

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DİZEL-BİYODİZEL-BÜTANOL VE BİYODİZEL-BÜTANOL KARIŞIMLARININ
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ NAİL KIVRAK

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. AHMET FEVZİ SAVAŞ

BİLECİK, 2023

10543596

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DİZEL-BİYODİZEL-BÜTANOL VE BİYODİZEL-BÜTANOL KARIŞIMLARININ
PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ NAİL KIVRAK

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. AHMET FEVZİ SAVAŞ

BİLECİK, 2023

10543596

BEYAN

Dizel-Biyodizel-Bütanol ve Biyodizel-Bütanol Karışımlarının Performans Ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi adlı yüksek lisans tezi hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:		/.....	

Ali Nail KIVRAK

Tarih

.....

İmza

.....

ÖNSÖZ

Çalışma sürecinde her türlü yol gösterici olan, olumlu tavrıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimiyle çalışmama farklı açıdan bakmamı sağlayan beraber çalışmaktan ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Doç. Dr. Ahmet Fevzi SAVAŞ' a sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmamda bana destek olan tüm bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Hasan YAMIK' a teşekkür ederim.

Son olarak tüm hayatım boyunca benim yanımda olan, aldığım kararları her zaman destekleyen, sadece bu çalışma sürecinde değil tüm hayatım boyunca beni cesaretlendiren ve bana moral veren annem Semiha KIVRAK' a ve babam Halil KIVRAK' a teşekkürü bir borç bilirim. Hayatımın her alanında olduğu gibi, tez çalışmamı hazırlarken de her aşamada bana yardımcı olan sevgili eşim Esra KIVRAK' a sonsuz teşekkür ederim.

Ali Nail KIVRAK

2023

ÖZET

DİZEL-BİYODİZEL-BÜTANOL VE BİYODİZEL-BÜTANOL KARIŞIMLARININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Dünyada kullanılan enerjini büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Bu durum ülkemiz gibi sürekli olarak büyüyen ve gelişmekte olan ülkelerde dışa bağımlılığı arttırmaktadır. Bunun yanında fosil yakıtların yakın gelecekte bitecek olması da fiyat istikrarsızlıkları, çevresel sorunların yaşanmasına yol açmaktadır. Bu sorunların yaşanması bizleri alternatif bir yakıt, alternatif bir enerji kaynağı aramaya itmiştir. Dizel motorunun yakıt tüketiminin düşük olması, sıkıştırma oranlarının yüksek olması ile dizel motoru ağır hizmet araçlarında kullanımını oldukça cazip kılmaktadır. Buna rağmen doğaya salmış olduğu egzoz gazları dünyamız için ciddi sorunlardandır. Rudolf Diesel 1900 lü yıllarda motoru icat ettiğinde Paris fuarında icadının çalışma prensibini anlatırken yakıt olarak yağ kullanmıştır fakat motor tasarımındaki kısıtlamalar ve o zamanki mühendislik hesaplamaları günümüze göre daha ilkel olması sebebiyle fosil yakıtlar kullanmaya mecbur etmiştir. Bu durum 20. Yüzyılda yaşanan petrol krizine kadar bu şekilde devam etti.

Petrol krizinden sonra Brezilya, Avusturya, Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Fransa, İtalya, Hollanda gibi ülkelerde alternatif yakıtlar üzerine araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bitkisel yağların hiçbir işleme gerek kalmaksızın dizel motorlarında yakıt olarak kullanılabileceği bilinmektedir fakat uzun bir süre kullanıldığında motorda, yakıt hattında tıkanmalara, enjektörlerin tıkanmasına, soğuk havalarda veyahut motor soğukken ilk harekette zorlanmalara sebep olmaktadır. Yağların transesterifikasyon yöntemiyle biyodizele dönüştürülüp kullanılması, işlenmemiş yağın kullanılmasına göre daha uygundur. Transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiş olan biyodizelin yakıt özelliklerine baktığımızda her ne kadar dizel yakıtına benzer olsa da viskozite değeri dizele göre daha yüksektir. Biyodizeli daha verimli bir şekilde kullanabilmek için dizel yakıtıyla karışım halinde kullanılabilir.

