



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN NİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**Biyodizel ve Bioetanol Karışımının Tek Silindirli
Bir Dizel Motorda Kullanımının Motor
Performansına ve Emisyonlara Etkileri**

Tuğba ŞAHİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Tuğba ŞAHİN tarafından hazırlanan “Biyodizel ve Bioetanol Karışımının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkileri” adlı tez çalışması 21.01.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy~~ ~~çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri**İmza****Başkan**

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

.....

Üye

Doç. Dr. Abdullah Engin ÖZÇELİK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet AVCI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Tuğba ŞAHİN

Tarih: 21.01.2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Biyodizel ve Bioetanol Karışımının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkileri

Tuğba ŞAHİN

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

2019, 62 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

Doç. Dr. Abdullah Engin ÖZÇELİK

Bu çalışmada Kanola yağı transesterifikasyon yöntemi ile Kanola Yağı Metil Esteri (Kanola Biyodizeli)'ne dönüştürülerek, biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Kanola yağından elde edilen biyodizel yakıtı motorinle %5 ve %10 oranında bioetanol ilavesi ile birlikte ve ters oranla da hacimsel olarak karıştırılarak, D₁₀₀, E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlar elde edilmiştir.

Elde edilen karışımların, motorinin ve biyodizelin yakıt özellikleri; yoğunluğu, kinematik viskozitesi, parlama noktası, su içeriği, pH miktarı, renk tayini, kalori değeri, bulutlanma, akma ve donma noktası testleri, soğukta filtre tıkanma noktası testi ve bakır çubuk korozyonu testi yapılmıştır.

Ayrıca elde edilen karışımlar, motorin ve biyodizel yakıtı, tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı bir dizel motorda denenerek incelenmiştir. Her yakıtta motor tam yük altında çalıştırılmış ve deneyler sonucunda test motorunun motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi olarak sınıflandırılan performans karakteristiklerine ulaşılmıştır.

Kullanılan yakıtlar arasında en yüksek motor torku 1300 min⁻¹'de E₅B₁₀D₈₅ yakıtında 53.111 Nm, maksimum motor gücü 2000 min⁻¹'de D₁₀₀ yakıtında 9.155 kW ve minimum özgül yakıt tüketimi ise 1600 min⁻¹'de D₁₀₀ yakıtında 377.620 g/kWh olarak ölçülmüştür.

Deney motorunun egzoz çıkış borusundan gaz analiz cihazı probu ile egzoz emisyon değerleri (CO₂, CO, O₂, HC, NO_x ve SO₂) alınmıştır. CO₂ genel olarak D₁₀₀ yakıtında düşük çıkmaktadır. Karışımların CO₂ emisyonunun motorine göre daha yüksek çıkma sebebi, biyodizel ve bioetanol yakıtında oksijen bulunması ve hava fazlalık katsayılarının motorine göre yüksek olmasıdır. CO'daki maksimum azalma B₁₀₀ yakıtı ile maksimum tork değerinde % 55.08 oranında elde edilmiştir. Düşük devirlerdeki D₁₀₀ yakıtının O₂ emisyon değeri diğer yakıtlara göre düşük çıkmakta, yüksek devirlerde ise karışım yakıtlarında ve B₁₀₀ yakıtındaki oksijen içeriği yanma hızı ve yanma verimi arttığından bu durumun tersi meydana gelmektedir. HC değeri genel olarak D₁₀₀ yakıtında düşük çıkmaktadır. Karışımların HC emisyonunun motorine göre daha yüksek çıkma sebebi, motor devrinin düşük olduğu yerlerde yakıtın tutuşma sıcaklığının düşük olması ve yüksek devirlerde ise fakir karışım meydana gelmesi sonucu yanmamış HC emisyonları hızlı bir şekilde artması söz konusudur. Ortalama değerlere bakıldığında D₁₀₀ yakıtının NO_x emisyon değerleri diğer yakıt türlerine göre daha düşük seviyede oluşmuştur. Bunun sebebi, karışımların yapısında bulunan oksijen ve oksijence zengin dolgu havasının emisyon miktarını artırmasıdır. SO₂ emisyonlarındaki maksimum azalma B₁₀₀ yakıtı ile maksimum tork değerinde % 88.35 oranında elde edilmiştir. Motorin içinde bulunan kükürt miktarından dolayı en yüksek SO₂ değeri D₁₀₀ yakıtında görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bioetanol, Kanola, Kanola Biyodizeli-Bioetanol-Motorin Karışımları, Motor Performansı, Egzoz Emisyonları.

ABSTRACT**MS THESIS****Effects of Using Biodiesel and Bioethanol Mixture in Single Cylinder Diesel Engine to Engine Performance and Emissions****Tuğba Şahin**

**The Graduate School of Natural And Applied Science of
Necmettin Erbakan University
The Degree of Master of Science in Energy Systems Engineering**

Advisor: Dr. Fatih AYDIN**2019, 62 Pages****Jury****Prof. Dr. Hidayet OĞUZ****Dr. Fatih AYDIN****Doç. Dr. Abdullah Engin ÖZÇELİK**

In this study, canola oil was converted into Canola Oil Methyl Esters (Canola Biodiesel) by transesterification method and biodiesel production was carried out. Biodiesel fuel derived from canola oil was mixed with diesel fuel with 5% and 10% bioethanol addition and also mixed in inverse proportion volumetrically, and the fuels were obtained in the form of D₁₀₀, E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ and B₁₀₀.

Fuel properties of the obtained mixtures, diesel fuel and biodiesel; density, kinematic viscosity, flash point, water content, pH values, color specification, calorific value, clouding, pour and freezing point tests, cold filter clogging point test and copper rod corrosion test were performed.

Also, the obtained mixtures, diesel fuel and biodiesel were investigated by testing in single-cylinder, a four-stroke, water-cooled diesel engine. The engine was operated at full load in each fuel and, as a result of the tests, the performance characteristics classified as the engine torque, engine power and specific fuel consumption were found.

Among the fuels, the highest engine torque was 53.111 Nm in E₅B₁₀D₈₅ fuel at 1300 min⁻¹, maximum engine power was 9.155 kW in D₁₀₀ fuel at 2000 min⁻¹ and minimum specific fuel consumption was 377.620 g/kWh in D₁₀₀ fuel at 1600 min⁻¹.

Exhaust emission values (CO₂, CO, O₂, HC, NO_x and SO₂) were taken from the exhaust stack of the test engine by gas analyzer probe. CO₂ is generally low in D₁₀₀ fuel. CO₂ emissions of the mixtures are higher than those of diesel because there is oxygen in the biodiesel and bioethanol fuel and the air surplus coefficients are higher than those of diesel. The maximum reduction in CO was obtained at the rate of 55.08% in B₁₀₀ fuel at maximum torque value. O₂ emission value of D₁₀₀ fuel at low speed is low compared to other fuels; however, this has a reverse situation at high speeds because of the fact that oxygen content in mixture fuels and B₁₀₀ fuel improves combustion speed and combustion efficiency. HC value is generally low in D₁₀₀ fuel. The reason for the higher HC emissions of the mixtures compared to diesel is the rapid increase of unburned HC emissions as a result of poor mixture at high engine speeds and low ignition temperature at low engine speeds. When the average values are considered, it is seen that NO_x emission values of D₁₀₀ fuel is lower than the other fuels. This is because oxygen and oxygen-enriched air in the structure of the mixtures increases the emission values. The maximum reduction in SO₂ emissions was achieved at the rate of % 88.35% in B₁₀₀ fuel at maximum torque value. Due to the amount of sulfur contained in diesel fuel, the highest SO₂ value is observed in D₁₀₀ fuel.

Key Words: Bioethanol, Canola, Canola Biodiesel-Bioethanol-Diesel Mixtures, Engine Performance, Exhaust Emissions.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında hazırlanmıştır.

Çalışmada bitkisel yağlardan olan kanola yağından transesterifikasyon işlemi ile elde edilen alternatif yakıt biyodizelin, biyoetanol ve motorinle karışımlarının yakıt özellikleri incelenmiş, ayrıca motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri araştırılmıştır.

Tezin fikir aşamasından sonuçlanmasına kadar geçen süreçte her an bilimsel yönlendirmeleriyle büyük yardımlarını gördüğüm danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan anne ve babama teşekkürü bir borç bilirim.

Tuğba ŞAHİN
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Türkiye ve Dünya’da Enerji Durumu	1
1.2. Biyoyakıtlar	4
1.2.1. Biyoetanol.....	7
1.2.2. Biyodizel.....	9
1.2.3. Kanola Yağı.....	13
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	18
3.1. Materyal.....	18
3.1.1. Deneylerde Kullanılan Aletler ve Cihazlar.....	20
3.1.2. Araştırmada Kullanılan Kimyasal Maddeler	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	40
4.1. Performans Deneyleri Sonuçları.....	40
4.1.1. Efektif güç değerlerinin karşılaştırılması.....	40
4.1.2. Motor momenti değerlerinin karşılaştırılması	40
4.1.3. Özgül yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılması	41
4.2. Emisyon Deneyleri Sonuçları	42
4.2.1. Karbondioksit (CO ₂) değerleri.....	42
4.2.2. Karbon monoksit (CO) değerleri	43
4.2.3. Oksijen (O ₂) değerleri.....	44
4.2.4. Hidrokarbon (HC) değerleri.....	45
4.2.5. Azotoksit (NO _x) değerleri.....	46
4.2.6. Kükürtdioksit (SO ₂) değerleri.....	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	49
5.1 Sonuçlar	49
5.2 Öneriler	51
KAYNAKLAR	52
EKLER	56
ÖZGEÇMİŞ	62

SİMGELER VE KISALTMALAR**Simgeler**

%	: Yüzde
ω	: Açısal Hız
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece
B	: Saatlik Yakıt Tüketimi
b_e	: Özgül Yakıt Tüketimi
C	: Karbon
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$: Biyoetanol
CH_3OH	: Metanol
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
F	: Uygulanan Kuvvet
h	: Saat
H_2	: Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
L	: Hidrolik Frenin Moment Kolu Uzunluğu
M_d	: Motor Döndürme Momenti
M_e	: Motor Torku
Mo	: Molibden
n	: Devir Sayısı
N_e	: Efektif Motor Gücü
NO_x	: Azotoksit
O_2	: Oksijen
P_e	: Efektif Güç
PM	: Partikül Madde
SO_2	: Kükürtdioksit

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Material
BP	: British Petroleum
B ₁₀₀	: % 100 Biyodizel (Kanola)
CFPP	: Cold Filter Plugging Point
CIE	: International Commission on Illumination
CRDI	: Common Rail Direk Enjeksiyon Sistemi
D ₁₀₀	: % 100 Motorin
DIN	: Deutsches Institut für Normung
E ₁₀	: % 10 Biyoetanol
E ₁₀ B ₁₀ D ₈₀	: % 10 Biyoetanol + % 10 Biyodizel + % 80 Motorin
E ₁₀ B ₅ D ₈₅	: % 10 Biyoetanol + % 5 Biyodizel + % 85 Motorin
E ₂₀	: % 20 Biyoetanol
E ₈₅	: % 85 biyoetanol
E ₅ B ₁₀ D ₈₅	: % 5 Biyoetanol + % 10 Biyodizel + % 85 Motorin
E ₅ B ₅ D ₉₀	: % 5 Biyoetanol + % 5 Biyodizel + % 90 Motorin
EN	: Avrupa Standartları
FOYT	: Fren Özgül Yakıt Tüketimi
g/kWh	: gram / kilo watt saat
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
HP	: Beygir Gücü
ISO	: International Organization for Standardization
KDV	: Katma Değer Vergisi
kgf	: Kilogramkuvvet
kg/h	: Kilogram / saat
kW	: Kilowatt
KYME	: Kanola Yağı Metil Esteri
LPG	: Liquid Petroleum Gas
Lt	: Litre
mg	: Miligram
min ⁻¹	: devir / dakika
ml	: Mililitre
mm	: milimetre
MPI	: Multi Point Injection
MTBE	: Metil Tersiyer Bütil Eter
M ₈₅	: % 85 Metanol + % 15 Benzin
M _{85d}	: % 85 Denature Etanol + % 15 Benzin
NaOH	: Sodyum Hidroksit
Nm	: Newton metre
OEM	: Original Equipment Manufactures
ppm	: Milyonda Bir Partikül Madde Miktarı
SAE	: Society of Automotiv Engineers
SFTN	: Soğukta Filtre Tıkanma Noktası
SO	: Sıkıştırma Oranı
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol
TS	: Türk Standartları
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı nüfus artışı ve sanayileşme enerjiye olan talebin hızla artmasına sebep olmaktadır. Enerji, üretimde zorunlu bir faktör olup bir ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınma potansiyelini yansıtmakta olan temel göstergelerden biridir. Enerji tüketimiyle sosyal kalkınma arasında doğrusal bir ilişki olup, ekonomik gelişme ve refah artışıyla, enerji tüketiminin de arttığı görülmektedir [Koç ve Şenel, 2013].

Bugün dünya genelinde tüketilen enerjinin yaklaşık % 20'si yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Mevcut durumda fosil yakıtlara olan bağımlılık yüksek düzeyde olmasına rağmen yıllar itibarıyla yenilenebilir enerjinin kullanım oranları giderek artmaktadır [Karagöl ve Kavaz, 2017]. Ancak, bütün girişimlere rağmen, hala yenilenebilir enerji kaynakları enerji pazarlarında yüksek engellerle karşı karşıya bulunmaktadır. Bunun birçok sebebi vardır, bu sebeplerden en önemlisi fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik olarak zayıf algılanmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum daha çok geleneksel fiyat yapılandırmasına da bağlıdır. Çünkü, bu fiyat yapılandırmasında sosyal ve çevresel maliyetler, provizyon ve kullanım maliyetleri bulunmamaktadır. Üstelik küçük boyutlu yenilenebilir bir kaynağın kurulmasında bile kurumsal ve mali pek çok engeller vardır [İmrağ,2006].

Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, hidrolik, rüzgar, biyokütle, jeotermal, dalga-gel git ve hidrojen enerjisi olarak sınıflandırılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından yeni ve hızla gelişim sağlayan biyoyakıtların son yıllarda giderek kullanımı artmaktadır [Koç ve Şenel, 2013].

1.1. Türkiye ve Dünya'da Enerji Durumu

Tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olan enerji kaynaklarının planlı bir şekilde kullanımını sağlamak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını düzenleyebilmek amacıyla dünyadaki ve ülkemizdeki enerji kaynakları için bir durum tespitinin yapılması gerekmektedir. Günümüz dünyasında güneş, rüzgâr, jeotermal, modern biyokütle ve küçük hidrolik kaynaklar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından salınan enerji, toplam enerji talebinin ancak % 1,9'unu karşılamaktadır. Buna geleneksel biyokütle ve büyük güçlü hidroelektrik santrallerin üretimi katıldığı zaman, oran %

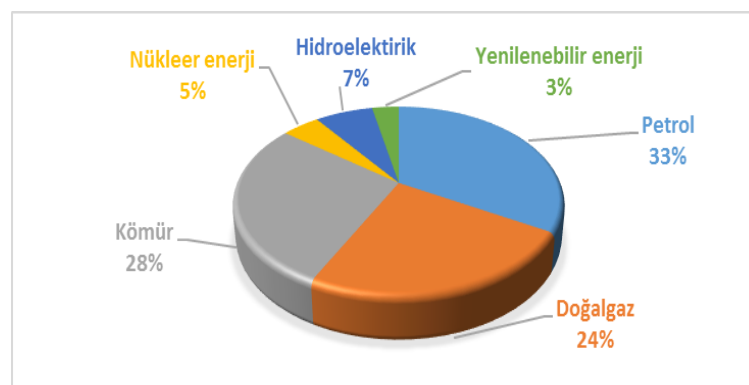
17,7'ye yükselmektedir. Geri kalan enerji talebi birincil fosil yakıt kaynaklarından sağlanmaktadır.

Dünya genelinde alternatif yakıt araştırmaları önemli destekler görmektedir. Bařta Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere birçok gelişmiş ülkede bu konuda ciddi çalışmalar yapılmakta ve olumlu sonuçlar hayata geçirilmektedir. Dizel motorlarda kullanılabilen alternatif yakıtın; ekonomik, yenilenebilir, çevre dostu ve kolay elde edilebilir nitelikteki üstünlüklere sahip olması gerekmektedir. Biyodizel, dizel motorlar için bu gereksinimleri karşılayabilecek özelliklere sahip bir alternatif yakıt türü olarak değerlendirilmektedir [Uyar, 2013].

Biyodizel günümüz standartlarına göre yağ asidi metil esterleri olarak tanımlanmaktadır. Biyoyakıt dünyasındaki gelişmeler ve belirlenen hedeflere paralel olarak yağ asidi etil esterlerinin de giderek önem kazanacağı ve esnek yakıtlı taşıt uygulamalarının uygulamada yer bulacağı öngörülmektedir [Aydın, 2014], [İşler, 2012].

Dünya'da bulunan 2016 yılında kanıtlanmış toplam petrol rezervleri 1.706,7 milyar varil olduğu tespit edilmiştir. Bu rezervlerin % 13,3'ü Kuzey Amerika, % 9,5'i Avrupa ve Asya'da, % 19,2'si Güney Amerika da, % 47,7'si Orta Doęu'da, % 7,5'i Afrika'da ve % 2,8'i Asya Pasifiktedir [Anonymous, 2017].

Dünyada kullanılmakta olan enerjinin çoğu birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. 2016 yılı verilerine göre dünyada birincil enerji kullanım miktarı 13.276,3 milyon tep (ton eşdeğer petrol) olarak gerçekleşmiştir. Çizelge 1.1'de Dünya'da birincil enerji kaynaklarının tüketimi verilmiştir. Şekil 1.1' de ise dünyada tüketilen birincil enerji kaynaklarının yüzde olarak oranı verilmiştir. Şekil 1.1' de görüldüğü gibi, petrol tüketimi %33, doğalgaz %24, kömür %28, nükleer enerji %5, hidroelektrik %7 ve yenilenebilir enerji ise toplam tüketimin %3'ünü karşılamaktadır.



Şekil 1.1. Dünya'da Birincil Enerji Kaynakları Tüketimi Yüzdesi, 2017 [Anonymous, 2017].

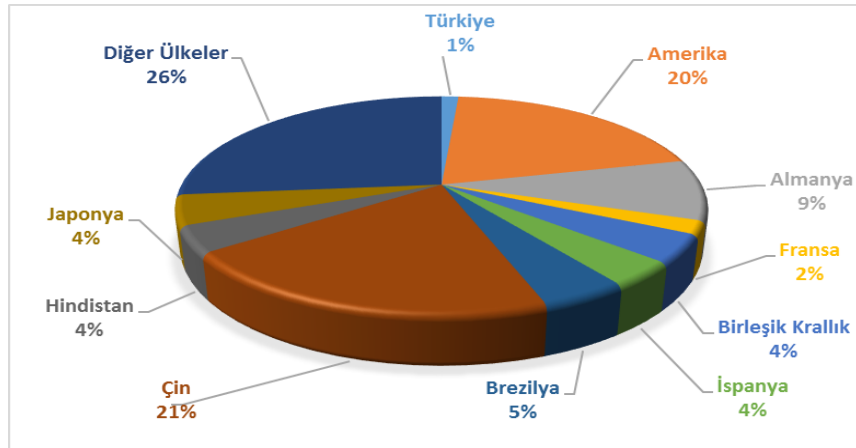
Çizelge 1.1. Dünyada Tüketilen Birincil Enerji Kaynaklarının Kullanım Miktarı, 2017 [Anonymous, 2017].

