ve alkol (bütanol veya pentanol) ihtiva eden karışım yakıtlarına ait egzoz emisyon sıcaklıkları değerleri kıyaslandığında bütanol ihtiva eden karışım yakıtlarının egzoz gazı sıcaklığı değerlerinin pentanol ihtiva eden yakıtlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Örneğin %20 bütanol içeren $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ karışım yakıtına ait egzoz gazı sıcaklığı 640°C iken bu değer pentanol içeren

aynı yakıtta ($M_{60}B_{20}P_{20}$) 624ºC olarak gerçekleşmiştir. Atmanlı (2016b); Rajasekar (2016) çalışmalarındaki grafiklerin incelenmesinden egzoz emisyon sıcaklıkları bakımından bütanol içeren yakıtların pentanol içeren yakıtlara göre daha yüksek değerler gösterdiği anlaşılmaktadır.

Gerek bütanol ve gerekse pentanol ihtiva eden tüm karışım yakıtlarında (EHN katkılı veya katkısız) alkol oranının artmasıyla (%5, 10 ve 20) egzoz gazı sıcaklıklarının arttığı belirlenmiştir. Bu sonuç (Atmanlı, 2016b) çalışmasıyla benzerlik göstermektedir.

Yakıtlara EHN katkısının ilave edilmesiyle egzoz gazı sıcaklıklarının düştüğü tespit edilmiştir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Tüm karışım yakıtlarına ait yakıt özellikleri, emisyon ve performans değerleri genel olarak değerlendirildiğinde;

- En yüksek yoğunluk değeri 0.8885 g cm^{-3} ile B_{100}, karışım yakıtları içerisinde ise 0.8388 g cm^{-3} değeri ile $M_{85}B_{10}P_5$ yakıtından elde edilmiştir. En düşük yoğunluk değeri ise 0.830 g cm^{-3} ile M_{100} yakıtında, karışım yakıtları içerisinde ise 0.8337 g cm^{-3} değeri ile $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN yakıtından elde edilmiştir.
- Kinematik viskozite değeri tüm yakıtlar içerisinde en fazla 4.57 mm^2 s^{-1} ile B_{100} yakıtında, karışım yakıtları içerisinde ise 2.83 mm^2 s^{-1} ile $M_{85}B_{10}P_5$ yakıtından elde edilmiştir. En düşük kinematik viskozite değeri ise 2.52 mm^2 s^{-1} ile $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN yakıt karışımında belirlenmiştir.
- Isıl değer tüm yakıtlar içerisinde en fazla 43.47 Mj kg^{-1} değeri ile M_{100} yakıtından elde edilirken, karışım yakıtları içerisinde ise 42.1 Mj kg^{-1} değeri ile $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtında elde edilmiştir. En düşük ısıl değerini veren yakıt ise 40.13 Mj kg^{-1} ile B_{100} yakıtı olmuştur.
- En yüksek parlama noktası 160ºC ile B_{100} yakıtından elde edilmiştir.
- En düşük bulutlanma noktası değeri -13.9ºC ile M_{100}, karışım yakıtlarında ise -4.2ºC değeri ile $M_{70}B_{10}P_{20}$ ve $M_{60}B_{20}P_{20}$ karışım yakıtlarında tespit edilmiştir. En yüksek bulutlanma noktası değeri ise -1.4ºC ile $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN yakıtından elde edilmiştir.
- Soğuk filtre tıkanma noktası en düşük -22ºC ile M_{100} yakıtında, karışım yakıtlar içerisinde ise -14ºC değeri ile $M_{75}B_{20}P_5$ ve $M_{85}B_{10}P_5$ yakıtlarından elde edilmiştir. En yüksek soğuk filtre tıkanma noktası değerleri ise -10ºC ile B_{100}, $M_{70}B_{20}BÜ_{10}$+EHN ve $M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN yakıtlarından elde edilmiştir.
- Akma noktası değerleri B_{100} yakıtında -15ºC, motorin ve karışım yakıtlarının tamamında ise -20ºC' den daha düşük bulunmuştur.
- Tüm yakıt ve karışımlarına ait bakır şerit korozyonu 1a sınıfında olduğu belirlenmiştir.
- En yüksek su içeriği değeri 499 ppm ile $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$ 'da, en düşük su içeriği değeri ise 48.015 ppm ile M_{100} yakıtında tespit edilmiştir.