Bu çalışmada transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiş olan biyodizel, biyodizel – dizel yakıt karışımı, biyodizel – bütanol karışımı ve biyodizel – dizel – bütanol karışımlarının dört silindirli dört zamanlı direkt püskürtmeli dizel motorunda karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için tam yük testi 1800 dev/dk, 2400 dev/dk, 3000 dev/dk ve 3600 dev/dk’ da yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyodizel, n-Bütanol, Motor Performansı, Egzoz Emisyonu

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIESEL-BIODIESEL-BUTANOL AND DIESEL-BUTANOL MIXTURE ON ENGINE PERFORMANCE

The vast majority of the energy used in the world is obtained from fossil fuels. This situation increases external dependence in countries such as our country that are constantly growing and developing. In addition, the fact that fossil fuels will end in the near future leads to price instability and environmental problems. These problems have pushed us to look for an alternative fuel, an alternative energy source. The low fuel consumption of the diesel engine and high compression ratios make the diesel engine very attractive for use in heavy duty vehicles. However, the exhaust gases released to nature are serious problems for our world. When Rudolf Diesel invented the engine in 1900, he used oil as fuel while explaining the operating principle of his invention at the Paris fair, but the limitations in engine design and engineering calculations at that time forced him to use fossil fuels because they were more primitive than today. This situation continued in this way until the oil crisis in the 20th century.

After the oil crisis, research on alternative fuels started to be carried out in countries such as Brazil, Austria, the United States, Germany, France, Italy, the Netherlands. It is known that vegetable oils can be used as fuel in diesel engines without any processing, but when used for a long time, it causes clogging in the engine, fuel line, clogging of injectors, cold weather or difficulties in the cranking when the engine is cold. The conversion of oils into biodiesel by transesterification method is more suitable than the use of unprocessed oil. When we look at the fuel properties of biodiesel produced by transesterification method, although it is similar to diesel fuel, its viscosity value is higher than diesel. In order to use biodiesel more efficiently, it can be used in a mixture with diesel fuel.

In this study, full load tests were carried out at 1800 rpm, 2400 rpm, 3000 rpm and 3600 rpm to determine the characteristics of biodiesel, biodiesel - diesel fuel blend, biodiesel - butanol blend and biodiesel - diesel - butanol blends produced by transesterification method in four cylinder four stroke direct injection diesel engine.

Keywords: Biodiesel, n-Butanol, Engine performance, Exhaust emissions

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iiiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. ALTERNATİF YAKITLAR	7
2.1. Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar.....	7
2.2. Biyoyakıtlar.....	7
2.2.1. Biyohidrojen.....	7
2.2.2. Biyogaz	10
2.2.3. Biyodizel	12
2.2.4. Alkoller	13
3. YAKIT OLARAK BİYODİZEL VE BÜTANOL	14
3.1. Bitkisel Yağların Yapısı	14
3.1.1. Doymuş Yağ Asitleri	16
3.1.3. Gliserin	17
3.1.4. Ayçiçek Yağı	17
3.1.4.1. Ayçiçek Yağının Teorik Tam Yanma Denklemi.....	18
3.2. Biyodizel ve Üretim Yöntemleri	19
3.2.1. Biyodizel Üretim Yöntemleri.....	19
3.2.1.1. Mikroemülsiyon.....	19
3.2.1.2. Piroliz.....	20
3.2.1.3. Seyreltme.....	20
3.2.1.4. Transesterifikasyon	20
3.2.2. Biyodizelin Yakıt Özellikleri	21
3.2.2.1. Yoğunluk	22
3.2.2.2. Viskozite	23
3.2.2.3. Setan Sayısı	23
3.2.2.4. Isıl Değer	24
3.2.2.5. Parlama Noktası	24