Birincil Enerji Türü	Kullanım Miktarı (Bin TEP)
Petrol	4.418,2
Doğalgaz	3.204,1
Kömür	3.732,0
Nükleer enerji	592,1
Hidroelektrik	910,3
Yenilenebilir enerji	419,6
Toplam Tüketim	13.276,3

Dünya’da yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji üreten ülkeler Çizelge 1.2’de belirtilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla enerji üreten ülkeler arasında Çin 86,1 milyar tep ile ilk sırada, Amerika 83,8 milyar tep ile ikinci sırada yer almaktadır. Türkiye ise 5,2 milyar tep ile son sıradaki ülkeler arasındadır. Şekil 1.2’de ise ülkelerin dünyada üretilen yenilenebilir enerji kaynaklarına sahiplik oranı verilmiştir.

Çizelge 1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Enerji Üreten Ülkeler, 2017 [Anonymous, 2017].

Ülkeler	Üretim Miktarı (Milyar TEP)
Çin	86,1
Amerika	83,8
Almanya	37,9
Brezilya	19
Japonya	18,8
Birleşik Krallık	17,5
Hindistan	16,5
İspanya	15,5
Fransa	8,2
Türkiye	5,2
Diğer Ülkeler	111,1
Toplam Üretim	419,6



Şekil 1.2. Ülkelerin Dünyada Üretilen Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Sahiplik Oranı [Anonymous, 2017].

Sürdürülebilir bir kalkınma için enerji kaynaklarının planlı bir şekilde kullanımının sağlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılması gerekmektedir [Koç ve Şenel, 2013].

1.2. Biyoyakıtlar

Biyoyakıtlar, yenilenebilen, biyolojik kökenli, fosil olmayan organik madde kitlesi olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle biyoyakıtlar; yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış canlılardan elde edilen fosilleşmemiş tüm biyolojik malzemenin genel adıdır. Bu kapsamda biyoyakıtlar enerji kaynağı karbonhidrat bileşikler olan hayvansal ve bitkisel kökenli tüm organik maddelerdir.

Bitkisel bazlı yakıtlar genel olarak selüloz, hemiselüloz ve lignin olmak üzere üç kimyasal yapıya sahiptir. Bu yapılar H_2 , O_2 ve C 'den oluşmaktadır. Hidrojen, sülfür ve metaller az miktarda içerilmektedir. Hayvansal kökenli yakıtlar ise yağ ve protein yapılarından oluşmaktadır. Bitkisel kökenlilerden farklı oranlarda olmak üzere bu yapılar da H_2 , O_2 ve C 'den oluşmaktadır. Azot, sülfür ve metaller bitkisel kökenlilere göre daha fazladır.

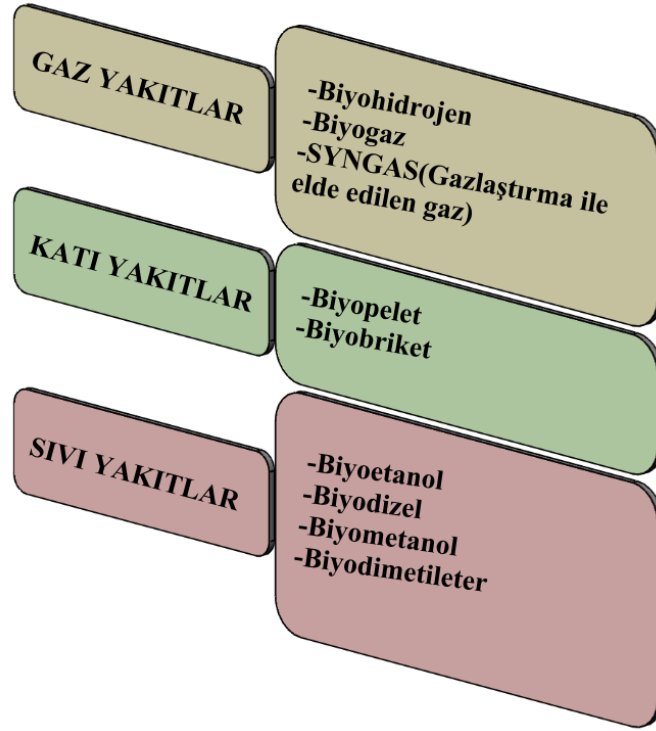
Biyokütleye (odun dışındakilere) artan bir ilgi olmasına rağmen, enerji pazarlama reformları, çevresel ilgiler ve teknolojik gelişmeler sonucunda biyoenerjinin geleneksel kullanımıyla birlikte, sağlık tehlikeleri ve düşük verimlilikteki yakımlarıyla ilgili büyük iddialar vardır. Atıkların enerji potansiyelinin değerlendirilmesinde çok sayıda güçlüklerin bulunması yüzünden odaklanmanın tarımda şeker kamışı ve meyve atıkları, ormancılıktaki yaprak atıkları ve kümes hayvanlarının gübre atıkları gibi en başarılı formlar üzerinde olması kararlaştırılmıştır. Biyokütlenin, fosil yakıtların yerine

doğrudan konulabileceği, ağaçların karbon tüketmesinden biyokütlenin atmosferdeki karbondioksit tüketilmesinde daha etkili olduğu tartışılmaktadır [Hsieh at all, 2002].

Biyokütle orijinal haliyle yakıt olarak kullanılabilen ve veya farklı katı, gaz veya sıvı biyoyakıtlara dönüştürülebilmektedir. Bu yakıtlar elektrik üretiminde, nakliye, ısıtma, soğutma ve diğer evsel kullanım ve endüstriyel prosesler için kullanılabilir. Biyokütle enerjisinin kullanımı klasik ve modern yöntemler olarak iki kategoriye ayrılır. Klasik kullanımda, odun, bitki ve hayvan atıkları gibi biyokütle materyallerinin direkt yakılmasıyla enerji sağlanmaktadır. Özellikle az gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Modern kullanımda ise, hayvansal ve tarımsal atıklar, organik içerikli evsel, kentsel ve endüstriyel atıklar, atık sular, enerji bitkileri, enerji ormancılığı ürünleri, orman atıkları, sucul ekosistemlerde yetişen alg ve yosun gibi canlılar gibi biyokütle materyallerinden dönüşüm yöntemleri ile proses ısısı, elektrik, sıvı ya da gaz yakıt elde etmek mümkün olmaktadır [Anonim, 2018 a].

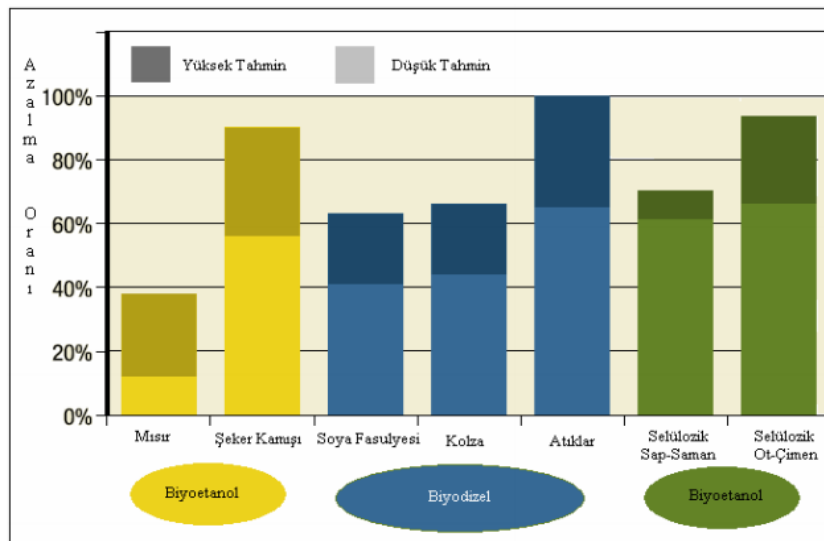
Günümüzde biyoyakıt endüstrisi en önemli iş alanlarından biri haline gelmeye başlamıştır. Üretim türü, hammadde seçimi ve teknolojilerine göre dört kuşak olarak sınıflandırılan biyoyakıtlar arasında birinci kuşak biyoyakıtlardan olan biyoetanol ve biyodizel, yoğun olarak uygulamada olup biyoetanol dünyadaki lider biyoyakıt olarak birinci sırada yer almaktadır. Hammadde çeşitliliğinin sağlanması ve gıda dışı kaynaklar kullanılarak gıdaya olan bağımlılığın en aza indirilmesi gibi temel hedeflerin belirlendiği biyoyakıt dünyasında ikinci ve üçüncü kuşak biyoyakıtlar için Ar-Ge çalışmaları yoğun olarak sürdürülmektedir. Bunun yanı sıra, biyoyakıtların kaynaktan tüketime dek temiz yaşam döngüsü ile kullanımda olması dikkat edilmesi gereken ve önem kazanan bir diğer nokta olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyoyakıtlar temel olarak üç grupta toplanmıştır [Aydın, 2014], [Bayrakçı, 2009].

Şekil 1.3'te biyoyakıtların fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılması yapılmıştır.



Şekil 1.3. Biyoyakıtların Fiziksel Özelliklerine Göre Sınıflandırılması [Bayrakçı, 2009]

Şekil 1.4'de biyoyakıtların fosil yakıtlara kıyasla sera gazı salınımını azaltma oranları gösterilmiştir. Sera gazı salınımında gerçekleşen en fazla azalma atıklardan ve selüloz içeren odunsu bitkilerin hammadde olarak kullanıldığı biyoyakıtlar tarafından sağlanmaktadır. Biyoetanolin, fosil yakıtlara kıyasla % 60 ile % 95 arasında daha az sera gazı salınımı yaptığı belirtilmiştir [Koçtürk, 2011].



Şekil 1.4. Biyoyakıtların Fosil Yakıtlara Kıyasla Sera Gazı Salınımını Azaltma Oranları [Koçtürk, 2011]

1.2.1. Biyoetanol

Biyoetanol, içerisinde yeterince glukoz, sukroz, nişasta, selüloz ihtiva eden veya glukozla dönüştürülebilen şekerlerin bulunduğu ham maddelerden üretilir [Anonim, 2018 a].

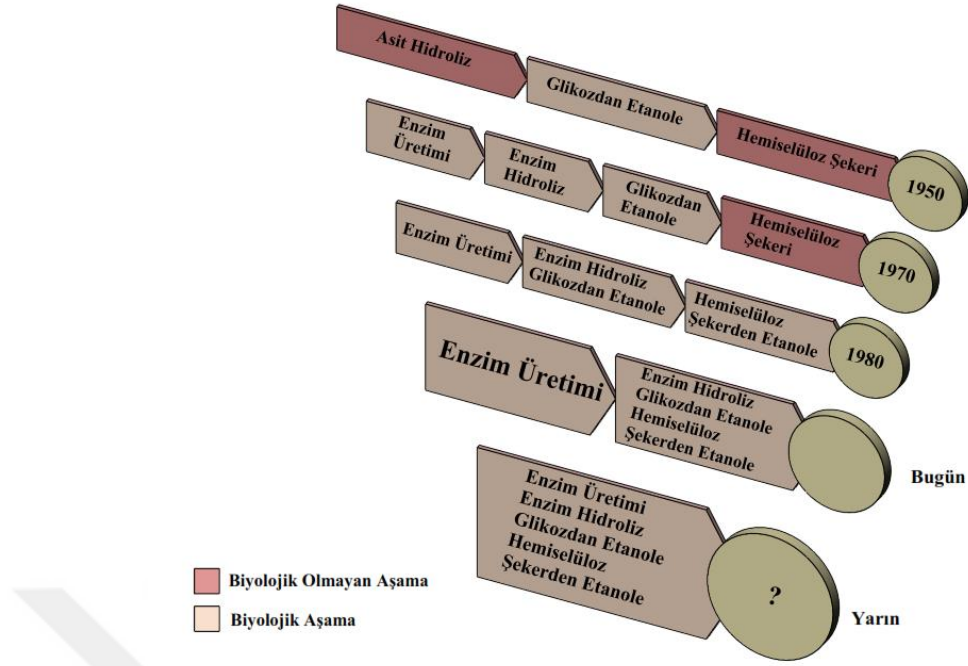
Eşanlamlıları: etanol, hububat alkolü/işpirto, fermentasyon alkolü, alkol, metilkarbinol, saf alkol, saf etanol, susuz alkol, dehidre alkol, anhidrol, etil hidrat, etil hidroksit, melas alkolü, patates alkolüdür. Petrolün yerine ulaşım araçlarında kullanılan bir yakıt türü olan biyoetanol, etilen ve buharın kimyasal reaksiyonundan da üretilmesine rağmen, biyoetanol yakıt temel olarak şeker mayalanmasından üretilir [İmrağ, 2006].

Yakıt alkolü, metil alkol ve etil alkolü kapsayan bir tanımlama olmasına karşın, yaygın olarak bu isim biyokütle kaynaklarından elde edilen etil alkol (etanol - biyoetanol) için kullanılmaktadır [Karaosmanoğlu, 2007].

Biyoetanol, basit olarak renksiz, berrak, yanıcı, oksijenlenmiş hidrokarbondur. Biyoetanol çeşitli kaynaklardan elde edilebilen bir akaryakıttır. Tahıllar, tohumlar, şeker mahsulleri ve diğer nişasta kaynakları biyoetanol üretmek için kolaylıkla fermantasyona uğratılabilirler. Ayrıca ağaçları, çeşitli otları, evsel atıkları da içine alan selülozik malzemeler alkole dönüştürülebilir. Fakat bu yöntem şeker ve nişasta içeren tarım ürünlerinin işlenmesi yöntemine göre daha karmaşıktır. Bu alandaki teknikler sürekli geliştirilmektedir. Endüstriyel üretimde, petrol ürünü olan etilenin hidrasyonu (bir su molekülü katılması) ile veya asetaldehidin indirgenmesi ile sentetik olarak elde edilebilir. Biyoetanol taşımacılık ve tarım sektöründe, yaygın olarak da içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Biyoetanol doğrudan benzinin yerine yüksek karışım oranlarında (E85 gibi) veya oktan sayısı yükseltici olarak düşük karışım oranlarında benzinle karıştırılarak (E10 gibi) kullanılabilir. Ayrıca biyoetanol ve dizel yakıtı karışımı çalışmalarında ilerlemeler kaydedilmiştir. Dünya üzerinde biyoetanolün yakıt olarak kullanılması daha çok düşük karışım oranları şeklinde olmaktadır [Yılmaz, 2013].

Şekil 1,5’de biyoetanolün üretim yöntemlerinin tarihsel gelişimi görülmektedir.

İkinci Dünya Savaşı sırasında Japonlar, yakıt ihtiyaçlarını karşılamak için savaş uçaklarında biyoetanol ve benzin karışımı kullandılar. 1937 ve 1944 arasında, biyoetanol üretim miktarının yılda 170 milyon litre olduğu bildiriliyor. O zaman, yakıt olarak etanol kullanımı o kadar yaygınlaşmıştır ki, sıvı yakıtlardaki biyoetanol üretiminin payı %26,7’ye yükselmiştir. Ancak, II. Dünya Savaşı sonrasında petrol fiyatlarındaki düşüş biyoetanol üretimiyle sınırlı kalmıştır.



Şekil 1.5. Biyoetanol üretim yöntemlerinin tarihsel gelişimi [Koçtürk, 2011]

Etanol, mükemmel bir benzin karışım bileşeni olarak yüksek oktan sayısına, yüksek alevlenme hızına ve yüksek buharlaşma ısısına sahiptir. Bu özellikleri, daha kısa yanma süreleri sağlayarak, bu sayede içten yanmalı motorlarda benzine göre daha yüksek verim alınmasını ve bir aracın en iyi performansla yakıt sistemini temiz tutarak çalışmasına yardımcı olur. Etanol'ün buharlaşma ısısı benzinden daha fazladır, buna karşılık alev sıcaklığı ise daha düşüktür. Ayrıca, %35 oksijen içeren oksijenli bir yakıt olduğu için benzinin aksine yanmak için daha az havaya ihtiyaç duymaktadır. Biyoetanol, özellikle çocuklar ve yaşlılar için tehlike oluşturan karbon monoksit, uçucu organik bileşikler, toksik maddeler ve solunabilir partiküllerin yayılımlarını azaltmaktadır [Yiğitoğlu ve ark., 2012].

Biyoetanolün avantajlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür:

1. Yerli, yenilenebilir bir yakıt kaynağıdır. Petrol için dışa bağımlılığı azaltır.
2. Temiz bir yakıt kaynağıdır.
3. Yakıtın oktan sayısını artırır.
4. Genelde bütün araçlarda kullanılabilir.
5. Üretimi ve muhafaza edilmesi kolay değildir.
6. Biyoyakıtlar fosil yakıtlardan % 40-80 daha az sera gazı emisyonu yayar.
7. Asit yağmurunu azaltır.
8. Daha az su kirliliği ve atık oluşturur.

Etanolün dezavantajları ise; ısı değeri petrole göre daha düşük, buharlaşma ısısı yüksek ve buhar basıncı düşüktür. Buharlaşma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır. Etanolün en önemli dezavantajlarından biri içinde bulunan suyun yakıt donanımı ve emme sistemi üzerindeki korozif etkisidir. Etanolün korozif özellikleri nedeni ile korozyonu önlemek için yakıt ve emme sistemi, koruyucu maddelerle kaplanmaktadır. Ayrıca etanolün nem tutuculuk özelliğinin yüksek olması ve kolaylıkla nemlenmesi etanol karışımı olan yakıtlarda faz ayrışmasına neden olabilir.

Türkiye’de biyoetanol üretim kapasitesi 149,5 milyon litredir. Konya Şeker Fabrikası'nın bir yan kuruluşu olan Çumra Şeker Fabrikası, yılda yaklaşık 84.000.000 litre yakıt biyoetanolü üretmekte, üretimde şeker pancarı ve melas kullanmaktadır. Bu fabrika, kurulu biyoetanol üretim kapasitesinin yaklaşık %56'sını üretmekte ve petrol dağıtıcılarına sunmaktadır [Özdingis and Koçar, 2018].

1.2.2. Biyodizel

Biyodizel, yağlı tohumlu bitkilerden, atık yağlardan ve hayvansal yağlardan elde edilebilen, motorine alternatif bir biyoyakıttır. Bu yağlı tohumlu bitkiler, kanola, soya fasulyesi ve ayçiçeği gibi bitkilerdir. Bunların dışında kızartma yağları, balık yağı gibi hayvansal ve kullanımdan arta kalan yağlar da biyodizel üretiminde kullanılabilir. Biyodizel, dizel yakıtlarla belirli oranlarda karıştırılabilir, ya da dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabilir.