- Yakıtlar içerisinde en yüksek setan sayısı 55.8 ile $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtından, en düşük setan sayısı ise 48.8 ile $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtında elde edilmiştir.
- En yüksek efektif güç değeri maksimum gücün elde edildiği 2100 d dak^{-1}'da 84.86 BG ile M_{100}, karışım yakıtlarından ise 83.62 BG ile $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtından elde edilmiştir. En düşük efektif güç değeri ise 71.52 BG ile $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtında tespit edilmiştir.
- En yüksek tork değerini veren yakıt maksimum torkun elde edildiği 1300 d dak^{-1}'da 339.65 Nm ile M_{100} yakıtı, karışım yakıtları içersinde ise 336.88 Nm değeri ile $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtı olmuştur. En düşük tork değeri ise 314.65 Nm ile $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtında tespit edilmiştir.
- En düşük özgül yakıt tüketimi değeri 1600 d dak^{-1}'da 191.37 g BGh^{-1} ile M_{100}, karışım yakıtlarından ise 195.29 g BGh^{-1} ile $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtından elde edilmiştir. En yüksek özgül yakıt tüketimi değeri ise 209.4 g BGh^{-1} ile $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtında tespit edilmiştir.
- En düşük ortalama CO emisyonu değeri 4012 ppm ile B_{100}, karışım yakıtlarında ise 4056 ppm ile $M_{60}B_{20}P_{20}$ yakıtından elde edilmiştir. En yüksek CO emisyonu değeri 5293 ppm ile M_{100} yakıtında, karışım yakıtları içersinde en yüksek değer 4850 ppm ile $M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN yakıtında gerçekleşmiştir.
- En düşük ortalama CO_2 emisyonu %8.23 değeri ile $M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN yakıtında tespit edilmiştir. En yüksek CO_2 emisyonu değerini veren yakıt %9.32 ile $B_{100,}$ karışım yakıtlarında ise %9.29 ile $M_{75}B_{20}BÜ_5$ yakıtı olmuştur.
- En düşük ortalama HC emisyonu değeri 9.9 ppm ile B_{100} yakıtında karışım yakıtlarında ise 12.6 ppm ile $M_{75}B_{20}P_5$ yakıtında tespit edilmiştir. En yüksek HC emisyonu ise 26.9 ppm değeri ile $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$+EHN yakıtından elde edilmiştir.
- En düşük ortalama O_2 emisyonu %6.59 değeri ile $M_{85}B_{10}BÜ_5$+EHN yakıtında, en yüksek O_2 emisyonu değeri ise %8.09 ile $M_{60}B_{20}P_{20}$+EHN yakıtında tespit edilmiştir.
- En düşük ortalama NO_x emisyonu, 576 ppm değeri ile $M_{70}B_{10}P_{20}$+EHN yakıtında belirlenmiştir. En yüksek değer ise 1089 ppm ile B_{100}, karışım yakıtları içersinde ise 1047 ppm değeri ile $M_{75}B_{20}BÜ_5$ yakıtından elde edilmiştir.

- En düşük ortalama egzoz gazı sıcaklığı değeri 506ºC ile M_{100}, karışım yakıtlarında ise 508ºC değeri ile $M_{75}B_{20}P_5$+EHN yakıtında belirlenmiştir. En yüksek egzoz gazı sıcaklığı değeri ise 544ºC ile $M_{70}B_{10}BÜ_{20}$ yakıtında tespit edilmiştir.

Karışım yakıtlarına ait motor performansı değerleri genel olarak değerlendirildiğinde, M_{100} yakıtına en yakın sonuçlar $M_{85}B_{10}P_5$+EHN yakıtından elde edilirken en kötü sonuçlar ise $M_{60}B_{20}BÜ_{20}$ yakıtından elde edilmiştir.

Karışım yakıtlarında pentanol ihtiva eden yakıtların bütanol ihtiva eden yakıtlara göre performans ve emisyon sonuçlarının daha iyi olduğu görülmüştür.

Karışımlarda katkı maddesi olarak kullanılan 2-Etilhekzil Nitrat katkı maddesinin hem motor performanslarını hem de emisyonları iyileştirmede olumlu etkiler gösterdiği tespit edilmiştir.

4.2. Öneriler

- Yüksek alkol grubuna giren yakıtların (bütanol, pentanol vb.) yerli kaynaklar kullanılarak Türkiye'de üretilmesi maliyeti azaltıp ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.
- Çalışmada kullanılan yakıtlar termodinamik, çevresel ve ekonomik açıdan da incelenebilir.
- Farklı motor tiplerinde, uzun süreli testler yapılarak karışım yakıtlarının motor parçaları ve yakıt sistemine etkileri araştırılmalıdır.
- Farklı hammaddelerden elde edilen biyodizeller motorin, bütanol ve pentanol yakıtlarıyla hacimce farklı oranlarda karıştırılıp kıyaslama yapılmalıdır.
- Yüksek alkol grubuna giren diğer yakıtların dizel motorlarda kullanılabilirliği araştırılmalıdır.
- Motorin/biyodizel/bütanol veya pentanol karışım yakıtlarının uzun süreli testleri sonucunda motor yağına etkisi incelenmelidir.

KAYNAKLAR

Acaroğlu, M., Ünaldı, M. ve Aydoğan, H., 2010, Yakıtlar ve yanma, *Ankara*, Nobel Yayınevi, p. 163.

Acaroğlu, M. ve Köse, H., 2020, Cynara Cardunculus' dan üretilen biyodizel ve karışımlarının İçten yanmalı motorların yanma karakteristikleri ve emisyonları üzerine etkilerinin incelenmesi, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (3), 1275-1292.

Ağbulut, Ü., Sarıdemir, S. ve Albayrak, S., 2019, Experimental investigation of combustion, performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with diesel–biodiesel–alcohol blends, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41 (9), 1-12.

Akdere, Y., 2006, Soya yağın metil esterinin dizel motorlarda yakıt olarak kullanımının deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi*, Balıkesir, 134.