3.2.2.6. İyot Sayısı	24
3.2.2.7. Soğukta Akış Özelliği	24
3.2.2.8. Yağlayıcılık.....	25
3.2.2.9. Su ve Tortu İçeriği.....	25
3.3. Bütanol	25
3.3.1. Bütanolün Yakıt Özellikleri.....	26
3.3.2. Bütanolün İzomerleri	26
3.3.3. Bütanol Üretimi	27
3.3.4. Dizel Yakıtı Olarak n-Bütanol	29
3.3.5. n-Bütanolün Yanma Denklemi.....	29
4.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	30
5.MATERYAL VE YÖNTEM	41
5.1. Materyal	41
5.1.1. Biyodizel Üretimi.....	41
5.1.2. Biyodizel Özellikleri	44
5.1.3. Deney Motoru	45
5.1.4. Dinamometre	46
5.1.5. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazları	46
5.1.6. Yakıt Ölçümleri	47
5.1.7. Deney Yakıtları.....	47
5.1.8. Karışımların Hesaplanan Yakıt Özellikleri	50
5.2. Yöntem	52
5.2.1. Hesaplama Yöntemleri.....	52
6.1. Ayçiçek Yağı Metil Esteri Özellikleri	54
6.2. Motor Performans Değerleri.....	55
6.2.1. Efektif Motor Gücü	55
6.2.2. Motor Momenti.....	57
6.2.3. Özgül Yakıt Tüketimi	58
6.2.4. Efektif Verim	60
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
7.1 Sonuçlar.....	68
7.2 Öneriler	71
KAYNAKÇA	72
EKLER.....	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Gliserinin Yağ Asitleri İle Esterleşmesi	15
Şekil 3.2. Basit ve Karışık Triglicerid.....	15
Şekil 3.1. Bütanol ve İzomerlerinin Yapısı.....	26
Şekil 3.2. Bütanol Üretim Şeması.....	28
Şekil 5.1. Biyodizel Üretim Şeması	43
Şekil 5.3. 4 Saat Dinlendirilmiş Biyodizel	44
Şekil 5.4. 36 Saat Dinlendirilmiş Biyodizel.....	44
Şekil 5.6. Egzoz Emisyon Cihazları (Sun MGA 1200 ve Bosch BE 170)	46
Şekil 5.7. Hassas Terazî	47
Şekil 5.8. %100 Biyodizel Yakıtı.....	48
Şekil 5.9. %95 Biyodizel %5 n-Bütanol Yakıt Karışımı	48
Şekil 5.11. %50 Biyodizel %50 Dizel Yakıt Karışımı.....	49
Şekil 5.12. %47,5 Biyodizel %47,5 Dizel %5 n-Bütanol Yakıt Karışımı	49
Şekil 5.15. n-Bütanol	50
Şekil 6.1. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının Efektif Motor Gücüne Etkisi	56
Şekil 6.2. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının Döndürme Momentine Etkisi ...	57
Şekil 6.3. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının Özgül Yakıt Tüketimine Etkisi.	59
Şekil 6.4. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının Efektif Verime Etkisi.....	60
Şekil 6.5. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının CO Emisyonuna Etkisi	62
Şekil 6.6. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının CO ₂ Emisyonuna Etkisi.....	63
Şekil 6.7. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının HC Emisyonuna Etkisi	64
Şekil 6.8. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının NO _x Emisyonlarına Etkisi	66

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1.1. 3 Farklı Senaryoya Göre Dünyadaki Enerji İhtiyacı	2
Grafik 1.2. Türkiye Birincil Enerji İhtiyacı Tahminleri.....	4
Grafik 1.3. Lojistik Sektöründeki Yakıtların Kullanım Miktarları	5



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Dünya Fosil Altyapılı Enerji Kaynaklarının Kullanımı (MTEP).....	3
Tablo 2.1. Hidrojenin Yakıt Özellikleri.....	9
Tablo 2.2. Biyogaz’ ın İçinde Bulunan Gazların Oranları	11
Tablo 2.3. Biyogaz İçin Fiziksel ve Kimyasal Özellikler.....	11
Tablo 3.1. Yağ Asitleri’nin Kimyasal Özellikleri	166
Tablo.3.2. Ayçiçek Yağı İçerisinde Bulunan Yağ Asitleri.....	17
Tablo 3.3. Ayçiçek Yağında Bulunan Yağ Asitleri.....	18
Tablo 3.4. Biyodizelin Karakteristik Özellikleri	21
Tablo 3.5. Farklı Ülkelerdeki Biyodizel Standartları	22
Tablo 3.6. Bütanol ve İzomerlerinin Özellikleri.....	27
Tablo 5.1. Biyodizel ve Dizel Yakıtının Karakteristik Özellikleri.....	44
Tablo 5.2. Deney Motoru’ nun Özellikleri	45
Tablo 5.3. Dinamometre Özellikleri.....	46
Tablo 5.4. Emisyon Cihazları Teknik Özellikleri.....	46
Tablo 5.5. Yakıt Karışımlarının Yüzdeleri	47
Tablo 5.6. Test Yakıtlarının Yakıt Özellikleri.....	51
Tablo 6.1. Ayçiçek Yağı Metil Esteri’ nin Özellikleri	54