Biyodizel kullanımının en büyük avantajı, doğa dostu ve yerli kaynaklardan üretiliyor olmasıdır. Bunun dışında ulaşılmasının kolay ve yenilenebilir olması, yüksek yanma verimi, düşük sülfür ve aromatik içerikleri ile yüksek setan sayısına sahip olması biyodizelin avantajları olarak sıralanabilir.

Biyodizelin üretimi ve kullanımı ile ithal edilen petrol türevi yakıtların ülkemize girmesi azalacak ve bu sayede hem çevre dostu hem de ekonomik olan yakıt kullanımı artacaktır. Türkiye kullandığı petrol miktarının sadece %15'ini üretmekte, geri kalanını yurt dışından satın almaktadır [Anonim 2018, a].

Şekil 1.6’da biyodizelin enerji döngüsü yer almaktadır. Şekilde görüldüğü gibi biyodizel üretiminden arta kalan gliserin ise gıda sanayisi ve kozmetik sanayisinde kullanılabilir.



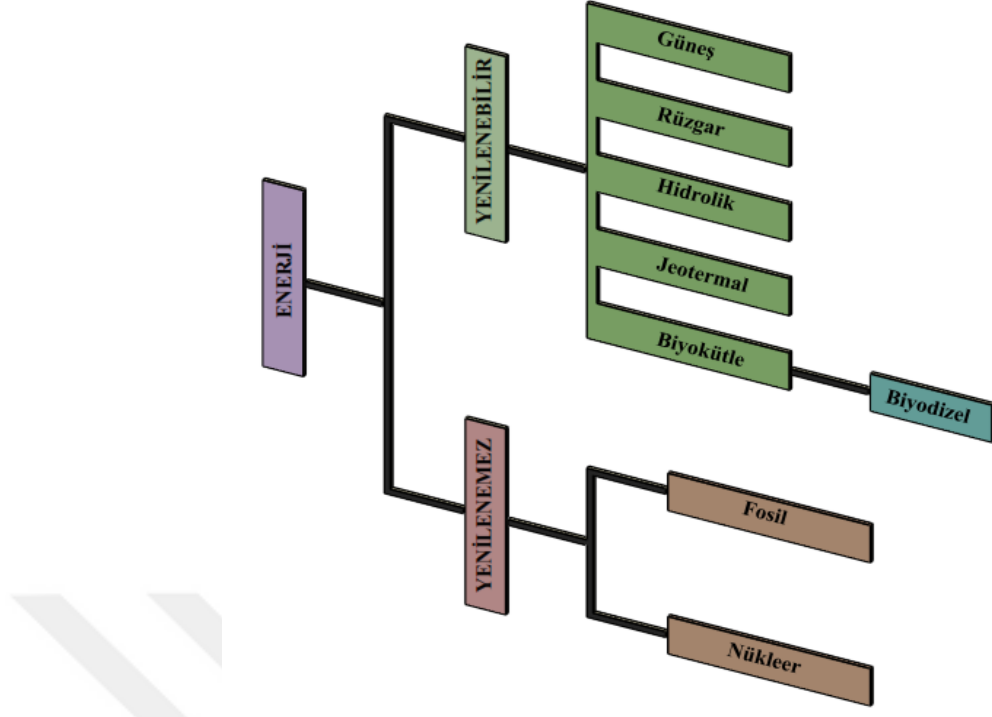
Şekil 1.6. Biyodizelin Enerji Döngüsü [Anonim, 2018 b]

Biyodizel üretiminde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de transesterifikasyondur. Bu yöntemde biyodizel, yağlı tohumlardan elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde transesterleşme reaksiyonu sonucunda meydana gelen biyoyakıttır [Jitputti at all, 2006].

Biyodizelin üretimi ve kullanımı, dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında bir takım dezavantajlara sahiptir. Biyodizelin ticari kullanımında birincil engel, yüksek üretim fiyatı olmasıdır. Gelecekteki çabalar, düşük maliyetli ve yenilebilir olmayan besleme stoklarına, genel üretim maliyetlerini düşüren gelişmiş teknolojilere ve karlı üretim kapasitesine yönlendirilmelidir. Halen kullanılan yenilebilir bitkisel yağların, atıklar ve kullanılan yağlar ile değiştirilmesi özellikle önemlidir.

Şekil 1,7’de yenilenebilir enerji kaynaklarından biyoyakıt enerjisi olan biyodizelin yenilenebilir enerji sınıfında hangi grupta yer aldığı gösterilmiştir.

Biyodizelin dizel yakıt olarak kullanımı 1800’lü yıllarda dizel motorun icadıyla başlamıştır. Dizel motorun icadı Alman bilim insanı Rudolf Diesel (1853-1913) fıstık yağıyla Paris’te 1898’de dizel motoru çalıştırmıştır. 1920’lere kadar motor yakıtı olarak bitkisel yağlar kullanılmıştır. Fakat dizel yakıtının fazlalığı ve devlet desteğinin artmasıyla dizel yakıt gündeme gelmiş ve motorlar dizel yakıtı uygun olarak modifiye edilmiştir. Başka bir gelişmede II. Dünya savaşında Almanya ve müttefiklerinin biyoyakıt kullanımı olmuştur. Ancak bu gelişmelere rağmen biyoyakıt varlık gösterememiştir.



Şekil 1.7. Biyodizelin Sınıflandırılması [Fidan ve Alkan, 2014]

1980'lerde, alternatif yakıt olabilecek bitkisel yağların yüksek viskozite sorununun, yağların metil alkolle reaksiyonuyla metil esterlerine yani biyodizele dönüştürülerek giderildiği görülmüştür. Böylece biyodizel tekrar gündeme gelmiştir.

Biyodizel günümüzde Amerika ve Avrupa ülkelerinin bazılarında (Avusturya, İtalya, Almanya ve Fransa gibi) ticari olarak üretilmektedir. Biyodizel üretimini ve kullanımını yaygınlaştırmak, uygulanan vergilerin azaltılmasıyla mümkündür. Biyodizelin yaygınlaşmamasında ki diğer etmen ise hammaddenin biyodizel maliyetinin %75'ine sahip olmasıdır. Petrodizelle rekabet edilebilmesi için öncelikle biyodizelin hammadde maliyetinin düşürülmesi gerekmektedir.

Çek Cumhuriyetinde 1990'lı yılların ortasında BİONAFTA adı verilen %30 biyodizel %70 motorin karışımından oluşan bir yakıt piyasaya sürülmüştür. Bu yakıtın çevresel avantajı itibarıyla tamamına vergi muafiyeti ve KDV indirimi getirilmiştir.

Biyodizelin potansiyelini araştırmak ve gerekli testler için ve uygulamalara kaynak ayıran ilk şirketler, Almanya'da Mercedes ve Volkswagen, Fransa'da Renault ve Peugeot şirketleri olmuştur [Öğüt ve Oğuz, 2006].

Biyodizele 1997 yılında vergi indirimi uygulayan ülkeler ise Çek Cumhuriyeti, Slovakya, İrlanda, Norveç, Polonya ve İsveç ülkeleri olmuştur [Karaosmanoğlu, 2002].

1931 yılında Ziraat Kongresi'nde yakıt alkolü adı altında ilk çalışmalardan bahsedilmiştir. Ulu Önder Mustafa Kemal Atatürk'ün önderliğinde çalışmalar devam etmiştir. 1934 yılında Atatürk Orman Çiftliğinde “Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Yakıt Olarak Kullanımı” adı altında ilk çalışmalar sürmüştür. Ancak 1934 yılından 2000’li yıllara kadar çalışmalarda bir ilerleme olmamıştır.

Biyodizelin Türkiye’de ilk kez yasal olarak tanınması 2003 yılında Petrol Piyasası Kanunu’nda petrole karıştırılmış ürünler (Madde 2, Fıkra 7) arasında yer almasıyla olmuştur. Kanunda “Akaryakıtla harmanlanan ürünler: Metil tersiyer bütil eter (MTBE), Etanol vb. (yerli tarım ürünlerinden denatüre olarak üretilenler ile biodizel hariç) akaryakıt ile eşdeğer vergiye tâbi olan ve olacak ürünleri ibaresi” yer almaktadır.

Biyodizel tüm dünyada kabul görmüş ve her üründe olduğu gibi standartlaştırılmıştır. Çizelge 1.3’ de dünyada kullanılan biyodizel standartları görülmektedir.

Çizelge 1.3. Biyodizel standartları

Biyodizel	Birim	Avusturya Standardı (C1190 Feb.9.11)	DIN 51606 Eylül 1997	U.S. Kalite Spesifikasyonu Nbb/Astm	Avrupa Standardı En 14214
Yoğunluk (15 °C)	g/cm ³	0,86-0,90	0,875-0,90	/	0,86-0,90
Kinematik Viskozite (40°C)	mm ² /s	6,5-9 (20°C)	3,5-5	1,9 - 6	3,5 - 5
Parlama noktası	°C (F)	min. 55 (131)	min. 110 (230)	min. 100 (212)	min 120 (248)
Toplam Kükürt	mg/kg	max. 200	max. 100	max. 500	max. 10
Setan sayısı	-	min. 48	min. 49	min. 40	min 51
Toplam askıda madde	mg/kg	/	max. 20	/	max. 24
Nötralizasyon değeri	mg	max. 1	max. 0,5	max. 0,8	max. 0,5
Metanol içeriği	% ağırlıkça	max. 0.3	max. 0,3	max. 0,2	max. 0,2
Ester içeriği	% ağırlıkça	/	/	/	,min. 96.5
Monogliseridler	% ağırlıkça	/	max. 0,8	/	max. 0,8
Digliseridler	% ağırlıkça	/	max. 0,4	/	max. 0,2
Serbest gliserol	% ağırlıkça	max. 0,03	max. 0,02	max. 0,02	max. 0,02
Toplam gliserol	% ağırlıkça	max. 0,25	max. 0,25	max. 0,24	max. 0,25
İyot sayısı	/	/	max. 115	/	max. 120

Biyodizel üretiminde kullanılacak tohumun;

- İçeriğinde ki yağ miktarı,
 - Seçilen tohum yağının kimyasal özelliği,
 - Yağ asitleri,
 - Seçilen tohum yağının fiziksel özellikleri (donma noktası önemli ölçüt),
 - Tarıma elverişliliği,
 - İklim ve toprak seçiciliği,
 - Sulama isteği,
 - Tarımsal mekanizasyona yatkınlığı,
 - Depolama şartları,
 - Taşınabilirlik,
 - Bozulma süresi,
 - Ürünün yağ çıkartma işleminden sonra kalan küspesinin protein miktarı (hayvan yemi olarak kullanılması),
 - Üretim miktarı ve pazar payı,
 - Bitkinin tek yıllık veya çift yıllık olması,
 - Verimi (dekar/ kg),
 - Gıda dâhil diğer sektörlerde de kullanılabilir olması (rekabet)
 - Tarımsal maliyetleri vb.,
- seçilmesini etkileyen kriterlerden bazılarıdır [Koç, 2011].

1.2.3. Kanola Yağı

Kanola, tohumlarında % 40 oranında ham yağ ve %60 oranında küspe içeren bir yağ bitkisidir. Türkiye'deki kanola üretimi çok uzun bir geçmişe sahip değildir. Marmara Bölgesinde üretimi yapılan ve o zamanlar kolza olarak adlandırılan çeşitlerin erusik asit içermeleri nedeniyle 1980 yılından itibaren üretimi giderek azalmıştır. Daha sonra Kanada'nın liderliğinde yapılan ıslah çalışmalarıyla erusik asit içermeyen kolza çeşitleri üretime kazandırılmış ve kanola olarak Türkiye'ye girmiştir. Son yıllarda Türkiye'de kanola ekim alanlarında ve üretimde hızlı bir artış görülmektedir [Kumbar, 2009].

Kanola tohumu 2-3 mm çapında siyah renkli tam yuvarlaktır. Kanola yazlık ve kışlık ekildiğinde temmuz ve haziran ayında hasat olgunluğuna gelmesi ve bu aylarda hiç bir yağ bitkisinin hasadının söz konusu olmaması nedeniyle sürekli çalışan yağ ve

yem fabrikalarının hammadde gereksinimini karşılayarak tam kapasiteyle çalışmalarına olanak sağlamaktadır. Hasadında birçok yağ bitkisine göre yüksek tohum ve yağ vermekte, yüksek protein yapısı ile yem üreticilerinin protein kaynağı açığını azaltmakta ve yağ fabrikasyonunda ek işlem gerektirmeden direkt olarak kullanılabilir [Fedai, 2006].



Şekil 1.8. Kanola Bitkisi

Kanola bitkisinin nem oranı %8 civarındadır. Kanola yağının yağ asidi insanların tüketimine uygun nadir ürünlerden biridir. Kanola yağındaki linoleik asit/linolenik asit oranı yaklaşık olarak 2:1'dir ve insan gıdaları için uygunluğu test edilmiş bir orandır [İşler,2007].

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Fanick ve ark. (1996), tarafından yapılan çalışmada, 1994 model, 3 lt hacminde V6 motora sahip, üzerinde üç yollu katalitik konvertör ve EGR sistemi bulunan Ford Taunus marka araçta beş ayrı yakıt (Benzin, M₈₅, E_{85d}, Lpg ve doğalgaz) kullanılarak emisyon değişimlerini incelenmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan E85d yakıtı, %85 denature etanol ve %15 benzin karışımından oluşmaktadır. M₈₅ ise %85 metanol ve %15 benzin karışımıdır. Deneylerden elde edilen sonuçlar alkol içeren M₈₅ ve E_{85d} yakıtları için benzinle karşılaştırıldıklarında daha düşük kirletici emisyon (HC, CO ve NO_x emisyonları) değerlerine sahip oldukları görülmüştür.

He ve ark. (2003), benzinli bir motorda benzin - etanol karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisini incelemişler ve katalitik konvertörün verimini araştırmışlardır. Çalışmalarında MPI yakıt enjeksiyon sistemine sahip bir motor kullanmışlardır. Egzoz gazlarını, katalitik konvertör çıkış ve girişinde ölçmüşlerdir. Deneyleri önce kurşunsuz benzin ile daha sonra % 10 ve % 30 oranında hacimsel olarak etanol içeren benzin - etanol karışımlarında yapmışlardır. CO emisyonunun etanol kullanımında azaldığını belirlemişlerdir.

Topgül ve ark. (2004), yapmış olduğu çalışmada farklı sıkıştırma oranlarında düşük oranlı etanol benzin karışımları (E₁₀, E₂₀) kullanımının motor momenti, fren özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına etkilerini incelemiştir. Sıkıştırma oranına bağlı olarak motor momentindeki maksimum artış 2000 min⁻¹ motor devrinde E₁₀ yakıtında %0.5 (SO: 11/1), E₂₀ yakıtında %1.3 (SO:10/1) ve FOYT' de ortalama olarak E₁₀ için %5.5, E₂₀ için %8.8 artış elde edilmiştir. CO emisyonunda 9/1 sıkıştırma oranında 2000 min⁻¹ motor devrinde E₁₀ yakıtı kullanıldığında, %23.2'lik bir azalma elde edilmiştir. Etanol-benzin karışımlarında HC emisyonunda 10/1 sıkıştırma oranında ve 5000 min⁻¹ motor devrinde E₁₀ yakıtıyla %29.2'lik bir azalma sağlandığını gözlemlemişlerdir.

Usta ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada, tütün tohumu yağından elde edilen biyodizel ve etanolü, ve ayrıca atık ayçiçek yağı ile fındık yağı sabun stoğunun yaklaşık eşit oranlarda karışımından elde edilen biyodizel ve etanolü, dizel motorlar için yenilenebilir alternatif yakıtlar olarak, farklı oranlarda dizel yakıtına karıştırarak dizel motorunda kullanmışlardır. Çalışmalarında etanol ve iki farklı biyodizelin yakıt özelliklerini dizel yakıt ile karşılaştırmış, ön yanma odalı turbo dizel bir motorun performans ve emisyonlarına etkilerini incelenmişlerdir. Kullanılan alternatif yakıtlar

CO, is emisyonu ve SO₂ emisyonlarının azalmasını sağlarken, NO_x emisyonunda artışa sebep olmuştur. Etanol ilavesi güçte bir miktar düşmeye sebep olurken, biyodizel ilavesi dizel yakıtı göre çok az oranda güç artışı sağlamıştır.

Kwanchareon ve ark. (2007), çeşitli saflıklarda etanol kullanarak ve farklı sıcaklıklarda dizel-palm biyodizeli-etanol karışımlarını incelemiştir. Seçilen karışımların yakıt özelliklerini belirlemişler ve dizel motorda emisyon ve performansları incelemiştir. Yakıt karışımlarının dizel yakıt standartlarıyla uyum içinde olduğunu belirtmişler, fakat etanol içeren karışımlarda parlama noktasının oldukça farklı olduğunu bulmuşlardır. %80 dizel, %15 biyodizel ve %5 etanol karışımı yakıt özellikleri ve emisyon azaltma açısından en uygun karışım olduğunu tespit etmişlerdir.

Hazar (2010), tek silindri direk enjeksiyonlu yakıt sistemine sahip bir motorda silindir kafası, piston, egzoz ve emme subaplarını plasma püskürtme tekniği ile molibden (Mo) ile kaplamıştır. Sonrasında kaplama yapılmış ve yapılmamış iki motorda aynı çalışma şartları için pamuktan yağdan elde edilen biyodizel ve dizel yakıt karışımlarını kullanarak performans ve emisyon değerlerini incelemiştir. Yaptığı bu çalışmada kaplama işlemi ile motor performansında yaklaşık %2.2 - %2.3 lük bir artış ve CO ve is emisyonunda da bir artış olduğunu belirtmiştir. Ayrıca yaptığı tüm denemelerde kaplama ile meydana gelen silindir içi sıcaklık değerindeki artıştan dolayı NO_x emisyonun da yükseldiğini tespit etmiştir.

Kim ve Choi (2010), CRDI yakıt sistemine sahip bir dizel motorda soya yağdan elde edilen biyodizel ve biyoetanol karışımlarını kullanarak egzoz emisyon değişimlerini incelemiştir. Deneylerde dizel yakıtı, hacimsel olarak %5 biyodizel içeren dizel yakıtı, %15 biyodizel içeren dizel yakıtı, %20 biyodizel içeren dizel yakıtı karışımı ve %15 biyoetanol içeren dizel karışımı kullanmışlardır. Sonuçta biyodizel dizel yakıtı karışımlarının kullanımında CO emisyonlarının azaldığını, NO_x emisyonlarının ise arttığını belirlemiştir.

Boldaji ve ark. (2011), etanol-ayçiçeği yağdan elde edilen biyodizel-dizel yakıt karışımlarının, dizel motorlardaki denklik oranı, egzoz emisyonları içerisindeki oksijen miktarı, su ve yağ sıcaklığı üzerindeki etkilerini belirlemek ve karşılaştırmak için deneyler yapmışlardır. Bu amaç için, dizel yakıt ile etanol ve biyodizel, 18 farklı karışımda tam yük durumunda, dört silindri dört zamanlı direkt enjeksiyonlu turbo şarjlı 82 HP gücünde bir dizel motorda test etmişlerdir. Hemen hemen tüm numunelerde denklik oranı biyodizel ve etanol yüzdeleri arttıkça azalmıştır. Biyodizel ve etanol

yüzdeleri ile birlikte tüm numunelerde egzoz oksijen yoğunluğu artmış ve motor su ve yağ sıcaklıkları biraz azalmıştır.