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

Aktaş, A. ve Şahin, Ö. J. U. U. J. o. T. F. o. E., 2009, Dizel/biyodizel karışımı ile çalışan bir motorun performans ve emisyonlarını iyileştirmek için hidrojen kullanılması, 14 (1).

Ali, O. M., Mamat, R., Abdullah, N. R. ve Abdullah, A. A., 2016, Analysis of blended fuel properties and engine performance with palm biodiesel–diesel blended fuel, *Renewable Energy*, 86, 59-67.

Alpgiray, B., 2006, Kanola yağının diesel motorunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi* Ankara, 85.

Alptekin, E., 2013, Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve bir dizel motorda kullanımının incelenmesi, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi*, Kocaeli, 182.

Altınsoy, A., 2007, Biyodizel üretimi motorlarda kullanımı ve Türkiye'deki kaynakların incelenmesi. , Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Altun, Ş., 2010, Dizel motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde biyodizel yakıtların etkisi, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 2 (1), 9-19.

Anastopoulos, G., Zannikou, Y., Stournas, S. ve Kalligeros, S., 2009, Transesterification of vegetable oils with ethanol and characterization of the key fuel properties of ethyl esters, *Energies*, 2 (2), 362-376.

Anonim, 2002, Understanding Cfpp, https://www.bp.com/content/dam/bp-country/en_au/products-services/service-stations/downloads/Understanding-Cold-Filter-Plugging-Point.pdf, Erişim Tarihi: 05.09.2019., *BP Australia Limited*.

Anonim, 2011a, TSE, Tahıl ve baklagiller - 1000 dane kütlesi tayini. tst EN ISO 520, Ankara.

Anonim, 2011b, Aile ve tüketici hizmetleri - Yenilenebilir Enerji Kaynakları I. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. Ankara.

Anonim, 2012, Yenilenebilir enerji teknolojileri-Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. Ankara.

Anonim, 2015, Tarım Teknolojisi, Yağ Bitkileri Yetiştiriciliği T.C. Milli Eğitim Bakanlığı. Ankara.

Anonim, 2019, Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx, Erişim Tarihi: 08.08.2019.

Anonim, 2020a, https://tr.m.wikipedia.org/wiki/N-B%C3%BCtanol, Erişim Tarihi: 010.02.2021.
Anonim, 2020b, https://ro.wikipedia.org/wiki/1-butanol, Erişim Tarihi: 10.02.2021.
Anonim, 2020c, https://en.m.wikipedia.org/wiki/1-Pentanol, Erişim Tarihi: 09.02.2021.
Anonim, 2020d, https://tr.wikipedia.org/wiki/Aspir, Erişim Tarihi: 28.01.2021.
Anonim, 2020e, https://www.bitkicenter.com/yalanci-safran-nedir, Erişim Tarihi: 28.01.2021.
Anonim, 2020f, https://www.kozanbilgi.net/aspir-aspir-yetistiriciligi.html, Erişim Tarihi: 28.01.2021.
Anonim, 2020g, http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC, Erişim Tarihi: 28.01.2021.
Anonim, 2020h, https://www.1milyarbilgi.com/haber/aspir-cicegi-nedir-faydalari-nelerdir-haberi-2023.html, Erişim Tarihi: 28.01.2021.
Anonim, 2021, https://www.irena.org/bioenergy , Erişim Tarihi:19.03.2021). .
Arslan, B., Çakir, H. ve Culpan, E., 2019, Yeni geliştirilen aspir (Carthamus Tinctorius L.) çeşitlerinin bazı özellikleri bakımından karşılaştırılması. 2. Uluslararasi 19 Mayis Yenilikçi Bilimsel Yaklaşimlar Kongresi, Uygulamalı Bilimler. Samsun: 113-121.
Aslantaş, A., 2018, Dünya'da ve Türkiye'de biyokütle enerjisinin kullanımı ve potansiyeli, Yüksek Lisans Tezi, *KTO Karatay Üniversitesi*, Konya.
Atmanlı, A., 2013, Dizel motorunda dizel yakıtı-alkol-bitkisel yağ karışımları kullanımının motor karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi*, Fen Bilimleri Enstitüsü.
Atmanlı, A., Yüksel, B. ve Ileri, E., 2013, Experimental investigation of the effect of diesel–cotton oil–n-butanol ternary blends on phase stability, engine performance and exhaust emission parameters in a diesel engine, *Fuel* 109, 503-511.
Atmanlı, A., Ileri, E. ve Yüksel, B., 2015a, Effects of higher ratios of n-butanol addition to diesel–vegetable oil blends on performance and exhaust emissions of a diesel engine, *Journal of the Energy Institute*, 88 (3), 209-220.
Atmanlı, A., Yüksel, B., İleri, E. ve Karaoğlan, A. D., 2015b, Response surface methodology based optimization of diesel–n-butanol–cotton oil ternary blend ratios to improve engine performance and exhaust emission characteristics, *Energy Conversion and Management*, 90, 383-394.
Atmanlı, A., 2016a, Effects of a cetane improver on fuel properties and engine characteristics of a diesel engine fueled with the blends of diesel, hazelnut oil and higher carbon alcohol, *Fuel*, 172, 209-217.
Atmanlı, A., 2016b, Comparative analyses of diesel–waste oil biodiesel and propanol, n-butanol or 1-pentanol blends in a diesel engine, *Fuel* 176, 209-215.
Atmanlı, A. ve Yilmaz, N., 2020, An experimental assessment on semi-low temperature combustion using waste oil biodiesel/C3-C5 alcohol blends in a diesel engine, *Fuel*, 260, 116357.
Avcıoğlu, A. O., 2011, Tarımsal kökenli yenilenebilir enerjiler: biyoyakıtlar, Nobel Akademik Yayıncılık, p.
Aydın, E., 2012, Bazı aspir (carthamus tinctorius l.) çeşitlerinin samsun ekolojik koşullarında verim, verim unsurları ve kalite kriterlerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi*, Samsun.
Aydın, F., 2014a, EB motorin yakıtlarının tek silindirli bir dizel motorda kullanımının motor performansına, emisyonlara ve yağlama yağına etkileri, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Aydın, F., 2014b, E-B Motorin yakıtlarının tek silindirli bir dizel motorda kullanımının motor performansına, emisyonlara ve yağlama yağına etkileri, Doktara Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Aydın, F. ve Öğüt, H., 2017, Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions, *Renewable energy*, 103, 688-694.