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

ABE: Aseton-Butanol-Etanol

ASTM: American Society for Testing and Materials

AYME: Ayçiçeği Metil Esteri

B100: %100 Biyodizel yakıtı

B90Bu10: %90 Biyodizel %10 n-Bütanol yakıt karışımı

B95Bu5: %95 Biyodizel %5 n-Bütanol yakıt karışımı

B45D45Bu10: %45 Biyodizel %45 Dizel %10 n-Bütanol yakıt karışımı

B47,5D47,5Bu5: %47,5 Biyodizel %47,5 Dizel %5 n-Bütanol yakıt karışımı

B50D50: %50 Biyodizel %50 Dizel yakıt karışımı

BP: British Petroleum

BYME: Bitkisel Yağ Metil Esteri

CaCO₃: Kalsiyum karbonat

CH₄: Metan

CNG: Sıkıştırılmış doğal gaz

CO: Karbonmonoksit

CO₂: Karbondioksit

cSt: senti stok , mm²/ s , 40° C

D100: %100 Dizel yakıtı

DIN: Alman Standartlar Enstitüsü

EN-14214: Europeane Norm -14214

F: Fren kuvveti (N)

H: Hidrojen

H₂: Hidrojen gazı

HCHO: Formaldehit

HCOOH: Formik asit

H₂O: Su

H₂S: Hidrojen Sülfür

H_u: Alt ısıt değeri (kJ/kg)

H_u: Alt ısıt değeri

H_u: Karışım içerisindeki bilinen yakıtların alt ısıt değeri

IEA: International Energy Agency

K: Kelvin

Kg: Kilogram

KJ: kilo joule

kW: Kilowatt

kWh: Kilowatt saat

l: Moment kol uzunluğu (m)

LPG: Likit Petrol Gaz

M³: metre küp

MAM: Marmara Araştırma Merkezi

M_d: Döndürme momenti (Nm)

MJ: Mega joule

MTPE: Milyon ton eşdeğer petrol

m_y: Yakıt tüketimi (kg/h)

N₂: Nitrojen

NaOH: Sodyum Hidroksit

Nm: Newton metre

nm: nanometre

NO_x: Azot oksitler

ÖYT: Özgöl yakıt tüketimi (g/KWh)

P_e: Efektif güç (kW)