İlkılıç ve ark. (2011), aspir yağından elde ettikleri biyodizeli, motorin ile hacimsel olarak %5, %20 ve %50 oranlarında karıştırarak, bu yakıtların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlenmişlerdir. Deneyleri tek silindirli bir dizel motorda yapmışlardır. Performans değerlerinde dizel yakıtına göre %5, %20 ve %50 oranlarındaki biyodizel karışımlarında sırasıyla % 2.2, % 6.3 ve % 11.2 oranında azalma, özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise sırasıyla % 2.8, % 3.9 ve % 7.8 oranlarında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Egzoz emisyonlarında, biyodizelde partikül madde (PM) ve karbon monoksit (CO) değerlerinde azalma, hidrokarbon (HC) ve azot oksit (NO_x) değerlerinde ise artma tespit etmişlerdir.

Guido ve ark. (2013), biyoetanol/kolza biyodizeli/mineral dizel karışımını Euro 5 normlarına sahip 2.0 litrelik bir dizel motorda performans ve emisyonlar üzerine etkisini incelemişlerdir. Testleri sekiz kısmi yük motor koşullarında ve tam yükte 2500 min⁻¹ sabit durumda yapmışlardır. Deneylerde iki çeşit yakıt karışımı kullanmışlardır. Bunlar B₁₀ (%10 Biyodizel ve %90 Dizel) ve E₂₀ B₁₀ (%20 Etanol, %10 Biyodizel ve %70 Dizel) karışımlarıdır. Sonuçlardan temel olarak etanolün yüksek oksijen içeriğinden dolayı, test edilen tüm koşullarda E₂₀ B₁₀ yakıtı için emisyonlarda ciddi bir azalma gösterdiğini belirlemişlerdir.

Altun ve Seven 2018, çalışmasında biyoetanol, n-butanol ve biyodizel gibi alternatif yakıtların dizel motorlu bir jeneratörün performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Biyoetanol, n-butanol ve biyodizel yakıtını sırasıyla konvansiyonel dizel yakıtına hacimsel olarak %10, %16 ve %30 oranlarında katarak, alternatif dizel yakıtları elde etmiştir. Bu yakıtları dört zamanlı, dört silindirli doğal emişli dizel motorlu jeneratör setinde sabit devir (1500 min⁻¹) ve farklı yük şartlarında test etmiştir. Sonuçta, biyodizel katkılı yakıt karışımında özgül yakıt tüketiminin yaklaşık %10 oranında arttığını, efektif verimin ise değişmediğini, bununla beraber alkol katkılı karışım yakıtları kullanımında özgül yakıt tüketiminin petrol dizeli kullanımına göre %8-10 arasında daha düşük olduğunu ve efektif verimin ise yaklaşık %5 oranında arttığının gözlemlemişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmadaki kanola yağı piyasadan temin edilmiştir. Bu yağın biyodizeli Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü bünyesindeki laboratuvarında üretilmiştir. Üretim yöntemi olarak transesterifikasyon yöntemi, katalizör olarak NaOH ve alkol olarak metil alkol kullanılmıştır. Motorin ise; BP Petrol Şirketinden temin edilmiştir.

Deneyleerde kullanılan Süper Star marka dizel motor Şekil 3.1’de görülmektedir. Deneyle motorunun teknik özellikleri de Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deneyle motorunda yağlama yağı olarak, motor katalogunda üretici firma tarafından önerilen Petrol Ofisi 20W-50 dizel motor yağı tercih edilmiştir.



Şekil 3.1. Deneyle motoru ve dinamometre

Çizelge 3.1. Deney Motoru Teknik Özellikleri (Anonim,2009)

Tipi	Birim	Değer/Marka
Markası	-	Süper Star
Çalışma Prensibi	-	4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu
Silindir Çapı	mm	108
Strok	mm	100
Silindir Sayısı	adet	1
Silindir Hacmi	lt	0,92
Yakıt Deposu Kapasitesi	lt	16
Sıkıştırma Oranı	-	17:1
Yağ Kapasitesi (Filtre dahil)	lt	2,3
Max Güç	HP	15
Max Tork	Nm	60
Yağlama Sistemi	-	Tam Basıncılı (Dişli yağ pompası ile)
Soğutma Sistemi	-	Su Soğutmalı
Soğutma Suyu Kapasitesi	lt	3
Yakıt Pompası	-	Super Star / Bosch Tipi
Enjektör Kütüğü	-	Bosch / Lucas
Enjektör Memesi	-	Bosch / Lucas
Püskürtme Basıncı	kg/cm ²	175
Püskürtme Başlangıcı	derece	28-35 ⁰ Ü.Ö.N. dan önce

Kanola yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen biyodizel yakıtı motorinle %5 ve %10 oranında biyoetanol ilavesi ile birlikte ve ters oranla da hacimsel olarak karıştırılarak, D₁₀₀, B₁₀₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₁₀D₈₀ E₁₀B₅D₈₅ve E₅B₁₀D₈₅ formunda yakıtlar elde edilmiştir. Elde edilen karışımların ve motorinin yakıt özellikleri; su içeriği, renk tayini, ısıl değeri, parlama noktası, bakır çubuk korozyon testi, CFPP (SFTN – Soğuk Filtre Tıkanma Noktası) testi Selçuk Üniversitesinin Ziraat Fakültesinde bulunan Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarında, kinematik viskozitesi, yoğunluğu, pH miktarı, bulutlanma, akma ve donma noktası testleri ise Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır.

3.1.1. Deneylerde Kullanılan Aletler ve Cihazlar

3.1.1.1. Hidrolik Dinamometre

Motor deneylerinde Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde bulunan hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Şekil 3.2’de, dinamometre şekli ve Çizelge 3.2’de ise teknik özellikleri görülmektedir.



Şekil 3.2. Dinamometre

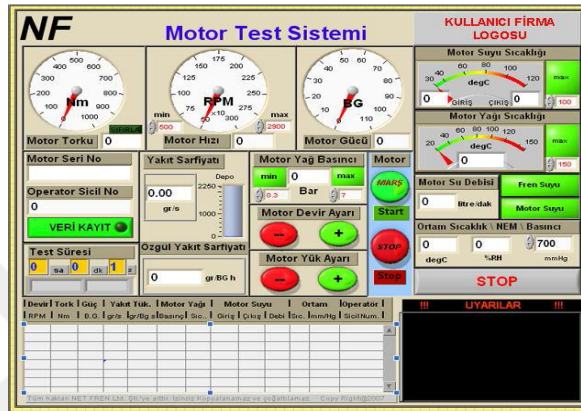
Çizelge 3.2. Dinamometre Teknik Özellikleri (Anonim, 2018 c)

Tip	Birim	Değer
Gövde Ağırlığı	kgf	45
Frenleme Torku Aralığı	Nm	0-1700
Gövde Çapı	mm	350
Tork Kolu Uzunluğu	mm	350
Çalışma Hızı	min ⁻¹	0-7500
Toplam Ağırlığı	kgf	110

3.1.1.2. Dinamometre Kontrol Ünitesi

Dinamometre kontrol ünitesi motor testi esnasında ölçülmesi istenen bütün parametrelerin sensörlerden gelen sinyalleri değerlendirerek ölçmek için kullanılan ünedir. Aynı zamanda ölçülen değerlerin sınır şartları dışına çıkması durumunda önce ikaz vererek operatörü uyarır. Diğer yandan test motorunun hızını ayarlamak ve dinamometrenin yükünü ayarlamak gibi fonksiyonlara sahiptir [Anonim, 2018 c].

Şekil 3.3’de dinamometre kontrol ünitesi görülmektedir.



Şekil 3.3. Dinamometre Kontrol Ünitesi

3.1.1.3. Magnetic pick-up

Dinamometre mili üzerine yerleştirilen dişlinin, dönüş esnasında dişleri sayılarak, sensörden geçen her diş için bir pulse üretilir. Birim zaman içerisinde üretilen pulse’ler sayıcı ile sayılarak dakikadaki devir ölçülür [Anonim, 2018 c].

Şekil 3.4’de magnetic pick-up görülmektedir.

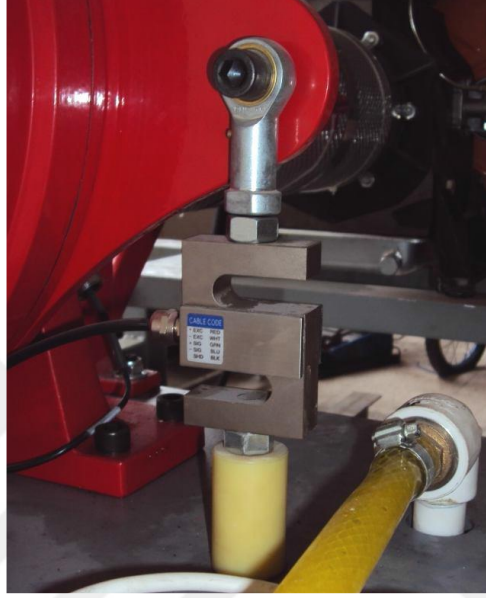


Şekil 3.4. Magnetic Pickup

3.1.1.4. S Tipi Load Cell

Dinamometrenin torkunu ölçmek için S tipi load cell kullanılır. Tork koluna bağlanan loadcell'e etkiyen kuvvet ölçüldüğü için dinamometrenin frenleme momenti ve motor momenti tanımlanır. Ölçülen değerler sayesinde motor gücü hesaplanır [Anonim, 2018 c].

Şekil 3.5'de S Tipi Load Cell görülmektedir.



Şekil 3.5. S Tipi Load Cell

3.1.1.5. Kütleli Yakıt Tüketimi Ölçüm Cihazı

Saatlik yakıt tüketimi ya da özgül yakıt tüketiminin belirlenmesi amacıyla, kütleli ölçüm yapabilen cihaz, yakıt deposu ile pompa arasında bağlanmıştır. Yakıt tüketim ölçüm cihazı şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Kütleli Yakıt Tüketimi Ölçüm Cihazı

3.1.1.6. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Emisyon değerleri Selçuk Üniversitesinin Ziraat Fakültesin Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde bulunan Mobydic 5000 marka cihaz tarafından ölçülmüştür. Şekil 3.7’de egzoz emisyon cihazı ve de çizelge 3.3’de de teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Egzoz Emisyon Cihazı Teknik Özellikleri (Anonim, 2018 ç)

Ölçüm Aralıkları	Birimi	Değeri
CO	%Vol	0-10
CO ₂	%Vol	0-20
HC	ppm% Vol	0-10000
O ₂	%Vol	0-21
SO ₂	ppm% Vol	0-500
NO _x	ppm% Vol	0-5000
Lambda (λ)	---	0-5
Tepki Süresi	s	<10
Ölçüm Debisi	lt/dk	5-7



Şekil 3.7. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

3.1.1.7. Yoğunluk ölçer

Deney yakıtlarının yoğunluk ölçümlerinde, Kem Kyoto markanın DA-130N model cihazı kullanılmıştır. Cihaz ölçüm yaparken ölçüm sıcaklığını otomatik olarak 15°C'ye çevirerek g/cm^3 yada kg/m^3 cinsinden değer vermektedir. Cihaz EN 61326-1 standarda göre yoğunluk ölçümü yapabilmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Yoğunluk ölçer

3.1.1.8. pH metre

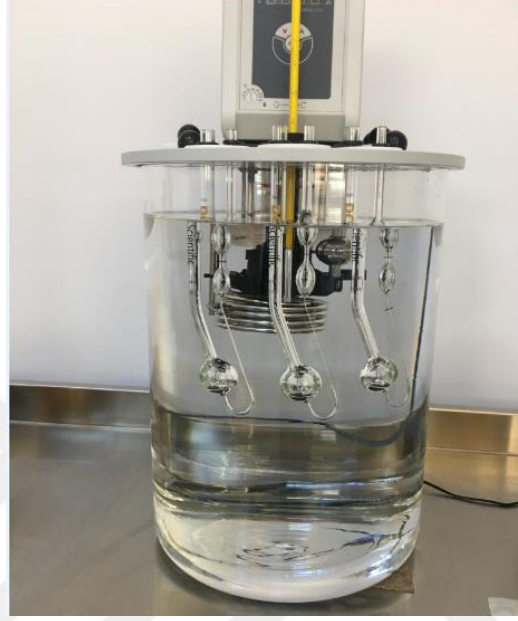
Yakıtların pH değerlerinin ölçülmesinde 0-14 pH aralıklı Bante marka PHS-3BW model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. pH Metre

3.1.1.9. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

Yakıtların viskozitelerinin ölçümlerinde şekil 3.10 da görülen, sıcaklık derece hassasiyeti ± 0.03 °C, çalışma sıcaklığı ortam sıcaklığı ile +150 °C arasında olan Julabo marka cihaz kullanılmıştır. Cihaz ASTM D 445, D 446 ve D 2170 standartlarında ölçüm yapmaktadır.



Şekil 3.10. Viskozite Cihazı

3.1.1.10. Kronometre

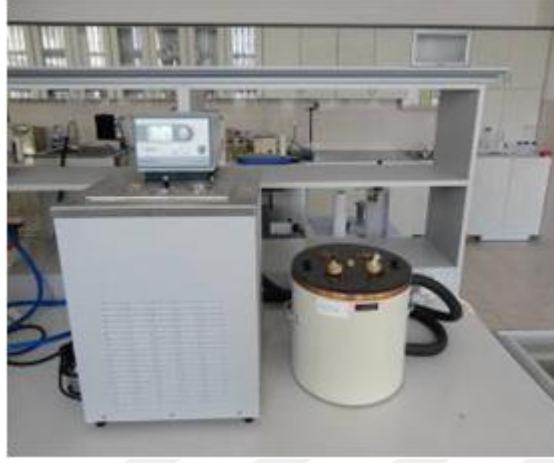
Kinematik viskozitenin hesaplanması OEM marka, ZSD 808 model, 1/100 saniye hassasiyetli kronometre ile sağlanmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Kronometre

3.1.1.11. Bulutlanma ve akma noktası test cihazı

Yakıtların bulutlanma ve akma noktalarının tespitinde, ASTM D97 standardına göre ölçüm yapabilen Koehler marka, K46000 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Bulutlanma ve Akma Noktası Test Cihazı

3.1.1.12. Su içeriği tayin cihazı

Su içeriği tayininde Kem Kyoto MKC-501 model cihaz kullanılmıştır. Ölçüm sıcaklığı 5 - 35°C ve ölçüm aralığı 10 µg -100 mg dır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Su İçeriği Tayin Cihazı

3.1.1.13. Otomatik renk ölçüm cihazı

Yakıtların renk tayininde Saybolt, ASTM, Pt-Co/Hazen/APHA ve CIE renk skalalarına göre ölçüm yapabilen LOVIBONT marka PFX195 model, dijital otomatik renk ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Renk Ölçüm Cihazı

3.1.1.14. Adyabatik kalorimetre cihazı

Yakıtların kalori değerini tespit etmek için IKA marka adyabatik kalorimetre cihazı kullanılmıştır. Cihaz EN 50082, TS EN 60555-1 ve TS EN 61010-1 standartlarında ölçüm yapabilmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Adyabatik Kalorimetre Cihazı

3.1.1.15. Parlama noktası tayin cihazı

Deney yakıtlarının parlama noktalarının ölçümünde, Koehler - K16270 marka cihaz ile yapılmıştır. Cihaz ile ISO 2719 ve ASTM D 93 standartlarında ölçüm yapılabilmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Parlama Noktası Tayin Cihazı

3.1.1.16. Bakır şerit korozyonu test cihazı

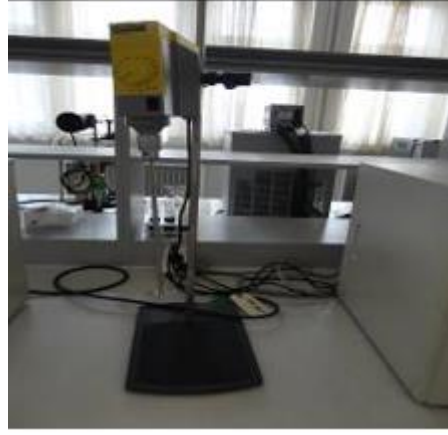
Deney yakıtlarının korozyon etkisi tayininde, şekil 3.17 de görülen Koehler - K25330 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ISO 2160, DIN 51759 ve ASTM D 130 standartlarında ölçüm yapılabilmektedir.