Aydın, H., 2016, Scrutinizing the combustion, performance and emissions of safflower biodiesel–kerosene fueled diesel engine used as power source for a generator, *Energy Conversion and Management*, 117, 400-409.

Aydın, S., Aydın, H. ve İlkılıç, C., 2012, Biyodizelin hava kirliliğine etkisi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 1 (2), 329-338.

Aydoğan, H., 2015, Performance, emission and combustion characteristics of bioethanol-biodiesel-diesel fuel blends used in a common rail diesel engine, *J. of Thermal Science and Technology*, 35 (2), 19-27.

Babaoğlu, M., 2006, Aspir bitkisi ve tarımı. TAYEK 2007 Yılı Tarla Bitkileri Grubu Bilgi Alışveriş Toplantısı Bildirileri, *Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü*, *Menemen, İZMİR*, 170-193.

Babaoğlu, M., 2017, Dünya'da ve Türkiye'de aspir bitkisinin tarihi, kullanım alanları ve önemi, *Tarım Gündem Dergisi*, 6, 98-102.

Babu, V. ve Murthy, M., 2017, Butanol and pentanol: The promising biofuels for CI engines–A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 1068-1088.

Bayramoğlu, T., 2013, Biyokütle enerjisi ve yerel ekonomik kalkınma: TRA1 Bölgesi'nde (Erzurum-Erzincan-Bayburt) biyokütle potansiyeli ve ekonomik etkileri üzerine bir saha araştırması, *Yayınlanmamış Doktora Tezi). Erzurum: Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.

Bengisu, G., 2014, Alternatif yakıt kaynağı olarak biyoetanol, *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 27 (2).

Bergman, J. W. ve Flynn, C. R., 2008, Evaluation of safflower and other oilseed crops grown in the United States Northern Plains Region for biofuels/biobased products, *Proceedings of VIIth International Safflower Conference*, 3-6.

Borovalı, S., 2019, Dünya'da ve Türkiye'de biyodizel sektörünün bugünü ve yarını (online), biyodizel sanayi derneği, https://www.worldenergy.org.tr/wp-content/uploads/2019/04/SelcukBorovaliSunum.pdf (Ziyaret Tarihi: 14.11.2020)

Campos-Fernández, J., Arnal, J. M., Gómez, J. ve Dorado, M. P., 2012, A comparison of performance of higher alcohols/diesel fuel blends in a diesel engine, *Applied energy*, 95, 267-275.

Candan, F., 2012, Dizel metanol ve katkı maddelerinin dizel motor performansı ve emisyona etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.

Ciniviz, M., Örs, İ., Kul, B. S. J. I. J. o. A. S. ve Technology, 2017, The effect of adding EN (2-ethylhexyl nitrate) to diesel-ethanol blends on performance and exhaust emissions, 1 (1), 16-21.

Çalışkan Eleren, S. ve Öner, B., 2019, Sürdürülebilir ve çevre dostu biyoyakıt hammaddesi: Mikroalgler, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25 (3).

Çanakçı, M., 2006, Atık yağların biyodizelde kullanımı ve performansa etkileri, *Kocaeli Sanayi Odası*.

Çavaş, M., 2017, Yenilenebilir enerji kaynaklarinin önemi, avantajları, ekonomik ve doğal çevre üzerindeki etkileri, *UMTEB-I*, Batum-Georgia, 136-146.

Çekim, İ. ve Özarslan, C., 2020, Marul tohumunun bazı fiziko-mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8 (1), 89-97.

Çelebi, Y. ve Aydın, H., 2018, Investigation of the effects of butanol addition on safflower biodiesel usage as fuel in a generator diesel engine, *Fuel*, 222, 385-393.

Çelikten, İ., 2004, Tam yükte çalışan indirekt püskürtmeli bir dizel motorda, dizel ve dizel etanol yakıt karışımlarının performans ve emisyon değişimlerine etkisi, *Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Teknoloji Dergisi*, 7 (1), 11-18.