Ppm: Parts per million

rpm: Dakikadaki devir sayısı

SO₂: Kükürt dioksit

SS_k: Karışımın setan sayısı

SS_n: Karışımın içerisindeki yakıtların bilinen setan sayıları

TEP: Ton eşdeğer petrol

THC: tetrahidrokanabinol

TÜİK: Türkiye İstatistik Kurumu

YAMAE: Yağ Asidi Mono Alkali Esteri

YAME: Yağ Asidi Metil Esteri

x_n: Hacimsel karışım oranı

ρ_k: Karışımın yoğunluğu

ρ_n: Karışım içerisindeki yakıtların bilinen yoğunluk değeri

η_k: Karışımın kinematik viskozitesi

η_n: Karışımın içerisindeki yakıtların bilinen kinematik viskozitesi

η_e: Efektif verim

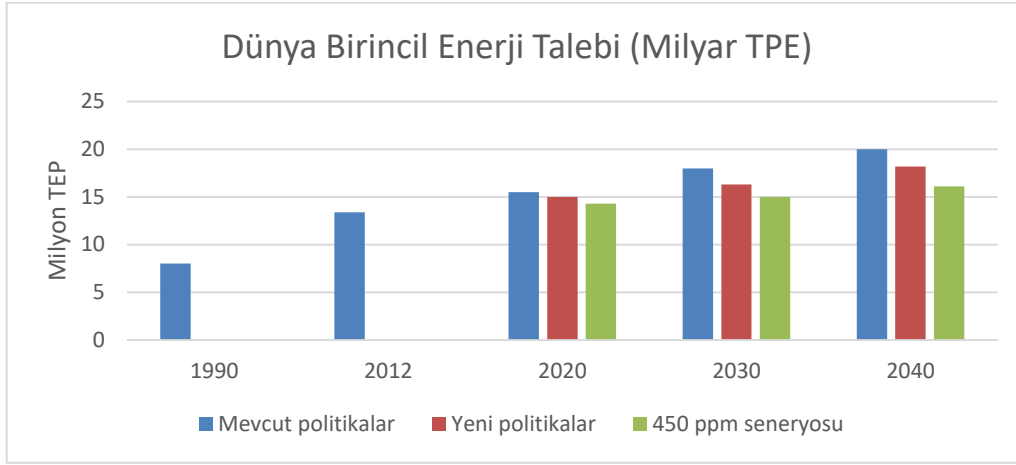
°C: Santigrat derece

1. GİRİŞ

Enerji, insan yaşamını sürdürebilmesi için vazgeçilmez ihtiyaçlarından biri olup, ülkelerin ekonomik ve sosyal açıdan kalkınmalarında önemli bir katkıda bulunmaktadır. Dünya’da gün geçtikçe artmakta olan insan nüfusu, sürekli gelişmekte olan sanayileşme ve kentleşmeyle beraber olarak artan üretim kapasitesi ve teknolojiadaki ilerlemelerde enerjiye duyulan ihtiyacımızı devamlı olarak yükseltmektedir. Gelişmiş ülkelerin yanı sıra hala gelişimini devam ettiren ülkeler muhasır medeniyetler seviyesine çıkabilmek için kendi enerjilerini üretme ihtiyaçları vardır. Aynı şekilde gelişmiş bu ülkelerde bulundukları konumlarından gerilememek için sürekli olarak enerji üretimini ve kullanımını arttırmaları gerekmektedir. (Adaçay, 2014) Yeryüzünde ihtiyaç duyulan enerji miktarının gün geçtikçe artmasının en önemli sebeplerinden biri sürekli olarak artan insan nüfusunun yanı sıra sürekli olarak gelişen ve yükselen yaşam standartlarıdır. Dünya üzerindeki nüfusun 2040 yılına kadar yaklaşık 9 milyar kişiye kadar ulaşacağı tahmin edildiğine aradaki fark 1 milyar 900 milyon insana daha fazla enerji talep edileceği çıkartılabilir. Uluslararası Enerji Ajansı’nın (İEA) hazırlanmış olduğu 3 farklı senaryosu göz önünde bulundurularak günümüzdeki ve yakın gelecekteki enerji ihtiyacı incelenmiştir. Bu senaryolardan “mevcut enerji politikaları” 2014 yılından itibaren mevcut durumların korunduğunu ve bu duruma ek yeni politikalar izlenmediği durumlarda oluşabilecek enerji ihtiyacını göstermektedir. “Yeni politikalar senaryosu” nda ise hali hazırdaki hükümetlerle birlikte yürütülen politikalarla beraber gelecek önümüzdeki yıllar için garantisi verilen ve taahhüt edilmiş olan enerji politikalarının devreye sokulması sonucunda oluşacak durumu göstermektedir. Bu politikalar arasından ana senaryo olarak gösterilen 450 ppm senaryosunda küresel ısınmada yaşanacak olan sıcaklık artışını 2°C gibi bir değerle sabitlemeyi ve küresel ısınmaya neden olan fosil altyapılı yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve enerji verimliliğini arttırmaya çalışmaktadır. (International Energy Agency (İEA), 2014). Grafik1.1’de görüldüğü üzere Uluslararası Enerji ajansı’ nın hazırlanmış olduğu üç farklı senaryoda dünyadaki birincil enerji ihtiyacı vardır. Verilen bu bilgilere göre 2012 yılında 13,36 MTPE olan enerji talebi 2040 yılında;

- Mevcut politikalar senaryosunda %50,3’lük bir artış göstererek 20 milyar ton eşdeğer petrole,
- Yeni enerji politikaları senaryosunda %36,8’lik bir artış göstererek 18,3 milyar ton eşdeğer petrole,

•450 ppm senaryosunda ise %17,4'lük artış göstererek 15,62 milyar ton eşdeğer petrol olması beklenmektedir