Şekil 3.17. Bakır şerit korozyon cihazı

3.1.1.17. Laboratuvar tipi karıştırıcı

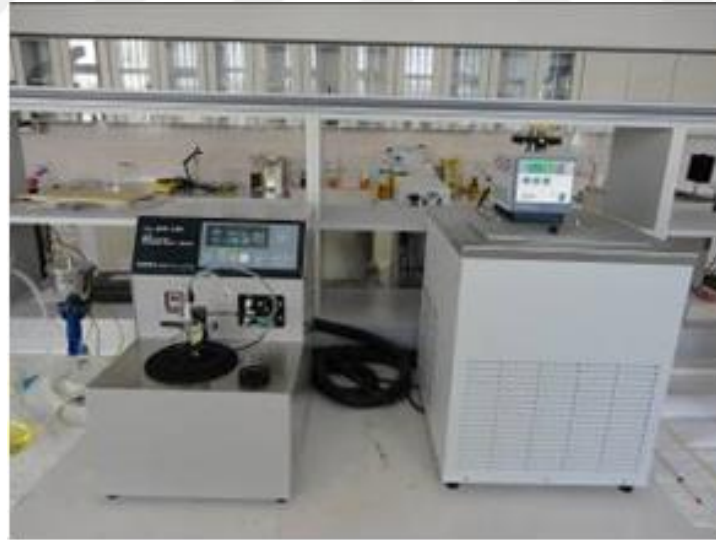
Deney yakıtlarının oluşturulmasında IKA - OST basic model karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Laboratuvar Tipi Karıştırıcı

3.1.1.18. Soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) tayin cihazı

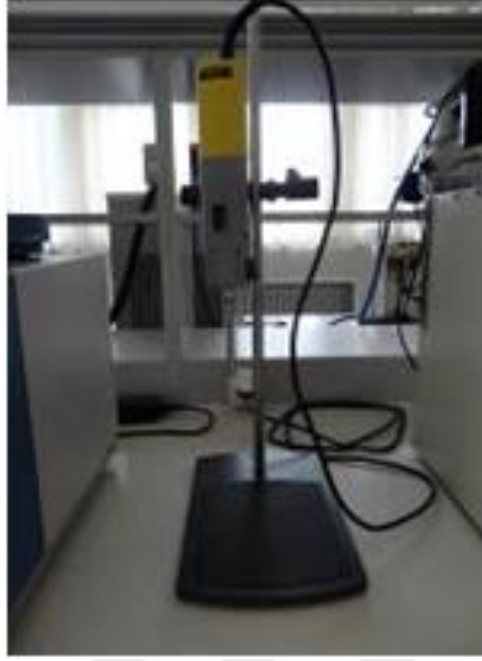
Deney yakıtlarının soğuk filtre tıkanma noktası ölçümü, AFP-102/TANAKA marka test cihazı ile belirlenmiştir. Cihazın soğutma ünitesi $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar cihazı kontrol edebilmektedir. Cihaz ile ASTM D 6371 standardına göre ölçüm yapılabilmektedir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN) Tayin Cihazı

3.1.1.19. Homojenizatör

Yakıt numunelerinin karışımında homojenlik sağlanması için, Yellow line marka DI 18 basic model homojenizatör kullanılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20 . Homojenizatör

3.1.1.20. Termometreler

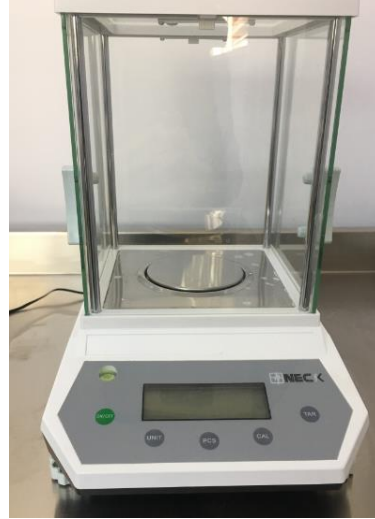
Sıcaklık ölçümleri için Barbecue marka dijital termometre kullanılmıştır. Dijital termometre daldırma saplama tipli, ± 1 °C hassasiyetli ve -50 °C ile 300 °C arası ölçüm yapabilmektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Termometre

3.1.1.21. Hassas terazi

Biyodizelin üretiminde kullanılacak katalizör madde ve yakıt numunelerinin ölçümleri için, Neck marka FLY 500 serisi, 420 gram kapasiteli, 0,001 gram hassasiyetli ölçüm yapabilen hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Hassas Terazi

3.1.2. Araştırmada Kullanılan Kimyasal Maddeler

3.1.2.1. Katalizör

Kanola biyodizeli üretiminde katalizör olarak saflık değeri en az % 97 olan sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Katalizör

3.1.2.2. Metil alkol (Metanol)

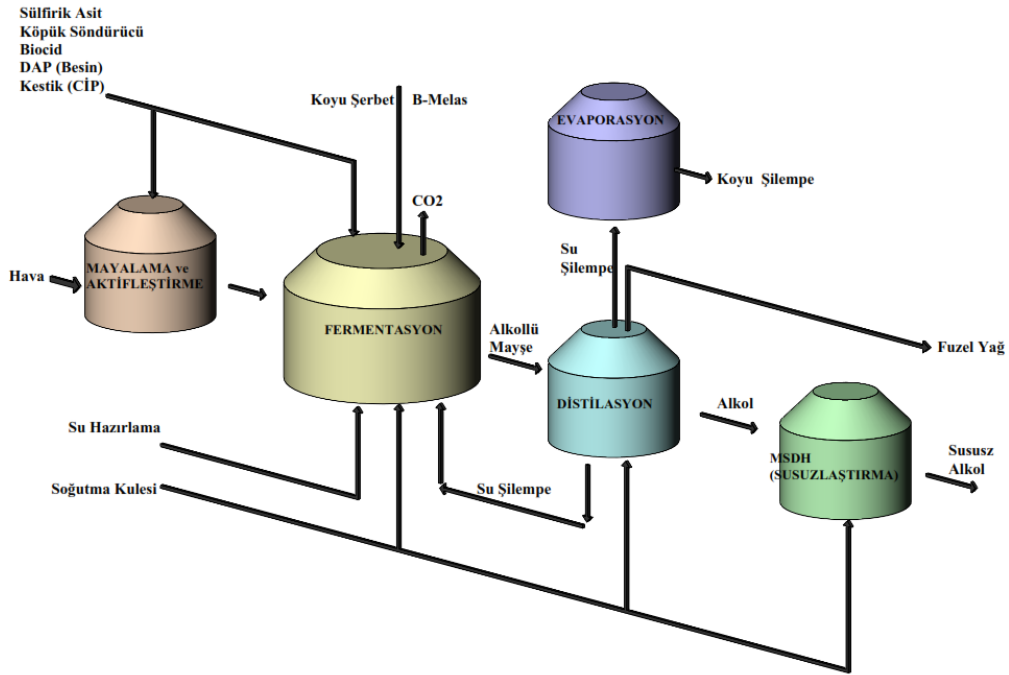
Biyodizel üretiminde kullanılan metil alkolün kimyasal formüllü CH_3OH , yoğunluğu $0,791- 0,793 \text{ g/cm}^3$ ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) arasında ve moleküler ağırlığı $32,02 - 32,05 \text{ g/mol}$ arasındadır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 Metanol

3.1.3. Biyoetanol temini

Konya Şeker Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından şeker pancarının melasından üretimi yapılan biyoetanol % 99,8 saflıktadır. Kimyasal formülü C_2H_5OH 'dır. Biyoetanol süreç akış şeması şekil 3.25'de görülmektedir.



Şekil 3.25. Melastan üretilen biyoetanol üretim süreci [Anonim, 2019]

3.1.4. Biyodizel Üretim Reaktörü

Biyodizel üretmek amacıyla Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda bulunan reaktör saatte 30 litre üretim yapabilecek kapasitededir (Şekil 3.26).



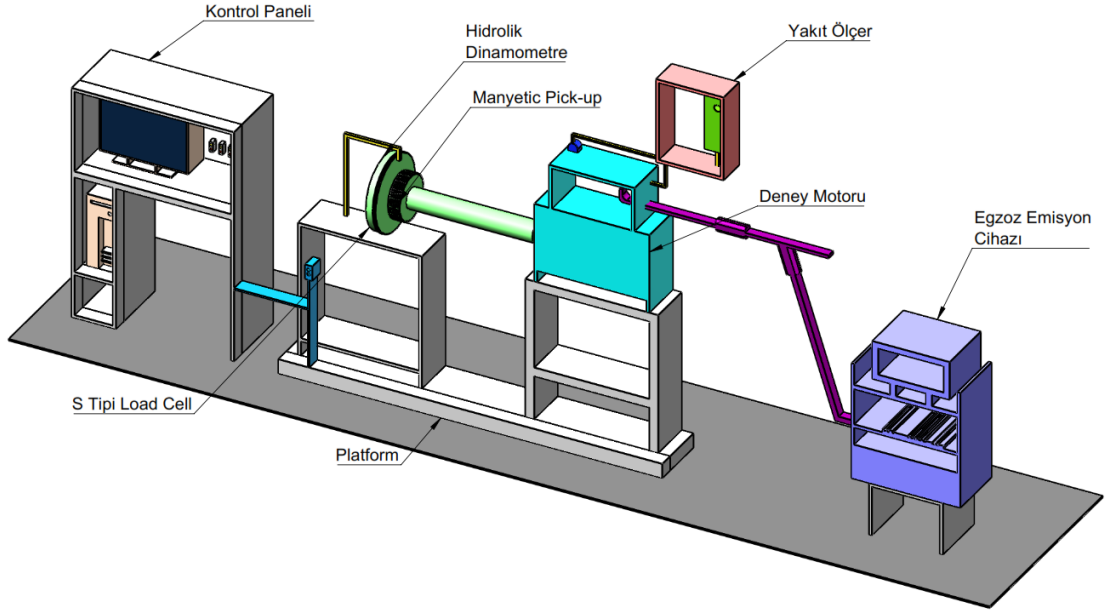
Şekil 3.26. Biyodizel üretim reaktörü

3.2. Yöntem

Yapılan çalışma yedi aşamada gerçekleştirilmiştir.

- Kanola yağının temin edilmesi,
- Kanola yağı metil esterinin (KYME) üretilmesi,
- Biyoetanol temini ve hazırlanması,
- D₁₀₀, B₁₀₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₁₀D₈₀ E₁₀B₅D₈₅ve E₅B₁₀D₈₅ formunda yakıt karışımlarının hazırlanması,
- D₁₀₀, B₁₀₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₁₀D₈₀ E₁₀B₅D₈₅ve E₅B₁₀D₈₅ formunda yakıt karışımlarının yakıt özelliklerinin tespiti,
- Motor test ve deney ortamının hazırlanması,
- Motor performans ve egzoz emisyon ölçümlerinin yapılması,

Deney düzeneğinin şematik görünümü şekil 3.27'de gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Motor test düzeneğinin şematik görünümü

3.2.1 Kanola Yağının Temin Edilmesi

Kanola yağı piyasadan ham yağ olarak temin edilmiştir.

3.2.2. Kanola Yağı Metil Esterinin (KYME) Üretilmesi

Biyodizelin üretilmesi altı aşamada olmaktadır. Bunlar; transesterifikasyon yöntemi ile katalizör ve alkolün karıştırılması, reaksiyon, ayırma, yıkama, kurutma ve depolamadır [Eryılmaz, 2009]

Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda kanola ham yağdan biyodizel üretmek için yapılan işlemler aşağıda verilmiştir.

- Kanola yağı reaktöre eklenip; reaktörde yağ uygun reaksiyon sıcaklığı (en iyi ester verimi) olan 55 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Reaksiyon boyunca sıcaklık termostat sayesinde sabit tutulmuştur. Ham yağ 1 saat boyunca karıştırılarak sıcaklığının homojen olması sağlanmıştır.
- Kanola yağının hacimsel olarak, %20'sine karşılık gelen metanol ve 1 litreye 3,5 g/litre oranında sodyum hidroksit katalizör madde olarak kullanılmıştır.
- Metanolün %100'ü ve NaOH'ın %100'ü karıştırılarak metoksit oluşturulmuş ve reaktör içerisindeki yağa gönderilmiş ve bir saat boyunca karıştırılmış ve bir

saatin sonunda cihaz kapatılarak biyodizel reaktör içerisinde 8 saat beklemeye alınmıştır.

- Bekleme süresi sonunda gliserol ayrıştırılarak tekrardan 70 °C’de 30 dakika boyunca karıştırılarak alkol buharlaştırılmıştır.
- Yıkama fazında 1 litre yağ için 200 ml saf su 50 °C’ye ısıtılarak biyodizelin üzerine duşlama (fiskiyeleme) yöntemiyle gönderilmiş ve sekiz saat beklemeye alınmıştır.
- Bekleme süresi bitiminde dibe çöken su alınmış ve kalan numune 100 °C’de 30 dakika boyunca karıştırılarak kalan su buharlaştırılmıştır.

3.2.3. Yakıt Numunelerin Hazırlanması

Numuneler hacimsel olarak hazırlanmıştır. Laboratuvar tipi karıştırıcı ile karışım homojen hale getirilmeye çalışılmıştır. Motorin, kanola biyodizeli ve biyoetanolden oluşan karışımlar 5 değişik yakıt oluşturulmuştur.

%100 motorine D₁₀₀, motorine hacimsel olarak %10 biyoetanol ve %10 kanola biyodizeli katılmasıyla oluşturulan yakıt E₁₀B₁₀D₈₀, motorine hacimsel olarak %5 biyoetanol ve %5 kanola biyodizeli katılmasıyla oluşturulan yakıt E₅B₅D₉₀, motorine hacimsel olarak %10 biyoetanol ve %5 kanola biyodizeli katılmasıyla oluşturulan yakıt E₁₀B₅D₈₅, motorine hacimsel olarak %5 biyoetanol ve %10 kanola biyodizeli katılmasıyla oluşturulan yakıt E₅B₁₀D₈₅ ve % 100 kanola biyodizeline B₁₀₀ denilmiştir. Şekil 3.28’da analizler için hazırlanmış yakıt numuneleri görülmektedir.



Şekil 3.28. Yakıt numuneleri

Oluşturulan yakıtların karışım oranları ve adları çizelge 3.4’de verilmiştir

Çizelge 3.4. Oluşturulan yakıtların karışım oranları ve adları

Yakıt	Motorin	Biyoetanol	Biyodizel
D ₁₀₀	100	-	-
E ₁₀ B ₁₀ D ₈₀	80	10	10
E ₅ B ₅ D ₉₀	90	5	5
E ₁₀ B ₅ D ₈₅	85	10	5
E ₅ B ₁₀ D ₈₅	85	5	85
B ₁₀₀	-	-	100

3.2.4. Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi

Üretilen biyodizelin TS EN 14214 ve karışımların ise TS EN 590 standartlarına uygun olup olmadığı bu standartlarda verilen testlerin yapılması ile anlaşılabilir, yakıtların kalitesi belirlenebilmektedir. Analiz sonuçları çizelge 3.5’de görülmektedir.

3.2.5. Motor Performans Deneyleri

Motor performans deneyleri TS 1231 standardına göre, D₁₀₀, B₁₀₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₁₀D₈₀, E₁₀B₅D₈₅ ve E₅B₁₀D₈₅ formunda yakıtlar ile yapılmıştır. Performans deneylerine başlamadan önce, motorun katalog değerleri referans alınarak periyodik kontrolleri yapılmış ve motorun yakıt hortumları yakıt ölçer sistemine bağlanmıştır. Deneyler süresince alınan sonuçlar motor çalışma sıcaklığına (80–90 °C) geldikten sonra kayda alınmıştır. Her deney 3 defa tekrarlanarak ve aritmetik ortalamaları hesaplanarak değerlendirmeye alınmıştır. Motor momenti, efektif motor gücü ile özgül yakıt tüketimi aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır. Egzoz emisyonlarından ise karbondioksit (CO₂), karbon monoksit (CO), oksijen (O₂), hidro karbon (HC), azot oksit (NO_x) ve kükürt dioksit (SO₂) değerleri ölçülmüştür.

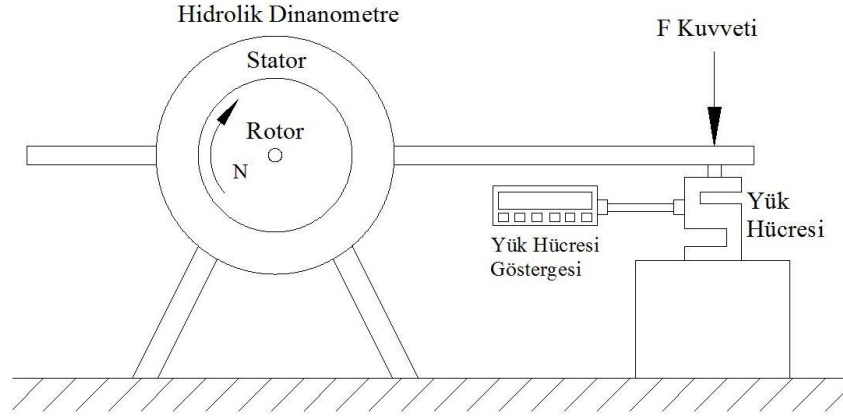
Çizelge 3.5. Yakıt Analiz Sonuçları

Özellik	Birimi	Kanola Yağı	B ₁₀₀	D ₁₀₀	E ₅ B ₅ D ₉₀	E ₁₀ B ₁₀ D ₈₀	E ₁₀ B ₅ D ₈₅	E ₅ B ₁₀ D ₈₅	Biyo etanol	Standart	
										Motorin	Biyodizel
Yoğunluk (15°C)	g/cm ³	0,915	0,883	0,834	0,835	0,836	0,835	0,837	0,791	0,82-0,84	0,86-0,90
Kinematik Viskozite (40°C)	mm ² /s	31,388	4,453	3,071	2,647	2,492	2,444	2,644	1,269	2- 4,5	3,5-5
Kinematik Viskozite (100°C)	mm ² /s	4,5127	2,044	1,417	1,125	1,211	1,051	1,125	0,697	-----	-----
Parlama Noktası	°C	150	125	61	-----	-----	-----	-----	-----	55	120
Su İçeriği	ppm	212,53	492,51	34,52	292,71	490,87	583,04	247,65	372,6	200	500
PH	-----	4,8	4,9	4,01	5	5,03	5,02	5,01	6,12	---	---
Renk Tayini	ASTM	0,8	1,0	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	0,5	---	---
Kalori Değeri	Cal/gr	-----	9585	10919	10876	10120	10752	10272	7068	---	---
Bulutlanma Noktası	°C	-9,8	-5,9	-8,4	-6,9	-7,3	-7,2	-7,1	---	---	---
Akma Noktası	°C	-13,6	-9,1	-15,1	-9,2	-10,1	-9,9	-9,8	---	---	---
Donma Noktası	°C	-17,4	-12,1	-20	<-20	<-20	<-20	<-20	<-20	---	---
SFTN	°C	-----	-7	-17	-18	-19	-20	-18	<-20	- 20	-15
Bakır Çubuk Korozyon	-----	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	1a	No:1	No:1

3.2.5.1. Motor Momenti

Döndürme momenti bir motorun iş yapabilme yeteneğini göstermektedir. Günümüzde hidrolik, mekanik ve elektromanyetik dinamometreler vasıtası ile döndürme momenti ölçülebilmektedir [Gilles, 2011].

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, motor çıkış mili ile hidrolik dinamometrenin rotoru arasına kardan mili monte edilerek, motorun dinamometreye irtibatı sağlanmıştır. Şekil 3.29'da motor momentinin ölçülmesinde kullanılan sistem gösterilmektedir.



Şekil 3.29. Test düzeneğinde döndürme momentinin ölçülmesi [Reşitoğlu, 2010]

Motorun döndürme momenti (M_d) önce rotora tesir etmekte, sonra rotor ile stator arasındaki bulunan sıvı aracılığıyla stator dönmeye çalışmaktadır. Stator üzerinde bulunan kol, yük hücresine baskı yapar ve bir devirde $2\pi r$ yolu boyunca kuvvet uygulanır. Bu kuvvetin oluşturduğu moment, motorun döndürme momenti olarak ifade edilmektedir [Reşitoğlu, 2010].

Statoru döndürmeye çalışan F kuvvetinin oluşturduğu moment aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$M_d = F \cdot L \quad (3.1)$$

M_d : Motor döndürme momenti (Nm)

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

L : Hidrolik frenin moment kolu uzunluğu (m)

3.2.5.2. Efektif Motor Gücü

Motorun yanma odası içerisindeki birim zamanda elde edilen işe indike güç denir. İndike gücün bir kısmı taze havayı emmek ve egzoz gazlarını dışarı atmak için kullanılmaktadır (Atkins, 2009).

Efektif güç (P_e), döndürme momenti (M_d) ve açısal hızın (ω) çarpımı sonucu elde edilir.

$$P_e = \omega \cdot M_d \quad (3.2)$$

Motor devri (n) dev/dak cinsinden olduğundan açısal hız,

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n / 60 = \pi \cdot n / 30 \quad (3.3)$$

Açısal hızı, denklem 3.2'de yerine koyup birimi kW cinsine dönüştürsek,

$$P_e = (\pi \cdot n / 30) \cdot M_d \cdot 10^{-3} \quad (3.4)$$

$$P_e = M_d \cdot n / 9549,58 \quad (3.5)$$

elde edilir [Aydoğan, 2011].