Çıldır, O. ve Çanakçı, M., 2006, Çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretiminde katalizör ve alkol miktarının yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi, , *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der*, 21 (2), 367-372.

Dayıoğlu, M. A., 2013, Biyokütleden sürdürülebilir biyoyakıt üretimi: Biyorafineri yaklaşımı, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 9 (4), 313-320.

Erol, A., Kemanoğlu, F., Ay, M. A. ve Uysal, B. Z., 2006 Değişik yağlardan elde edilen biyodizelin karşılaştırılması *Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu* Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bornova, İzmir s 83-94.

Erol, K., 2019, Atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Afyon, 65.

Eryılmaz, T., 2009, Hardal yağı biyodizelinde farklı karışım oranlarının dizel motorlarda performansa etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi* Konya, 145.

Eryılmaz, T., Cesur, C., Yeşilyurt, M. K. ve Aydın, E., 2014, Aspir (Carthamus tinctorius L.), Remzibey-05 tohum yağı metil esteri: potansiyel dizel motor uygulamaları için yakıt özellikleri, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1 (1), 85-90.

Güner, E. D. ve Turan, E. S., 2017, Yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel iklim değişikliği üzerine etkisi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3 (1), 48-55.

Gürsoy, M., Başalma, D. ve Nofouzı, F., 2018, Farklı sıra arası ve sıra üzeri mesafelerin aspir (Carthamus tinctorius L.) çeşitlerinin verim ve verim ögelerine etkileri, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 32 (1), 20-28.

Hiçdurmaz, B., 2019, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları ve politikaları, *Social Sciences Studies Journal*, 5 (34), 2223-2230.

Horuz, A., Korkmaz, A. ve Akınoğlu, G., 2015, Biyoyakıt bitkileri ve teknolojisi, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3 (2), 69-81.

Hosseinzadeh Samani, B., Ansari Samani, M., Shirneshan, A., Fayyazi, E., Najafi, G. ve Rostami, S. J. B., 2020, Evaluation of an enhanced ultrasonic-assisted biodiesel synthesized using safflower oil in a diesel power generator, 11 (4), 523-532.

İleri, E., 2016, Experimental study of 2-ethylhexyl nitrate effects on engine performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with n-butanol or 1-pentanol diesel–sunflower oil blends, *Energy conversion and management*, 118, 320-330.

İlhan, P., 2007, Çay tohumu yağının biyodizel üretiminde değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 79.

İlkdoğan, U. ve Olhan, E., 2012, Türkiye'de aspir üretimi için gerekli koşullar ve oluşturulacak politikalar, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi* Ankara, 193.

İmal, M., Kaya, A. ve Sincar, O., 2017, Zeytinyağı biyodizelinin motor performansı ve egzoz emisyonu üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, *Tarim ve Doğa Dergisi*, 20 (3), 283.

Imdadul, H., Masjuki, H., Kalam, M., Zulkifli, N., Alabdulkarem, A., Rashed, M. ve Ashraful, A., 2016a, Influences of ignition improver additive on ternary (diesel-biodiesel-higher alcohol) blends thermal stability and diesel engine performance, *Energy Conversion and Management*, 123, 252-264.

Imdadul, H., Masjuki, H., Kalam, M., Zulkifli, N., Alabdulkarem, A., Rashed, M., Teoh, Y. ve How, H., 2016b, Higher alcohol–biodiesel–diesel blends: an approach for improving the performance, emission, and combustion of a light-duty diesel engine, *Energy Conversion and Management*, 111, 174-185.

Imdadul, H., Rashed, M., Shahin, M., Masjuki, H., Kalam, M., Kamruzzaman, M., Rashedul, H. J. E. C. ve Management, 2017, Quality improvement of biodiesel blends using different promising fuel additives to reduce fuel consumption and NO emission from CI engine, 138, 327-337.

Kaplan, M., Aydin, S. ve Fidan, M. S., 2009, Geleceğin alternatif enerji kaynağı biyoetanolün önemi ve sorgum bitkisi, *KSU Journal of Engineering Sciences*, 12 (1), 24-33.

Kapluhan, E., 2014, Enerji coğrafyası açısından bir inceleme: biyokütle enerjisinin dünyadaki ve Türkiye'deki kullanım durumu, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 30, 97-125.

Karabaş, H., 2013, Kışlık kanola çeşitlerinden Californium'dan üretilen biyodizelin diesel motorlarda kullanıma uygunluğunun incelenmesi, *Toprak Su Dergisi*, 2 (1), 46-52.

Karabektas, M. ve Hosoz, M., 2009, Performance and emission characteristics of a diesel engine using isobutanol–diesel fuel blends, *Renewable Energy*, 34 (6), 1554-1559.

Keskin, A., Yaşar, A., Reşitoğlu, İ., Akar, M. A. ve Sugözü, İ., 2013, The influence of diesel fuel-biodiesel-ethanol-butanol blends on the performance and emission characteristics of a diesel engine, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 35 (19), 1873-1881.

Keskin, A. J. A. K. Ü. F. V. M. B. D., 2017, Pamuk Yağı Biyodizeli-Eurodizel Karışımlarının Tam Yükte Yanma, Performans ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, 17 (2), 797-809.