Grafik 1.1. 3 Farklı Senaryoya Göre Dünyadaki Enerji İhtiyacı
Kaynak: (Yılancılar, 2020), (International Energy Agency (İEA), 2014)

Amerika ve Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütüne üye ülkelerde ekonomik olarak gelişmenin yavaşlayarak azalması ve verimlilik alanında yapılan çalışmalarda yeni gelişmeler ile enerji ihtiyacındaki artış gelişmekteki ülkelere nazaran daha dengeli bir şekilde olmaktadır. Buna rağmen Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü dışındaki ülkelerin gelişmekte olan sanayileşmesinin yanında artmakta olan insan nüfusuyla beraber enerji ihtiyacında da bir miktar artış göstereceği beklenmektedir. Gelişmekte olan bu tür ülkelerde 2040 yılına gelindiğinde dünyadaki enerji talebinin yaklaşık olarak %70 olması tahmin edilmektedir. %70 olan enerji ihtiyacının %45 ini ise Hindistan ve Çin gibi ülkelerin oluşturması beklenirken Avrupa'daki ve Amerika'daki talebin %20 civarında olacağı tahmin edilmektedir. 2012 yılındaki dünyadaki enerji ihtiyacının %82'sini karşılamakta olan fosil altyapılı yakıtların, hazırlanan senaryolardaki verilerde gelecek 20 yılda hala en çok kullanılan enerji kaynakları olmaya devam edeceklerdir. Grafik 1.1.'i incelediğimizde yeni politikalar senaryosuna göre 2040 yılındaki petrol talebi yaklaşık olarak %13,5 artış gösterirken kömür talebinde %14,6 artış göstermektedir. Önemli bir oranda artış gösteren doğalgaz talebi ise yaklaşık %55,3 oranında bir artış göstermektedir. Doğalgazın gelecek yıllarda fosil altyapılı yakıtlar arasındaki payını arttırabilen enerji kaynaklarından birisi olacağını ispatlamaktadır. Bütün bunlara karşın yenilenebilir enerjinin üretimindeki talep miktarının %92'lik artışla fosil altyapılı yakıtların 2040 yılındaki paylarını düşürmesi muhtemeldir. (ExxonMobil, 2018)

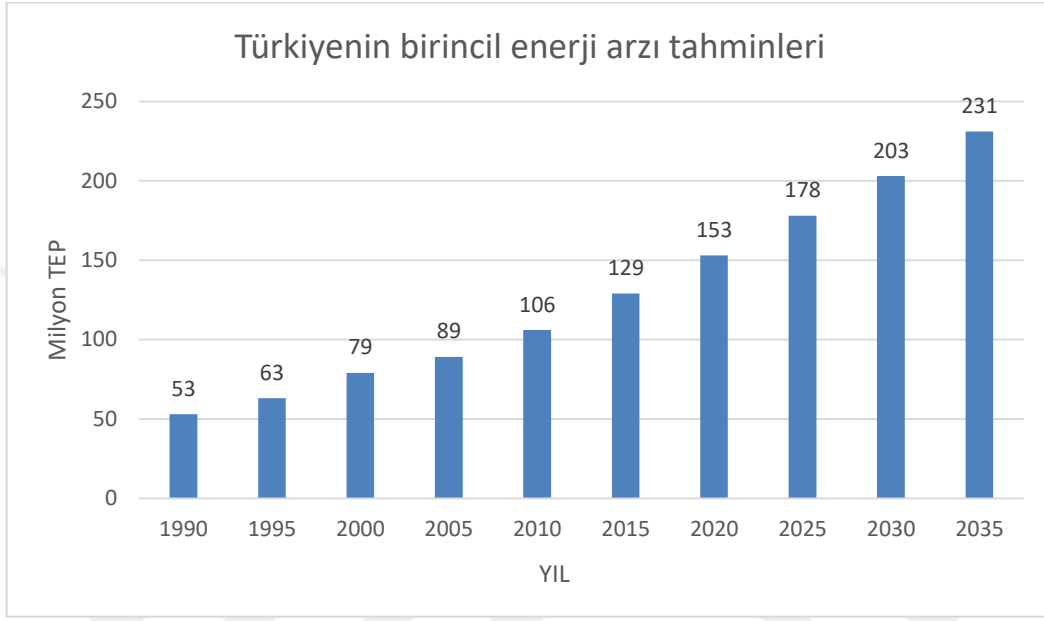
Tablo 1.1. Dünya Fosil Altyapılı Enerji Kaynaklarının Kullanımı (MTEP).