3.2.5.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketim hesabı, saatte tüketilen yakıt miktarının üretilen güce oranı ile belirlenir.

$$b_e = B \cdot 1000 / N_e \quad (3.6)$$

b_e =Özgül yakıt tüketimi (gr/kWh)

B = Ölçülen saatlik yakıt tüketimi (kg/h)

N_e =Efektif motor gücü (kW)

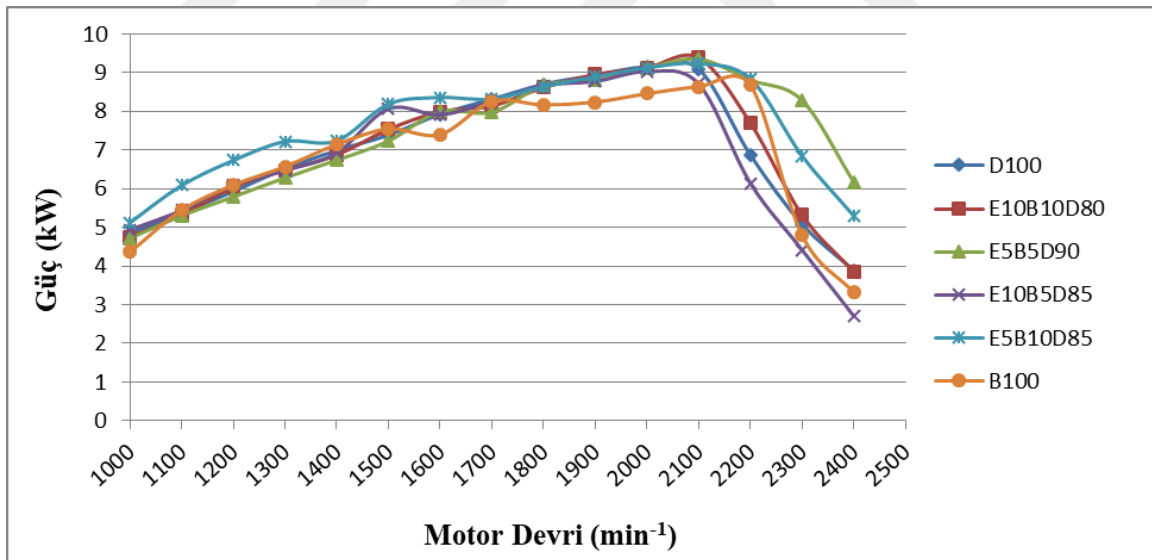
Bir motorun en avantajlı çalışma durumları; maksimum tork ($M_{e_{max}}$), maksimum güç ($P_{e_{max}}$) ve en az özgül yakıt tüketimi ($b_{e_{min}}$)'ni sağladığı durumlardır [Özçelik, 2011].

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Performans Deneyleri Sonuçları

4.1.1. Efektif güç değerlerinin karşılaştırılması

Motorin (D₁₀₀) yakıtı, Biyoetanol - Kanola Biyodizeli - Motorin karışımları ve Kanola Biyodizel (B₁₀₀) yakıtı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak efektif güç değerlerinin değişimleri şekil 4.1'de görülmektedir. Maksimum motor gücü 2000 min⁻¹'de D₁₀₀ yakıtında 9.155 kW olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 0.30 , % 0.41, % 1.39, % 0.32 ve % 7.62 azalma görülmektedir. Bununla birlikte motorun tüm devirlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Karışım yakıtların ve Kanola biyodizelinin efektif güç değerlerinin dizel yakıtına nazaran daha düşük olmasının temel nedeni, çizelge 3.5'de de görüldüğü gibi motorin (D₁₀₀) yakıtına göre kanola biyodizelinin (B₁₀₀), biyoetanolün ve karışımların alt ısı değerlerinin düşük olmasıdır.

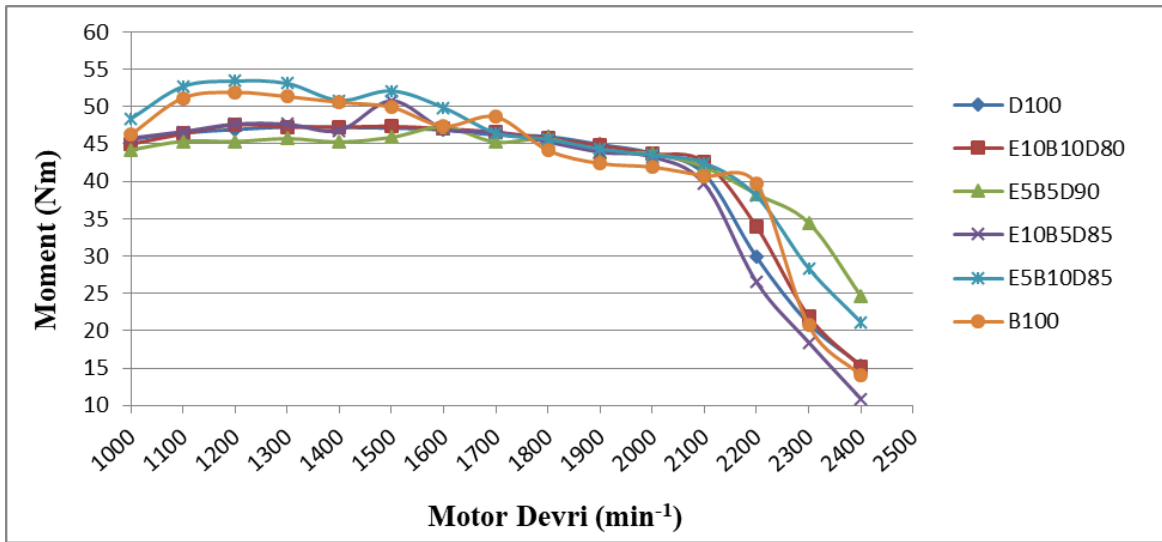


Şekil 4.1. Yakıtların motor devrine bağlı olarak efektif güç değerleri

4.1.2. Motor momenti değerlerinin karşılaştırılması

Motorin (D₁₀₀) yakıtı, Biyoetanol - Kanola Biyodizeli - Motorin karışımları ve Kanola Biyodizel (B₁₀₀) yakıtı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine göre elde edilen motor momenti değerlerinin değişimleri şekil 4.2'de verilmiştir.

Maksimum motor torku 1300 min^{-1} 'de $E_5B_{10}D_{85}$ yakıtında 53.111 Nm olarak ölçülmüştür. D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda % 0.16 artma, % 3.30 azalma, % 0.79, % 12.31 ve % 8.59 artma görülmektedir. Bununla birlikte motorun tüm devirlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Çizelge 3.5'de de görüldüğü gibi motorin (D_{100}) yakıtına göre kanola biyodizelinin (B_{100}), biyoetanolün ve karışımların ısı değerlerinin düşük olmasına rağmen maksimum motor torku 1300 min^{-1} 'de meydana geldiği için düşük devirlerde yanma hızı da düşük olmaktadır. Biyodizel özellik bakımından yanma verimini artırmaktadır. Etanolla harmanlama ile birlikte düşük devirlerde yanma iyileşmekte ve tork değerlerinde bir miktar artış göstermektedir.



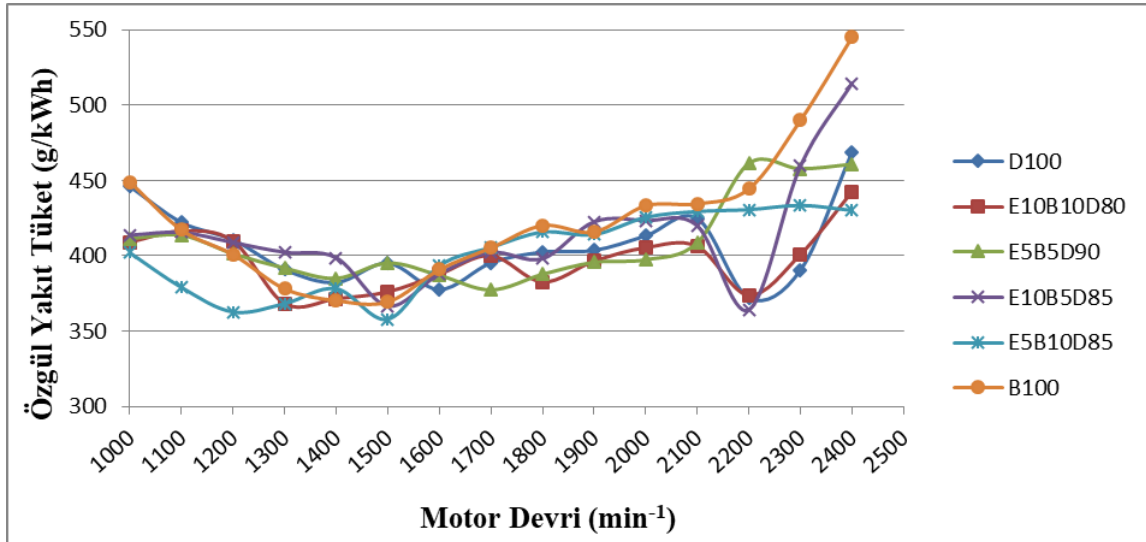
Şekil 4.2. Yakıtların motor devrine bağlı olarak moment değerleri

4.1.3. Özgül yakıt tüketimi değerlerinin karşılaştırılması

Motorin (D_{100}) yakıtı, Biyoetanol - Kanola Biyodizeli - Motorin karışımları ve Kanola Biyodizel (B_{100}) yakıtı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine göre elde edilen özgül yakıt tüketimi değerlerindeki değişimler şekil 4.3'de verilmiştir.

Minimum özgül yakıt tüketimi 1600 min^{-1} 'de D_{100} yakıtında 377.620 g/kWh olarak ölçülmüştür. D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda % 2.70, % 2.49, % 2.74, % 4.18 ve % 3.49 artış görülmektedir. Bununla birlikte motorun tüm devirlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Karışım yakıtlarının özgül yakıt tüketimi, dizel yakıtına nazaran daha yüksek çıkması, çizelge 3.5 'de de görüldüğü gibi motorin (D₁₀₀) yakıtına göre kanola biyodizelinin (B₁₀₀), biyoetanolün ve karışımların ısı değerlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.3. Yakıtların motor devrine bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerleri

Motor deneyleri sonucunda motor momenti, efektif güç ve özgül yakıt tüketimi değerleri incelendiğinde elde edilen sonuçlar, Kim ve Choi (2010), Özdemir (2011) ve Balcı (2017)'nin yaptığı çalışmalar ile benzerdir.

4.2. Emisyon Deneyleri Sonuçları

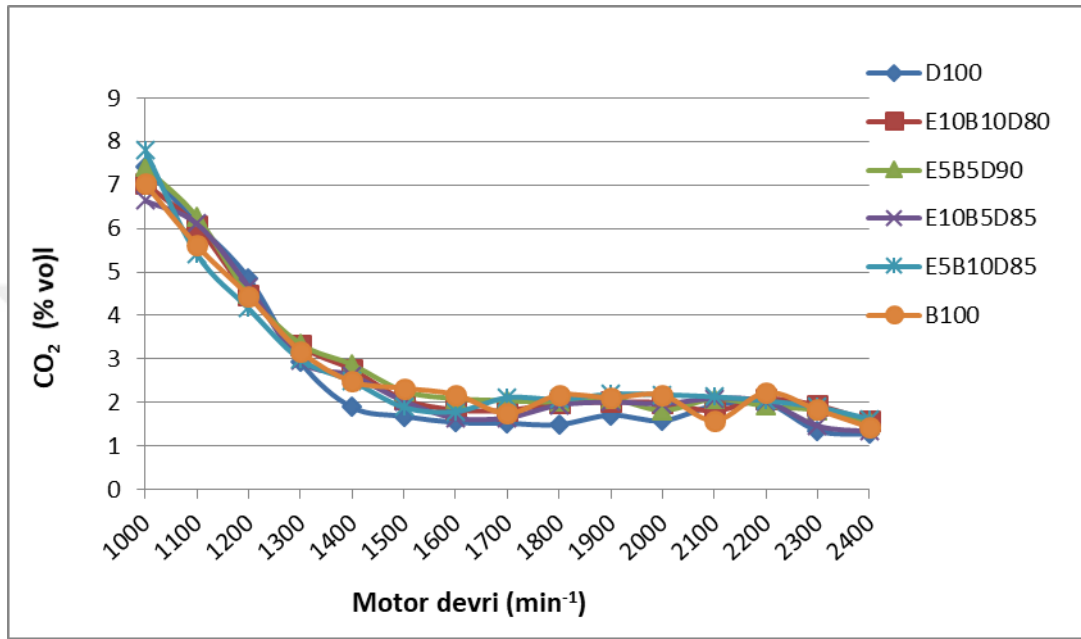
4.2.1. Karbondioksit (CO₂) değerleri

Şekil 4.4'de Motorin (D₁₀₀) yakıtı, Biyoetanol - Kanola Biyodizeli - Motorin karışımları ve Kanola Biyodizel (B₁₀₀) yakıtı kullanımında, CO₂ değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi verilmiştir. Egzoz ürünleri içerisindeki CO₂ tam yanmayı ifade ettiği için emisyonlar açısından önemli bir parametredir.

Grafik incelendiğinde 1300 min⁻¹ maksimum motor torku değerinde E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı CO₂ emisyon değerine göre sırasıyla % 12.96, % 14.33, % 1.02, % 2.04 ve % 8.53 artış görülmektedir. 2000 min⁻¹ deki maksimum motor gücü değerinde ise E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı CO₂ emisyon

değerine göre sırasıyla % 25.94, % 15.18, % 24.68, % 37.97 ve % 37.34 artış meydana gelmiştir.

Karışımların CO₂ emisyonunun motorine göre daha yüksek çıkma sebebi, biyodizel ve biyoetanol yakıtında bulunan oksijenden dolayı hava fazlalık katsayılarının motorine göre daha yüksek olmasıdır.



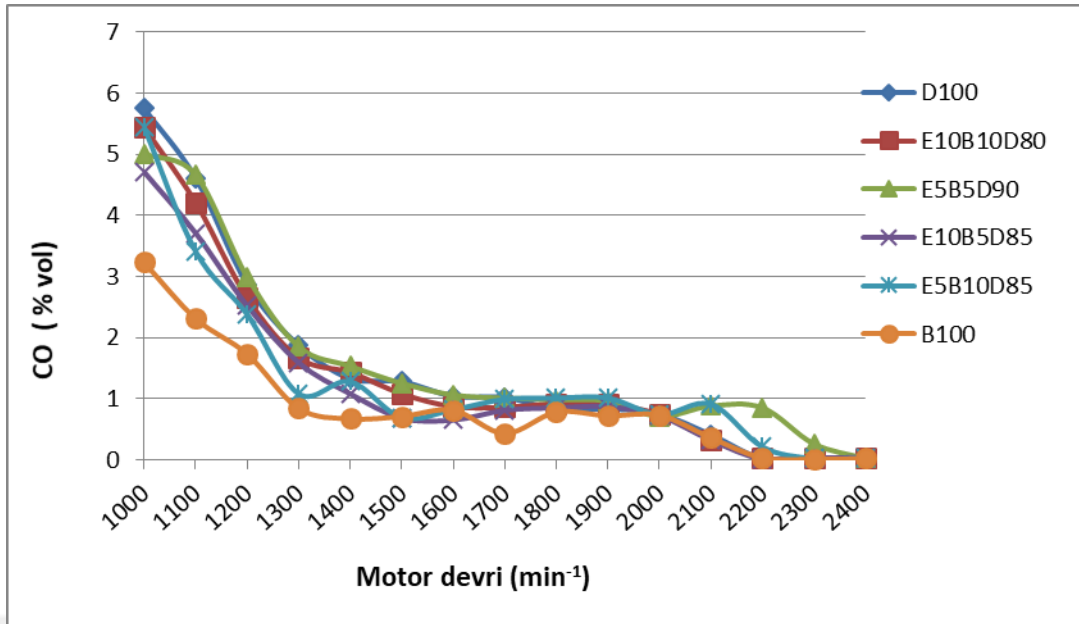
Şekil 4.4. Yakıtların motor devrine bağlı olarak CO₂ emisyonu değerleri

4.2.2. Karbon monoksit (CO) değerleri

Şekil 4.5'de Motorin (D₁₀₀) yakıtı, Biyoetanol - Kanola Biyodizeli - Motorin karışımları ve Kanola Biyodizel (B₁₀₀) yakıtı kullanımında, CO değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Grafik incelendiğinde 1300 min⁻¹ maksimum motor torku değerinde E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı CO emisyon değerine göre sırasıyla % 10.69, % 1.06, % 14.97, % 42.24 ve % 55.08 azalma görülmektedir. 2000 min⁻¹ deki maksimum motor gücü değerinde ise E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı CO emisyon değerine göre sırasıyla % 1.33, % 5.33, % 4, % 1.33 ve % 2.66 azalma meydana gelmiştir.

Azalmanın en önemli sebepleri, biyodizel ve biyoetanol yakıtının moleküler yapısında oksijen bulunması sonucu ve HFK'nın motorin yakıtına göre daha yüksek olmasıdır. Bu iki faktör yanma esnasında CO'yu oksitleyerek CO₂'e dönüştürmektedir.



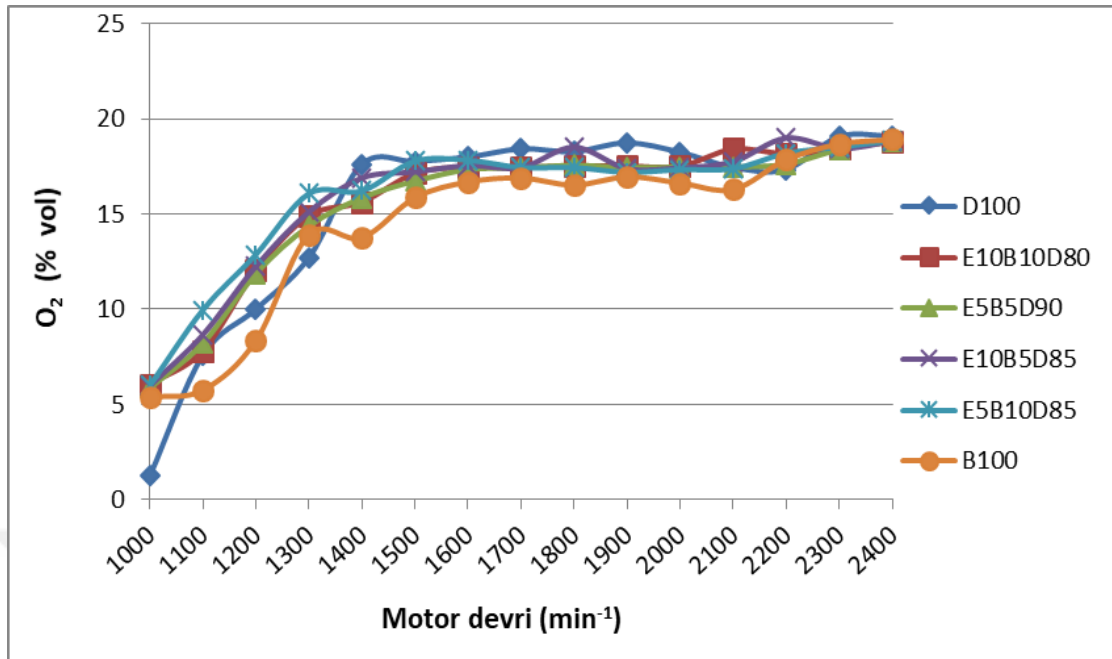
Şekil 4.5. Yakıtların motor devrine bağlı olarak CO emisyonu değerleri

4.2.3. Oksijen (O₂) değerleri

Şekil 4.6'da Motorin (D₁₀₀) yakıtı, Biyoetanol - Kanola Biyodizeli - Motorin karışımları ve Kanola Biyodizel (B₁₀₀) yakıtı kullanımında, O₂ değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Grafik incelendiğinde 1300 min⁻¹ maksimum motor torku değerinde E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı O₂ emisyon değerine göre sırasıyla % 17.30, % 13.06, % 18.88, % 26.43 ve % 9.52 artış görülmektedir. 2000 min⁻¹ deki maksimum motor gücü değerinde ise E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı O₂ emisyon değerine göre sırasıyla % 4, % 4.27, % 4.44, % 4.98 ve % 8.82 azalış meydana gelmiştir.