Kobuk, M., Ekinci, K. ve Erbaş, S., 2019, Aspir (Carthamus tinctorius L.) genotiplerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, *Tarim ve Doğa Dergisi*, 22 (1), 89.

Koç, H., Güneş, A. ve Aydoğan, S., 2017, Bahri Dağdaş Uluslararası Tarımsal Araştırma Enstitüsü Aspir Islah Çalışmaları, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 31 (3), 58-61.

Köse, A., 2017, Eskişehir koşulları altında bazı aspir (Carthamus tinctorius L.) çeşitlerinin tarımsal performanslarının belirlenmesi, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 31 (2), 1-7.

Krawczyk, T., 1996, Biodiesel-alternative fuel makes inroads but hurdles remain, *inform*, 7, 801-815.

Kumar, B. R. ve Saravanan, S., 2016, Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 84-115.

Kumar, S., Cho, J. H., Park, J., Moon, I. J. R. ve Reviews, S. E., 2013, Advances in diesel–alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines, 22, 46-72.

Leevijit, T. ve Prateepchaikul, G., 2011, Comparative performance and emissions of IDI-turbo automobile diesel engine operated using degummed, deacidified mixed crude palm oil–diesel blends, *Fuel*, 90 (4), 1487-1491.

Lešnik, L., Iljaž, J., Hribernik, A. ve Kegl, B., 2014, Numerical and experimental study of combustion, performance and emission characteristics of a heavy-duty DI diesel engine running on diesel, biodiesel and their blends, *Energy Conversion and Management*, 81, 534-546.

Li, L., Wang, J., Wang, Z. ve Xiao, J., 2015, Combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel/biodiesel/pentanol fuel blends, *Fuel*, 156, 211-218.

Lujaji, F., Kristóf, L., Bereczky, A. ve Mbarawa, M., 2011, Experimental investigation of fuel properties, engine performance, combustion and emissions of blends containing croton oil, butanol, and diesel on a CI engine, *Fuel*, 90 (2), 505-510.

Manu, J. ve Mahla, S., 2014, Experimental investigations on the utilization of waste cooking oil based biodiesel & n-butanol in CI Engine.

Marakoğlu, T., Arslan, D., Özcan, M. ve Hacıseferog˘ulları, H., 2005, Proximate composition and technological properties of fresh blackthorn (Prunus spinosa L. subsp dasyphylla (Schur.)) fruits, *Journal of Food Engineering*, 68 (2), 137-142.

Mbarawa, M., 2010, The effect of clove oil and diesel fuel blends on the engine performance and exhaust emissions of a compression-ignition engine, *Biomass and bioenergy*, 34 (11), 1555-1561.

Menéndez, J. A., Fernández-Tresguerres, L. G., Villanueva, S. F., Durán, M., Montes Morán, M. Á. ve Arenillas de la Puente, A., 2018, Report on the availability of Biomass Sources in Spain: vineyards and olive groves.

Mohammed, M. N., 2018, Hemp metilester bütanol ve dizel karışımının motor ve emilsiyon oranlarının performansının değerlendirilmesi ve karışımın FT-IR, UV-VIS, TGA, DSC özelliklerının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 91.

Mohsenin, N. N. J. P. p. o. p., animial materials. Vol. 1. Structure, p. c. ve properties., m., 1970, Physical properties of plant and animial materials. Vol. 1. Structure, physical characterisitics and mechanical properties, 1.

Nanthagopal, K., Ashok, B., Saravanan, B., Patel, D., Sudarshan, B. ve Ramasamy, R. A., 2018, An assessment on the effects of 1-pentanol and 1-butanol as additives with Calophyllum Inophyllum biodiesel, *Energy conversion and management*, 158, 70-80.

Narin, M., 2008, Dünyada ve Türkiye'de enerji tarımı, *Ulusal İktisat Kongresi*, 20-22.

Oğuz, H., 2004a, Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım İmkanlarının İncelenmesi, Doktora Tezi *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 29.

Oğuz, H., 2004b, Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım imkanlarının incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya, 1-118.

Oğuz, H. ve Öğüt, H., 2005, Çiftçi şartlarına uygun bir biyodizel üretim tesisinin tasarım ve imalatı, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 1 (1), 21-27.

Öğüt, H., Aydın, C. ve Mengeç, O. H., 1992, Değişik buğday çeşitlerinde bazı fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi, *Tarımsal Mekanizasyon*, 14, 247-253.

Öğüt, H. ve Oğuz, H., 2002, Biodiesel–Biyomotorin yada Yeşil Enerji, *Ticaret Borsası Dergisi. Yıl*, 5, 1302-0323.

Öğüt, H., Akınerdem, F., Pehlivan, E., Aydın, M. E. ve Oğuz, H., 2004, Türkiye'de bazı yağ bitkilerinden biyodizel üretim prosesleri ve dizel motorlarda kullanımının tarım, çevre, gıda, kimya ve teknolojik boyutlarıyla araştırılması :DPT Proje No:2004/7 Biyoenerji 2004 Sempozyumu, İzmir.

Öğüt, H. ve Oğuz, H., 2006, Biyodizel: Üçüncü milenyum yakıtı, Nobel Yayın Dağıtım, p.