Yıllar	Doğalgaz	Petrol	Kömür	Yenilenebilir	Nükleer	Toplam	Fosil yakıt oranı
2012	2.844	4.194	3.879	1.802	0.642	13.361	%82
2030	3.797	4.689	4.342	2.846	1.047	16.720	%77
2040	4.418	4.761	4.448	3.455	1.210	18.293	%74

Kaynak: (Yılancılar, 2020), (Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş., 2014)

2040 yılındaki enerji ihtiyacına göre fosil altyapılı yakıtların pastadaki payı %74'e kadar gerilerken, yenilenebilir enerji kaynaklarının pastadaki payı %19'a kadar artış göstermektedir. 2017 yılından itibaren yenilenebilir enerjinin ortalama yılda %10 artış göstermesi sonucunda en fazla artış gösteren enerji kaynağı olmayı başarmıştır. Diğer bir yandan ise enerji ihtiyaçlarının artmasıyla birlikte yeryüzündeki enerji kaynakları tüketime bağlı olarak azalmaktadır. Dünyada bilinen petrol yataklarının toplam rezervleri yaklaşık 1,75 trilyon varil olup, bu şekilde kullanılmaya devam edilirse sadece 51 yıl daha tüketimi karşılayabilecek miktardadır. Bilinen doğalgaz rezervlerinin tamamı yaklaşık olarak 187 trilyon m³ dür ve petrol gibi o da aynı şekilde yaklaşık olarak 53 yıl gibi bir süre tüketimi karşılayabilecektir. Kömür rezervlerinin tamamının toplamı ise 114 yıl daha tüketimi karşılama potansiyelindedir. Rakamlardan da anlaşıldığı gibi fosil kaynakların aşırı miktarlarda kullanımına bağımlı olarak dünya üzerinde bulunan rezervlerin 50 yıl gibi kısa bir sürede tükenmesi kaçınılmazdır. Bunun yanı sıra, fosil yakıtların kullanımına bağlı olarak yaşanan çevre sorunlarının (küresel ısınma, iklim değişikliği ve sera etkisi vb.) gün geçtikçe küresel ölçekte çok büyük riskler teşkil etmektedir. Ayrıca fosil kaynakların dünyada belirli bölgelerinde yoğunlukla toplanmış olması sonucunda ortaya çıkan siyasi çatışmalar ve fiyatlardaki dalgalanmalar gibi sorunlar bizim gibi gelişmekte ve enerji bakımından dışa bağımlı ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimine yönelimlerini arttırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları, araştırmaların ve üzerinde yapılan çalışmaların arttırılmasıyla ve gelişen teknoloji ile zamanla azaltılacak maliyetleri ile enerjide büyük oranda dışa bağımlı olan ülkelerin dışa bağımlılıklarını azaltacaktır. (Yılmaz M. , 2012) British Petroleum (BP) tarafından araştırması yapılan istatistiklere baktığımızda, Ülkemizdeki enerji kullanımı geçtiğimiz 10 yılda yaklaşık olarak toplam %52, son on beş yıla baktığımızda ise yaklaşık %95 oranında bir artış göstermektedir. 2018 yılındaki birincil enerji tüketimi toplam 153 MTEP olan Türkiye'nin dünyadaki enerji tüketim oranı %1,1'dir. Bu tüketim

miktariyla Türkiye, ilk yirmi ülkenin içerisinde. Türkiye' nin tüketim kaynaklarının oranları sırasıyla petrol, % 31.6, doğalgaz, % 26.5, kömür, % 27.5, hidroelektrik, % 8.8 ve yenilenebilir enerji kaynakları, % 5.5, şeklindedir. Toplam birincil enerji ihtiyacındaki artış miktarlarına bakıldığında diğer pek çok ülkeye göre daha olumlu bir konumda olan Türkiye, geçtiğimiz 15 yılda gösterdiği yükseliş miktarları bakımından Çin ve Hindistan'dan sonra üçüncü sıradadır. (Koçak, 2018) (Yılancılar, 2020)