Düşük devirlerdeki D₁₀₀ yakıtının O₂ emisyon değerinin diğer yakıtlara göre düşük olmasının sebebi Çizelge 3.5 'de de görüldüğü gibi D₁₀₀ yakıtının diğer deney yakıtlarına göre yoğunluk değerinin daha az olması sebebiyle, yanma odasında daha fazla yer kaplamasından ve giren hava miktarının azalmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ancak yüksek devirlerde karışım yakıtlarında ve B₁₀₀ yakıtındaki oksijen içeriği yanma hızı ve yanma verimi arttığından bu durumun tersi söz konusudur.



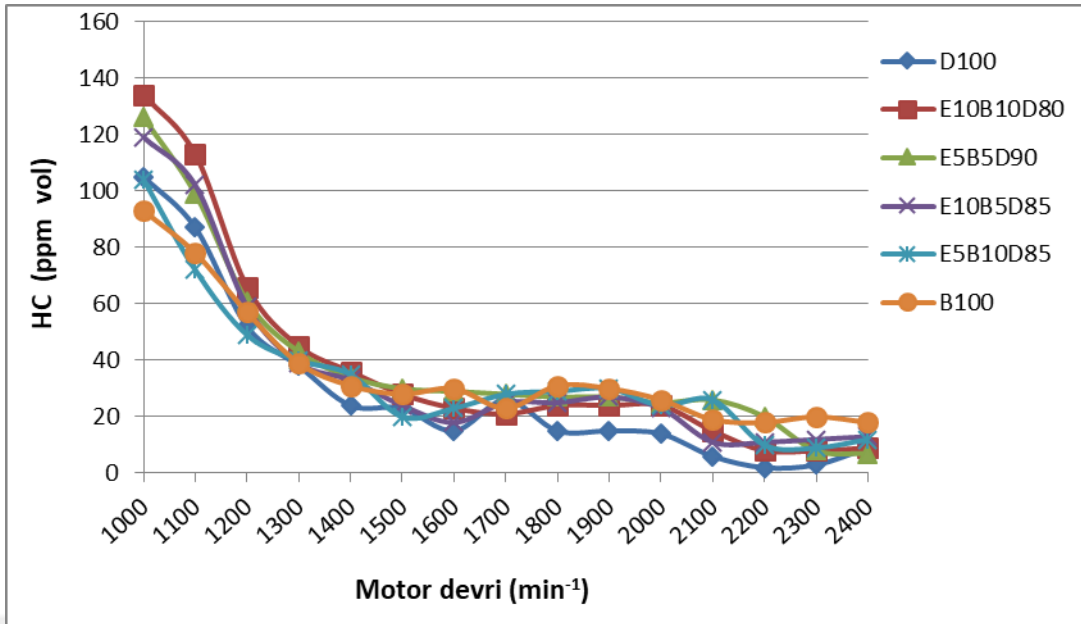
Şekil 4.6. Yakıtların motor devrine bağlı olarak O₂ emisyonu değerleri

4.2.4. Hidrokarbon (HC) değerleri

Şekil 4.7’de Motorin (D₁₀₀) yakıtı, Biyoetanol - Kanola Biyodizeli - Motorin karışımları ve Kanola Biyodizel (B₁₀₀) yakıtı kullanımında, HC değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Grafik incelendiğinde 1300 min⁻¹ maksimum motor torku değerinde E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı HC emisyon değerine göre sırasıyla % 18.42, % 13.15, % 2.63, % 5.26 ve % 2.63 artış görülmektedir. 2000 min⁻¹ deki maksimum motor gücü değerinde ise E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı HC emisyon değerine göre sırasıyla % 71.42, % 78.55, % 64.28, % 71.42 ve % 85.71 artış meydana gelmiştir.

Düşük motor devirlerinde yakıtın tutuşma sıcaklığının da düşük olması sebebiyle HC emisyonunda artış görülmektedir. Yüksek devirlerde ise fakir karışım meydana gelmekte, yanma kötüleştiği için veya eksik yanma sonucu yanmamış HC emisyonları hızlı bir şekilde artmaktadır.



Şekil 4.7. Yakıtların motor devrine bağlı olarak HC emisyonu değerleri

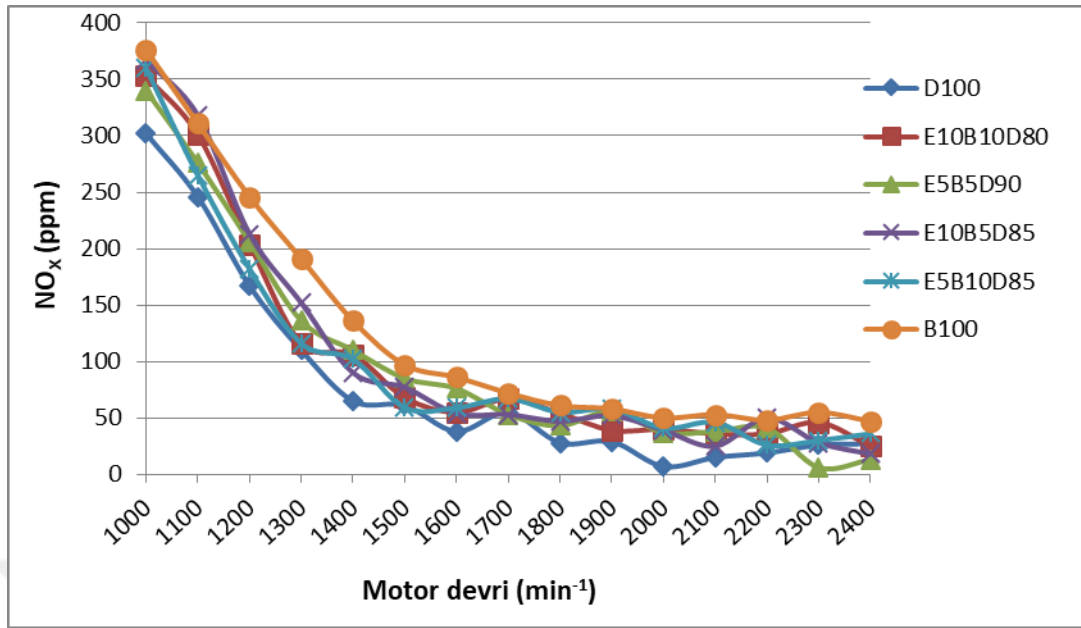
4.2.5. Azotoksit (NO_x) değerleri

Şekil 4.8'de Motorin (D₁₀₀) yakıtı, Biyoetanol - Kanola Biyodizeli - Motorin karışımları ve Kanola Biyodizel (B₁₀₀) yakıtı kullanımında, NO_x değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Grafik incelendiğinde 1300 min⁻¹ maksimum motor torku değerinde E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı NO_x emisyon değerine göre sırasıyla % 5.45, % 23.63, % 38.18, % 5.45 ve % 73.63 artış görülmektedir. 2000 min⁻¹ deki maksimum motor gücü değerinde ise E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı NO_x emisyon değerine göre sırasıyla % 48.14, % 37.03, % 44.44, % 51.85 ve % 85.18 artış meydana gelmiştir.

Bunun sebebi, karışımların yapısında bulunan oksijen ve oksijence zengin dolgu havasının emisyon miktarını artırmasıdır.

Biyodizel yakıtların bünyelerindeki oksijen oranına bağlı olarak NO_x emisyonları dizel yakıtı değerlerine göre artış eğilimleri gösterebilmektedir. Çünkü oksijen yanma verimini arttırdığı için yanma sonu sıcaklığını yükselmekte ve azot gazının oksitlenerek NO_x emisyonlarına dönüşmesinde etkili olabilmektedir (Hazar ve ark., 2011).



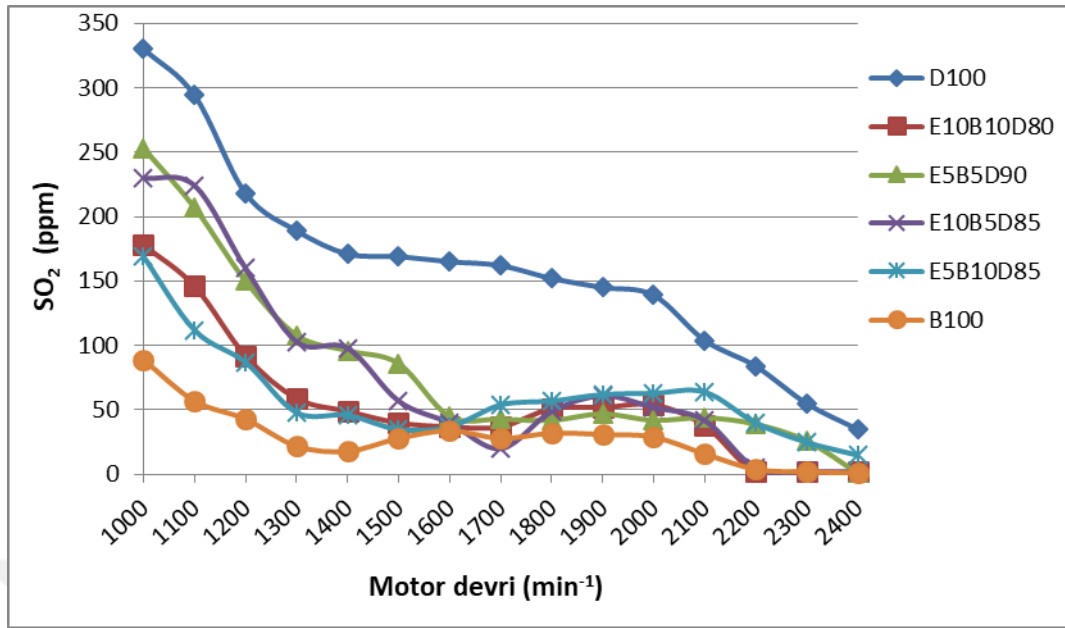
Şekil 4.8. Yakıtların motor devrine bağlı olarak NO_x emisyonu değerleri

4.2.6. Kükürtdioksit (SO₂) değerleri

Şekil 4.9'da Motorin (D₁₀₀) yakıtı, Biyoetanol - Kanola Biyodizeli - Motorin karışımları ve Kanola Biyodizel (B₁₀₀) yakıtı kullanımında, SO₂ değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi verilmiştir.

Grafik incelendiğinde 1300 min⁻¹ maksimum motor torku değerinde E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı SO₂ emisyon değerine göre sırasıyla % 68.78, % 42.85, % 45.50, % 74.60 ve % 88.35 azalış görülmektedir. 2000 min⁻¹ deki maksimum motor gücü değerinde ise E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı SO₂ emisyon değerine göre sırasıyla % 61.15, % 69.78, % 62.58, % 54.67 ve % 79.13 azalış meydana gelmiştir.

Motorin içinde bulunan kükürt miktarından dolayı en yüksek SO₂ değeri D₁₀₀ yakıtında görülmektedir.



Şekil 4.9. Yakıtların motor devrine bağlı olarak SO₂ emisyonu değerleri

Motor deneyleri sonucunda elde edilen egzoz emisyonları karbondioksit (CO₂), karbonmonoksit (CO), oksijen (O₂), hidrokarbon (HC), azotoksit (NO_x) ve kükürtdioksit (SO₂) değerleri incelendiğinde elde edilen sonuçlar, Kwanchareon ve ark. (2007), Kim ve Choi (2010), Özdemir (2011)'in yaptığı çalışmaların sonuçları ile benzerlik göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, dört zamanlı, tek pistonlu, su ile soğutmalı bir dizel motorda yapılan denemelerde kanola yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiş biyodizel yakıtı, motorinle %5 ve %10 oranında biyoetanol ilavesi ile birlikte ve ters oranla da hacimsel olarak karıştırılarak, D₁₀₀, E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlar elde edilmiştir. Bu yakıtların özellikleri, motor performansları ve egzoz emisyonları da araştırılarak elde edilen veriler grafiklerle sunulmuştur.

Deneylerde kullanılan biyoetanol, şeker üretimi esnasında çıkan melasdan Konya Şeker A.Ş. tarafından üretilmiştir. Motor deneylerinde ilk olarak D₁₀₀ yakıtı kullanılmış, daha sonra sırasıyla E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ yakıtları kullanılmıştır.

Her yakıtta motor tam yük altında çalıştırılmış ve deneyler sonucunda test motorunun motor momenti, motor gücü ve özgül yakıt tüketimi olarak sınıflandırılan performans karakteristiklerine ulaşılmıştır.

Deneylerde maksimum motor gücü 2000 min⁻¹'de D₁₀₀ yakıtında 9.155 kW olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 0.30 , % 0.41, % 1.39, % 0.32 ve % 7.62 azalma görülmektedir.

Maksimum motor torku 1300 min⁻¹'de E₅B₁₀D₈₅ yakıtında 53.111 Nm olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 0.16 artma, % 3.30 azalma, % 0.79, % 12.31 ve % 8.59 artma görülmektedir.

Minimum özgül yakıt tüketimi 1600 min⁻¹'de D₁₀₀ yakıtında 377.620 g/kWh olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 2.70, % 2.49, % 2.74 , % 4.18 ve % 3.49 artış görülmektedir. Bununla birlikte motorun tüm devirlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Motorin (D₁₀₀) yakıtı, Biyoetanol - Kanola Biyodizeli - Motorin karışımları ve Kanola Biyodizel (B₁₀₀) yakıtı kullanımında, CO₂ değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi incelendiğinde, maksimum motor torku devrinde E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı CO₂ emisyon değerine göre sırasıyla % 12.96, % 14.33, % 1.02, % 2.04 ve % 8.53 artış

görülmektedir. Maksimum motor gücü devrinde de $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı CO_2 emisyon değerine göre sırasıyla % 25.94, % 15.18, % 24.68, % 37.97 ve % 37.34 artış meydana gelmiştir.

CO değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi incelendiğinde, maksimum motor torku devrinde $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı CO emisyon değerine göre sırasıyla % 10.69, % 1.06, % 14.97, % 42.24 ve % 55.08 azalma görülmektedir. Maksimum motor gücü devrinde de $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı CO emisyon değerine göre sırasıyla % 1.33, % 5.33, % 4, % 1.33 ve % 2.66 azalma meydana gelmiştir.

O_2 değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi incelendiğinde, maksimum motor torku devrinde $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı O_2 emisyon değerine göre sırasıyla % 17.30, % 13.06, % 18.88, % 26.43 ve % 9.52 artış görülmektedir. Maksimum motor gücü devrinde ise $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı O_2 emisyon değerine göre sırasıyla % 4, % 4.27, % 4.44, % 4.98 ve % 8.82 azalış meydana gelmiştir.

HC değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi incelendiğinde, maksimum motor torku devrinde $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı HC emisyon değerine göre sırasıyla % 18.42, % 13.15, % 2.63, % 5.26 ve % 2.63 artış görülmektedir. Maksimum motor gücü devrinde de $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı HC emisyon değerine göre sırasıyla % 71.42, % 78.55, % 64.28, % 71.42 ve % 85.71 artış meydana gelmiştir.

NO_x değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi incelendiğinde, maksimum motor torku devrinde $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı NO_x emisyon değerine göre sırasıyla % 5.45, % 23.63, % 38.18, % 5.45 ve % 73.63 artış görülmektedir. Maksimum motor gücü devrinde de $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı NO_x emisyon değerine göre sırasıyla % 48.14, % 37.03, % 44.44, % 51.85 ve % 85.18 artış meydana gelmiştir.

SO_2 değerlerinin tam yükte motor devrine bağlı olarak değişimi incelendiğinde, maksimum motor torku devrinde $E_{10}B_{10}D_{80}$, $E_5B_5D_{90}$, $E_{10}B_5D_{85}$, $E_5B_{10}D_{85}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı SO_2 emisyon değerine göre sırasıyla % 68.78, % 42.85,

% 45.50, % 74.60 ve % 88.35 azalış görülmektedir. Maksimum motor gücü devrinde de E₁₀B₁₀D₈₀, E₅B₅D₉₀, E₁₀B₅D₈₅, E₅B₁₀D₈₅ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı SO₂ emisyon değerine göre sırasıyla % 61.15, % 69.78, % 62.58, % 54.67 ve % 79.13 azalış meydana gelmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda en uygun motor yakıt karışımının performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirildiğinde E₅B₁₀D₈₅ yakıtı olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmadaki kazanımlarımız;

- Motorin – kanola biyodizeli - biyoetanol yakıtı ile egzoz emisyonlarının motorine göre azaltılması,
- Viskozitesi yüksek olan biyodizelin, biyoetanol ve motorinle karıştırılarak viskozitesinin azaltılması ve dizel motorlarda kullanılabilirliğinin artırılması,
- Motorin – kanola biyodizeli - biyoetanol yakıtının oksijenli bir yakıt olması nedeniyle motorinin yanma verimini iyileştirmesi, olarak belirtilebilir.