Öğüt, H., 2007, Motor yakıtı olarak biyoyakıtlar, *Enerji Güvenliği, Enerji Tarımı, Küresel Isınma Açısından Biyoyakıtlar Sempozyumu*, Ankara.

Öğüt, H., Eryılmaz, T. ve Oğuz, H., 2007, Bazı aspir (Carthamus tinctorius L.) çeşitlerinden üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. 1, *Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu*, 28-31.

Öğüt, H., Oğuz, H., Şahin, S., Gezgin, S., Aydın, F., Özen, D., Özdemir, S. ve Dayıoğlu, R., 2015, Effects of different phosphorus application on quality of biodiesel in the cultivation of safflower, *Ziraat Fakültesi Dergisi, Uludağ Üniversitesi*, 29 (2), 61-68.

Örgev, C. ve Gümüş, İ., 2017, Katı atıkların geri dönüşümü ve alternatif enerji algısı, *UMTEB-I*, 147.

Örs, A., 2016, Biyodizel bütanol karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi, Yüksek Lisans, Karabük Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 84.

Örs, I., Kahraman, A. ve Ciniviz, M., 2017, Performance, emission, and combustion analysis of a compression ignition engine using biofuel blends, *Thermal Science*, 21 (1 Part B), 511-522.

Özçelik, A., Acaroğlu, M. ve Aydoğan, H., 2016, Safflower biodiesel blends with eurodiesel in common rail diesel engine exhaust emission effect, *Litteris et Artibus*.

Özçelik, A., 2017, Investigation of the effects of safflower biodiesel blends with Eurodiesel fuel on engine performance and emissions in common-rail diesel engine, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54 (1), 9-16.

Özçelik, A. E., 2011, Aspir biyodizelinin ve motorinle karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda yağlama yağına etkilerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-117.

Özdemir, Z. Ö. ve Mutlubaş, H., 2016, Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Çevresel Etkileri.

Özer, S., 2014, Alkollerin içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19 (1), 97-114.

Özgür, C., 2017, Palm biyodizel-dizel yakıt karışımlarının yakıt özelliklerinin tahmini, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32 (1), 81-88.

Özlü, R. ve Güner, M., 2016, Farklı nem düzeylerinde kanola tohumlarının fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. JAFAG ISSN*, 1300-1291.

Özsezen, A. N., Çanakçı, M. ve Sayın, C., 2006, Direkt püskürtmeli benzinli motorların tasarım ve performans açısından incelenmesi, *3. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 87-95.

Özsezen, A. N., 2007, Atık palmiye yağından üretilen biyodizelin motor performans ve emisyon karakterleri üzerine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi*, Kocaeli, 181.

Öztürk, M. G. ve Bilen, K., 2009, Kanola yağı metil esteri ve karışımlarının dizel motoru performansına etkisinin deneysel incelenmesi, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 1 (1), 35-41.

Rajasekar, V., 2016, Experimental investigations to study the effect of butanol and pentanol addition in a jatropha oil methyl ester fuelled compression ignition engine, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9 (1), 665-668.

Rathore, M. S., J.K., T. ve Mishra, S., 2017, Performance and experimental analysis of a safflower biodiesel and diesel blends on C.I. engine, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 04 (08), 2259-2265.

Reşitoğlu, İ. A., 2010a, Atık yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin deneysel olarak araştırılması, *Mersin Üniversitesi*, Mersin, 1-100.

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

Sacilik, K., Öztürk, R. ve Keskin, R. J. B. e., 2003, Some physical properties of hemp seed, 86 (2), 191-198.

Saral, A., 1992, Termik motorlar 2. Baskı, *A. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları Ders Kitabı, Ankara*, p. 61.

Saravanan, S., Nagarajan, G. ve Sampath, S., 2013, Combined effect of injection timing, EGR and injection pressure in NOx control of a stationary diesel engine fuelled with crude rice bran oil methyl ester, *Fuel*, 104, 409-416.

Siwale, L., Kristóf, L., Adam, T., Bereczky, A., Mbarawa, M., Penninger, A. ve Kolesnikov, A., 2013, Combustion and emission characteristics of n-butanol/diesel fuel blend in a turbo-charged compression ignition engine, *Fuel*, 107, 409-418.

Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D. ve Güngör, E., 2017, Biyokütle kullanımının enerji, çevre, sağlık ve ekonomi açısından değerlendirilmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19 (1), 148-160.

Şahin, S. ve Öğüt, H., 2018, Investigation of the effects of linseed oil biodiesel and diesel fuel blends on engine performance and exhaust emissions, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 7 (4), 149-157.

Şahin, Z., Durgun, O. ve Aksu, O. N., 2015, Experimental investigation of n-butanol/diesel fuel blends and n-butanol fumigation–evaluation of engine performance, exhaust emissions, heat release and flammability analysis, *Energy conversion and management*, 103, 778-789.

Taşlıgil, N. ve Şahin, G., 2016, Stratejik önemi artan bir endüstri bitkisi: Aspir (Carthamus tinctorius L.), *Türk Coğrafya Dergisi* (66), 51-62.

Taşyürek, M., 2005, Palm ve aspir biyomotorininde depolama süresi ve şartlarının yakıt özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya, 1-101.

Tillem, İ., 2005, Dizel motorları için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı, pamukkale üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi, 71 sayfa*.

Toklu, E., 2017, Biomass energy potential and utilization in Turkey, *Renewable Energy*, 107, 235-244.

Tüccar, G., Özgür, T. ve Aydın, K., 2014, Effect of diesel–microalgae biodiesel–butanol blends on performance and emissions of diesel engine, *Fuel*, 132, 47-52.

Ulusoy, Y., 1999, Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının diesel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma, *Uludağ Üniversitesi*, Bursa.

Uzun, S., 2020, Atık lastikten elde edilen pirolitik yakıtın motor performans ve emisyonlarına etkisi Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi*, Karabük, 1-83.

Ünlü, D., 2019, Fosil yakıtlara çevre dostu yenilenebilir bir alternatif:"Biyoyakitlar", *International Congress Of Energy Economy And Security*, İstanbul, 30.

Valentino, G., Corcione, F. E., Iannuzzi, S. E. ve Serra, S., 2012, Experimental study on performance and emissions of a high speed diesel engine fuelled with n-butanol diesel blends under premixed low temperature combustion, *Fuel*, 92 (1), 295-307.

Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, L. ve Knothe, G., 2004, Biodiesel analytical methods, *Contract*, 303, 275-3000.

Wei, L., Cheung, C. ve Ning, Z., 2018, Effects of biodiesel-ethanol and biodiesel-butanol blends on the combustion, performance and emissions of a diesel engine, *Energy*, 155, 957-970.

Yavuz, H., Aksoy, F., Bayrakçeken, H. ve Baydır, Ş. A., 2008, Değisik bitkisel yağ metil esterlerinin üretilmesi, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 23-30.

Yeşilyurt, M. K., Eryilmaz, T. ve Arslan, M., 2018, A comparative analysis of the engine performance, exhaust emissions and combustion behaviors of a compression ignition engine fuelled with biodiesel/diesel/1-butanol (C4 alcohol) and biodiesel/diesel/n-pentanol (C5 alcohol) fuel blends, *Energy*, 165, 1332-1351.

Yeşilyurt, M. K., 2020, Dizel yakıtına farklı ağır alkoller (1-Bütanol, 1-Pentanol ve 1-Hekzanol) ilave edilmesinin tek silindirli bir dizel motorunun performans, yanma ve egzoz emisyon karakteristiklerine etkileri, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 12 (2), 397-426.

Yılmaz, M., 2018, Bazı aspir (carthamus tinctorius l.) çeşitlerinde olgunlaşma periyodu süresince yağ asiti, tokoferol ve sterol kompozisyonlarının belirlenmesi, *Namık Kemal Üniversitesi*.

Yilmaz, N., Vigil, F. M., Benalil, K., Davis, S. M. ve Calva, A., 2014, Effect of biodiesel–butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine, *Fuel*, 135, 46-50.

Yılmaz, N., 2012, Comparative analysis of biodiesel–ethanol–diesel and biodiesel–methanol–diesel blends in a diesel engine, 40 (1), 210-213.

Yılmaz, N. ve Atmanlı, A., 2016, Havacılıkta alternatif yakıt kullanılmasının incelenmesi, *Sürdürülebilir Havacılık Araştırmaları Dergisi*, 1 (1), 3-10.

Yılmaz, N., Atmanlı, A. ve Trujillo, M. J. F., 2017, Influence of 1-pentanol additive on the performance of a diesel engine fueled with waste oil methyl ester and diesel fuel, 207, 461-469.

Yılmaz, N., Atmanlı, A. ve Vigil, F. M., 2018, Quaternary blends of diesel, biodiesel, higher alcohols and vegetable oil in a compression ignition engine, *Fuel*, 212, 462-469.

Yoshimoto, Y., Kinoshita, E., Shanbu, L. ve Ohmura, T. J. E., 2013, Influence of 1-butanol addition on diesel combustion with palm oil methyl ester/gas oil blends, 61, 44-51.

Yüce, İ., 2008, Alternatif yakıt olarak biyodizelin Türkiye'deki ve Almanya'daki durumu İle taşıtlarda kullanımının incelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Zhang, Z.-H. ve Balasubramanian, R., 2016, Investigation of particulate emission characteristics of a diesel engine fueled with higher alcohols/biodiesel blends, *Applied energy*, 163, 71-80.

Zhu, L., Xiao, Y., Cheung, C., Guan, C. ve Huang, Z., 2016, Combustion, gaseous and particulate emission of a diesel engine fueled with n-pentanol (C5 alcohol) blended with waste cooking oil biodiesel, *Applied Thermal Engineering*, 102, 73-79.

Doktora Tez

ORİJİNALLİK RAPORU

%18	%17	%8	%
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%2
2	acikerisim.selcuk.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	%2
3	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	%1
4	acikerisim.aku.edu.tr İnternet Kaynağı	%1
5	yenilenebilirenerjin.blogspot.com İnternet Kaynağı	<%1
6	acikarsiv.ankara.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
7	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
8	www.yumpu.com İnternet Kaynağı	<%1
9	mmfdergi.uludag.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1