5.2 Öneriler

Sonuçların daha somut hale gelmesi için:

- Karışım içerisindeki biyodizel ve biyoetanol oranları daha da artırılarak performans, emisyonlar ve yağlama yağına etkileri ortaya konmalıdır.
- Biyodizel – biyoetanol - dizel yakıtı karışımlarının, malzeme uyumu açısından Euro 6.2 egzoz emisyon standardına sahip bir dizel motorlarda kullanımı hakkında çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Altun Ş. ve Seven İ., 2018., “Dizel Motorlu Bir Jeneratörün Egzoz Emisyonları Üzerinde Biyoetanol, N-Butanol ve Biyodizelin Etkisi”, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Dergisi 9:1(2018) : 235-244.
- Anonim, 2009, Süper Star Dizel Motorları Kullanma ve Bakım Klavuzu, İstanbul.
- Anonim, 2018 a, Türkiye'nin Enerji Görünümü Raporu, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No: MMO 691, Sayfa 319-424, Ankara.
- Anonim, 2018 b, <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx>, (Erişim Tarihi: 04.06.2018).
- Anonim, 2018 c, Hidrolik Dinamometre [online], <http://netfren.com/>, Ziyaret Tarihi: [23.10.2018].
- Anonim, 2018 ç, Egzoz Emisyon Cihazı [online], <https://www.ozenelektronik.com/egzoz-emisyon-testi-g.html>, Ziyaret Tarihi: [24.10.2018].
- Anonim, 2019, Konya Şeker Sanayi ve Ticaret A.Ş. Çumra Şeker Biyoetanol Fabrikası Üretim Prosesi Kitapçığı, Konya.
- Anonymous, 2017, BP Statistical Review of World Energy, June 2017, British Petroleum (BP), London, UK.
- Atkins, R. D., 2009, An Introduction To Engine Testing and Development, SAE International, ISBN 978-0-7680-2099-1, SAE Order No. R-344, Printed In The United States Of America, 289.
- Aydın F., 2014, E-B Motorin Yakıtlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Kullanımının Motor Performansına, Emisyonlara Ve Yağlama Yağına Etkileri, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya 1-16.
- Aydoğan, H., 2011, Biyoetanol - Dizel Yakıtı Karışımlarının (E-Dizel) Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 42.
- Balcı, A.B., 2017, Biyoetanol ile Menengiç Biyodizelinin Motorinle Karışımlarının Dizel Motorda Performans, Egzoz Emisyonları ve Yağlama Yağına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-2.
- Bayrakçı, A. G., 2009, Değişik Biyokütle Kaynaklarından Biyoetanolün Elde Edilmesi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 5-6.

- Boldaji, M. T., Ebrahimzadeh, R., Kheiralipour, K. and Borghei, A.M., 2011, Effect of Some BED Blends on the Equivalence Ratio, Exhaust Oxygen Fraction and Water and Oil Temperature of a Diesel Engine, *Biomass and Bioenergy*, 35, 4099-4106.
- Eryılmaz, T., 2009, Hardal Yağı Biyodizelin Farklı Karışım Oranlarının Dizel Motorlarda Performansa Etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 89-90.
- Fanick, E. R., Whitney, K. A. and Bailey, B. K., 1996. Particulate Characterization Using Five Fuels, SAE Paper, 961089: 1-9.
- Fedai Ö. 2006, 'Transesterifikasyon ile Kanola Yağı Metil Esteri Sentezinin Optimizasyonu', Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 30-31.
- Fidan, M.,S. ve Alkan, E., 2014, Bitkisel Hammaddelerden Elde Edilen Biyodizelin Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması, *GÜFBED/GUSTIJ* (2014) 4 (2): 144-160.
- Gilles, T., 2011, *Automotive Engines, Diagnosis, Repair and Rebuilding*, Delmar, New York, United States of America, 6 th Edition, 366-375.
- Guido, C., Beatrice, C. and Napolitano, P., 2013, Application of Bioethanol/RME/Diesel Blend In a Euro 5 Automotive Diesel Engine: Potentiality of Closed Loop Combustion Control Technology, *Applied Energy*, 102, 13-23.
- Hazar, H., 2010, Cotton Methyl Ester Usage in a Diesel Engine Equipped with Insulated Combustion Chamber, *Applied Energy*, 87, 134-140.
- Hazar, H., Temizer, Ğ. ve Gür, F., 2011, Bir Dizel Motorunun Motor Performansı ve Motor Parçaları Üzerinde Katkı Maddelerinin Etkisinin İncelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, 77-83
- He B.Q., Shuai, S.J., Wang, J.X., and He, H., 2003, *Atmospheric Environment*, 37, 4965–4971.
- Hsieh W.D., Chen R.H., Wub T. and Lina T.H., 2002, "Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol–gasoline blended fuels", *Atmospheric Environment*, 36, 403–410 .
- İlkılıç, C., Aydın, S., Behçet, R. and Aydın, H., 2011, Biodiesel from Safflower Oil and Its Application in a Diesel Engine, *Fuel Processing Technology*, 92, 356–362.

- İmrağ H. 2006, Benzinli Motorlarda Biyoetanol Kullanımının Motor Karakteristik Değerlerine ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 15-23.
- İşler, A. 2007, ‘Kanola Yağı Etil Esteri ve E-Dizel’, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 31-32.
- İşler, A., 2012, Aspir Yağı Etil Esteri ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-2.
- Jitputti, J., Kitiyanan, B., Rangsunvigit, P., Bunyakiat, K., Attanatho, L. and P., Jenvanitpanjakul, 2006, Transesterification Of Crude Palm Kernel Oil and Crude Coconut Oil By Different Solid Catalysts, *Chemical Engineering Journal*, Volume 116, Issue 1, Pages 61-66.
- Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ., 2017, Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, Seta Vakfi, Sayı 197, Sayfa 7-32.
- Karaosmanoğlu, F., 2002. “Türkiye İçin Çevre Dostu Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı; Biyomotorin Ekojenerasyon Dünyası”, *Kojenerasyon Dergisi, ICCI 2002*, (10) 50-56.
- Karaosmanoğlu, F., 2007, Yakıt alkolü: Mevcut durumu ve geleceği, *Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası*, 12-13 Aralık 2007, s. 123-132, Ankara.
- Kim, H. and Choi, B., 2010, The Effect of Biodiesel and Bioethanol Blended Diesel Fuel on Nanoparticles and Exhaust Emissions from CRDI Diesel Engine, *Renewable Energy*, 35, 157-163.
- Koç, E. ve Şenel, M. C., 2013, “Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme,” *Mühendis ve Makina*, cilt 54, sayı 639, s. 32-44.
- Koç, M., 2011. Biyodizel Üretimine Uygun Türkiye’de Yetişen ve Yetiştirilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-247.
- Koçtürk, D., 2011, Farklı Özelliklerdeki Etanol-Benzin Karışımı Yakıtların Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Kullanılmasının Çevresel ve Ekonomik Yönden Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-54.
- Kumbar N., 2009, ‘Trakya Bölgesinde Kanola Üretiminin Ekonomik Analizi’, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ, 1-2.

- Kwanchareon, P., Luengnaruemitchai, A. and Jai-In, S., 2007, Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine, *Fuel*, Volume 86, Issues 7–8, Pages 1053-1061.
- Öğüt, H. ve Oğuz, H., 2006, Üçüncü Milenyumun Yakıtı Biyodizel , *Nobel Yayın Dağıtım*, 2. Baskı, ISBN 975-591-730-6, Ankara.
- 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*, Konya, 69-90.
- Özdemir, M., 2011, Bir Dizel Motorda Biyodizel ve Etanol Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 103-105.
- Özdingis A.G.B. and Koçar G., 2018, Current and future aspects of bioethanol production and utilization in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81 (2018) 2196-2203.
- Reşitoğlu, İ. A., 2010, Atık Yağlardan Üretilmiş Biyodizelin Dizel Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 55-58.
- Topgül, T., Yücesu, S. ve Çınar, C., 2004, “Etanol Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Farklı Sıkıştırma Oranlarında Motor Performansına Etkisinin Deneysel Olarak Belirlenmesi”, 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Ankara.
- Usta, N., Can, Ö. ve Öztürk, E., 2004, Comparison of Biodiesel and Ethanol as an Alternative Diesel Engine Fuel, *Pamukkale Üniversitesi, Müh. Bilim Dergisi*. 2005; 11(3): 325-334.
- Uyar, M., 2013. “Transesterifikasyon Yöntemiyle Üretilen Biyodizel Yakıtlarının Üzerine MnO₂, Dodekanol, Propilen Glikol Katkı Maddelerinin Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 1-200.
- Yılmaz, 2013, “Şeker Pancarı, Mısır ve Buğdaydan Biyoetanol Üretim Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 7-24, İstanbul.
- Yiğitoğlu, M., İnal, M. ve Gökğöz, M., 2012, Alternatif Bir Enerji Kaynağı Olarak Biyoetanol, *Kırıkkale Üniversitesi Bilimde Gelişmeler Dergisi*, Cilt 1, Sayı 1, s. 11-21.

EKLER**EK-1** Motor performans ve egzoz emisyonları değerleri

Deney Yöntemi	Motor Performans Deneyi															
Deney Tipi	D ₁₀₀ (% 100 Motorin)															
Tekrar Sayısı	Ortalama															
Devir Sayısı	min ⁻¹	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
Motor Momenti	Nm	15,400	20,996	29,861	40,987	43,748	44,931	46	46,223	46,894	47,139	47,226	47,288	46,945	46,478	45,626
Efektif Güç	kW	3,884	5,083	6,872	9,088	9,154	8,933	8,699	8,310	7,925	7,386	6,988	6,515	5,927	5,367	4,847
Özgül Yakıt Tüketimi	g/kWh	468,775	390,491	372,096	424,869	413,283	403,575	402,485	395,275	377,620	395,139	382,332	390,812	410,611	422,165	446,060
Egzoz Emisyonları																
CO ₂	% vol	1,27	1,35	1,99	1,93	1,58	1,71	1,49	1,52	1,54	1,68	1,89	2,93	4,86	6,12	7,41
CO	% vol	0,02	0,03	0,02	0,41	0,75	0,83	0,83	1,02	1,04	1,28	1,33	1,87	2,87	4,61	5,75
O ₂	% vol	19,09	19,07	17,34	17,45	18,24	18,74	18,28	18,42	17,99	17,76	17,61	12,71	10,01	7,58	1,25
HC	Ppm vol	9	3	2	6	14	15	15	26	15	23	24	38	52	87	105
NO _x	Ppm	7	26	19	15	7	29	28	55	38	61	65	110	167	246	302
SO ₂	Ppm	35	55	84	104	139	145	152	162	165	169	171	189	218	294	330

Deney Yöntemi	Motor Performans Deneyi															
Deney Tipi	E ₁₀ B ₁₀ D ₈₀ (% 10 Biyoetanol + % 10 Kanola Biyodizeli + % 80 Motorin)															
Tekrar Sayısı	Ortalama															
Devir Sayısı	min ⁻¹	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
Motor Momenti	Nm	15,192	21,927	33,937	42,619	43,723	44,805	45,762	46,603	47,048	47,365	47,267	47,296	47,565	46,361	44,981
Efektif Güç	kW	3,849	5,320	7,700	9,383	9,127	8,952	8,613	8,138	7,990	7,533	6,870	6,477	6,038	5,320	4,750
Özgül Yakıt Tüketimi	g/kWh	442,554	400,938	373,866	406,264	405,439	396,484	382,657	400,170	387,839	376,110	371,583	368,305	409,780	416,485	409,105
Egzoz Emisyonları																
CO ₂	% vol	1,57	1,93	2,08	1,81	1,99	2,01	1,98	1,82	1,83	2,07	2,76	3,31	4,47	6,05	7,04
CO	% vol	0,02	0,02	0,03	0,33	0,74	0,91	0,92	0,86	0,87	1,08	1,43	1,67	2,65	4,21	5,44
O ₂	% vol	18,83	18,42	18,17	18,41	17,51	17,52	17,52	17,45	17,47	17,14	15,63	14,91	12,02	7,82	6,05
HC	Ppm vol	9	8	8	15	24	24	24	21	23	28	36	45	66	113	134
NO _x	Ppm	25	46	36	36	40	39	54	67	55	68	106	116	204	301	353
SO ₂	Ppm	2	2	2	38	54	52	51	37	37	40	49	59	92	146	178

Deney Yöntemi	Motor Performans Deneyi															
Deney Tipi	E _s B ₅ D ₉₀ (% 5 Biyoetanol + % 5 Kanola Biyodizeli + % 90 Motorin)															
Tekrar Sayısı	Ortalama															
Devir Sayısı	min ⁻¹	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
Motor Momenti	Nm	24,686	34,447	38,288	41,913	43,73	43,889	45,730	45,261	47,289	45,893	45,286	45,727	45,337	45,365	44,221
Efektif Güç	kW	6,169	8,283	8,809	9,351	9,117	8,799	8,672	7,975	7,992	7,232	6,738	6,280	5,789	5,300	4,718
Özgül Yakıt Tüketimi	g/kWh	460,781	457,789	461,351	408,711	397,430	395,708	387,756	377,416	387,043	395,274	385,063	391,871	401,379	413,661	411,419
Egzoz Emisyonları																
CO ₂	% vol	1,55	1,82	1,92	2,08	1,82	2,09	2,01	2,04	2,09	2,26	2,87	3,35	4,49	6,27	7,41
CO	% vol	0,02	0,26	0,85	0,88	0,71	0,96	0,98	1,01	1,06	1,25	1,53	1,85	2,99	4,66	5,01
O ₂	% vol	18,81	18,38	17,62	17,47	17,46	17,44	17,56	17,43	17,33	16,73	15,85	14,37	11,87	8,21	5,87
HC	Ppm vol	7	8	20	26	25	27	27	28	29	30	34	43	61	99	126
NO _x	Ppm	13	6	41	38	37	56	43	53	76	85	110	136	206	276	340
SO ₂	Ppm	1	26	39	44	42	47	42	43	45	86	96	108	150	207	253

Deney Yöntemi	Motor Performans Deneyi															
Deney Tipi	E10B5D85 (% 10 Biyoetanol + % 5 Kanola Biyodizeli +% 85 Motorin)															
Tekrar Sayısı	Ortalama															
Devir Sayısı	min ⁻¹	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
Motor Momenti	Nm	10,914	18,446	26,520	39,643	43,271	43,936	45,278	46,604	47,055	50,779	46,820	47,663	47,664	46,661	45,796
Efektif Güç	kW	2,706	4,416	6,142	8,708	9,027	8,772	8,665	8,256	7,909	8,066	6,925	6,470	6,090	5,437	4,937
Özgül Yakıt Tüketimi	g/kWh	514,576	459,613	364,269	419,931	423,395	422,666	398,120	402,209	388,003	366,717	398,734	402,373	408,832	415,630	413,756
Egzoz Emisyonları																
CO ₂	% vol	1,33	1,46	2,02	2,09	1,97	2,01	1,94	1,65	1,64	2,03	2,62	2,96	4,66	6,11	6,64
CO	% vol	0,04	0,03	0,01	0,32	0,72	0,87	0,85	0,81	0,65	0,68	1,08	1,59	2,52	3,71	4,71
O ₂	% vol	18,83	18,43	18,99	17,75	17,43	17,38	18,51	17,44	17,54	17,21	16,89	15,11	12,25	8,66	5,97
HC	Ppm vol	13	12	11	11	23	27	25	25	18	24	33	39	59	102	119
NO _x	Ppm	18	28	50	25	39	52	47	53	54	77	90	152	213	318	367
SO ₂	Ppm	2	2	5	42	52	61	49	20	40	57	98	103	160	224	230

Deney Yöntemi	Motor Performans Deneyi															
Deney Tipi	E5B10D85 (% 5 Biyoetanol + % 10 Kanola Biyodizeli + % 85 Motorin)															
Tekrar Sayısı	Ortalama															
Devir Sayısı	min ⁻¹	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
Motor Momenti	Nm	21,175	28,359	38,025	42,464	43,508	44,328	45,630	46,478	49,863	52,117	50,836	53,111	53,425	52,695	48,363
Efektif Güç	kW	5,296	6,847	8,839	9,232	9,125	8,891	8,638	8,318	8,355	8,186	7,238	7,217	6,730	6,083	5,122
Özgül Yakıt Tüketimi	g/kWh	430,203	433,467	430,626	429,448	425,537	414,174	415,757	405,587	393,407	357,937	378,202	368,298	362,750	379,042	401,972
Egzoz Emisyonları																
CO ₂	% vol	1,62	1,89	2,04	2,13	2,18	2,19	2,07	2,11	1,79	1,89	2,49	2,99	4,16	5,41	7,79
CO	% vol	0,03	0,02	0,21	0,91	0,74	1,01	1,01	0,99	0,82	0,69	1,28	1,08	2,38	3,41	5,44
O ₂	% vol	18,85	18,51	18,19	17,38	17,33	17,19	17,44	17,44	17,82	17,78	16,21	16,07	12,87	9,96	5,99
HC	Ppm vol	12	9	10	26	24	30	29	28	23	20	35	40	49	72	104
NO _x	Ppm	36	30	26	46	41	58	55	67	59	59	102	116	182	265	360
SO ₂	Ppm	15	25	40	64	63	62	57	54	37	35	46	48	87	112	169

Deney Yöntemi	Motor Performans Deneyi															
Deney Tipi	B ₁₀₀ (% 100 Kanola Biyodizeli)															
Tekrar Sayısı	Ortalama															
Devir Sayısı	min ⁻¹	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
Motor Momenti	Nm	14,012	20,713	39,660	40,737	41,916	42,406	44,159	48,634	47,393	49,933	50,578	51,351	51,916	51,154	46,258
Efektif Güç	kW	3,313	4,797	8,674	8,633	8,457	8,236	8,166	8,254	7,399	7,544	7,143	6,571	6,093	5,444	4,358
Özgül Yakıt Tüketimi	g/kWh	545,039	489,847	444,424	434,488	433,221	415,820	420,106	405,262	390,835	369,393	370,274	378,097	400,821	417,146	448,968
Egzoz Emisyonları																
CO ₂	% vol	1,43	1,83	2,23	1,58	2,17	2,11	2,17	1,75	2,18	2,33	2,48	3,18	4,45	5,61	7,03
CO	% vol	0,02	0,01	0,03	0,36	0,73	0,72	0,78	0,43	0,81	0,71	0,67	0,84	1,73	2,31	3,23
O ₂	% vol	18,91	18,67	17,85	16,29	16,63	16,95	16,52	16,89	16,68	15,86	13,75	13,92	8,35	5,75	5,38
HC	Ppm vol	18	20	18	19	26	30	31	23	30	28	31	39	57	78	93
NO _x	Ppm	47	55	48	53	50	58	61	72	86	97	136	191	246	311	376
SO ₂	Ppm	1	2	4	16	29	31	32	28	34	28	18	22	43	57	89

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Tuğba ŞAHİN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Aksaray - 10.11.1994
Telefon : 0544 306 97 69
e-mail : tgbsahn@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Atatürk Lisesi, Merkez, Aksaray	2012
Üniversite	: Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Merkez, Aksaray	2016
Yüksek Lisans	: Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Meram, Konya	2019
Doktora	: -----	-----

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017	Ağaçlı Silo	Üretim Planlama Sorumlusu
2018	Altuntaş Grup Aemot Elektrik Motorları	Üretim Planlama Sorumlusu

UZMANLIK ALANI

Biyodizel, Alternatif Enerji Kaynakları, Solidworks.

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

- Şahin T. and Aydın, F., 2018, The Investigation of Biodiesel Production Techniques, IV. International Agriculture Congress, 05-08 July, 2018, Nevşehir, Turkey / International Journal of Agricultural and Natural Science, 1(3): 222-227, [2018] tam metni basılmıştır. **(Yüksek Lisans Seminerinden yapılmıştır).**
- Şahin, T. and Aydın, F., 2018, Investigation of Fuel Properties of Canola Oil Biodiesel, Bioethanol and Diesel Fuel Mixture, International Journal of Automotive Engineering and Technologies (IJAET), 7 (4) [2018] 158-163. **(Yüksek Lisans Tezinden yapılmıştır).**