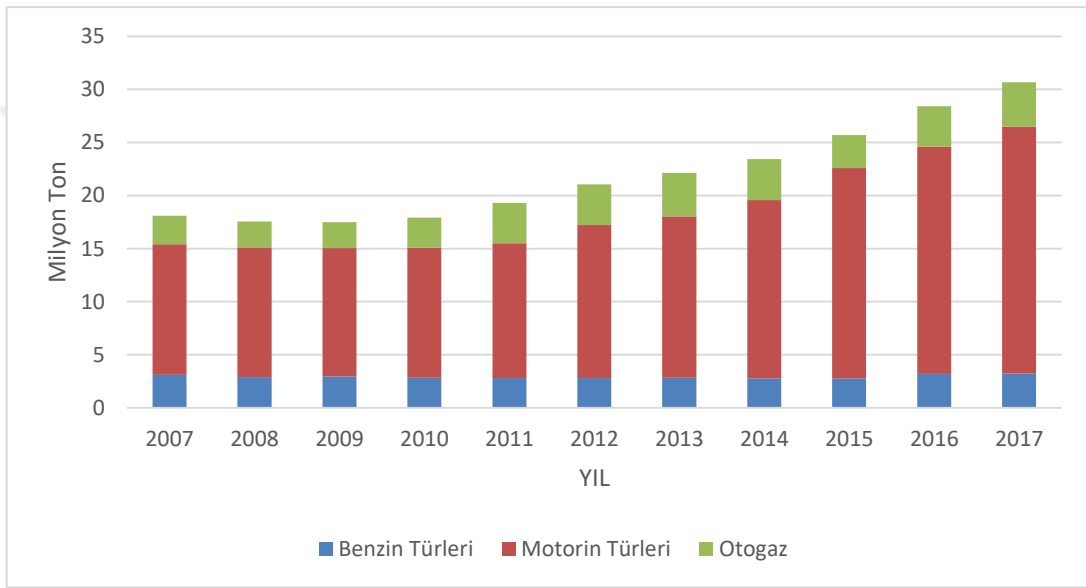


Grafik 1.2. Türkiye Birincil Enerji İhtiyacı Tahminleri.

Kaynak: (Koçak, 2018)

Grafik 1.2.'de Türkiye birincil enerji ihtiyacı yıllık bazda artışlarına göre oluşturulmuş grafik yukarıdaki gibidir. Bu grafiğe göre 2015 ile 2030 yılları arasında bulunan 15 yıl içerisinde enerji ihtiyaç miktarının 129 MTEP' den 203 MTEP' e artarak yaklaşık olarak % 57'lik oranda yükseliş olacağı tahmin edilmektedir. 2035 yılında ise ülkemizdeki enerjiye olan ihtiyacın yaklaşık olarak 231 MTEP' e ulaşacağı öngörülerek % 65 daha fazla enerji tüketimi olacağı tahmin edilmektedir. Petrol ürünleri hayatın pek çok yerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır, bu kullanımdaki payların en büyüğü de lojistik sektörüdür. Uluslararası Enerji Ajansının (İEA) 2016'daki Türkiye raporunda petrol türevlerinden elde edilen enerjinin % 60,9'u lojistik, % 18,3'ü üretim, geriye kalan % 20,8'i ticari, kamuda ve ziraat sektörlerinde kullanılmaktadır. Lojistik sektörünün 2004'teki oranı % 40,6 iken on yıl sonra 2014'te % 60,9'a yükselmiştir, 2004 yılından 2014 yılına kadar geçen on yıllık sürede ise diğer sektörlerin paylarında azalma olmuştur. (International Energy Agency (İEA), 2014) (Yılancılar, 2020) Türkiye'deki yakıt sektöründe genellikle motorin, benzine oranla daha

fazla kullanılmaktadır ve motorin kullanımı gün geçtikçe artmaya devam etmektedir. TÜİK’ in yayınlamış olduğu “Trafığe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı” raporunda 2007-2017 yılları arasında ülkemizde kullanılan dizel araçların sayısı 4.5 kat artış göstererek ülkemizde bulunan benzinli taşıt adedini geçmiştir. Grafik 1.3’de Lojistik sektöründeki kullanılan yakıtların cinslerine bakarak tüketim miktarı gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında Türkiye’de tüketilen dizel yakıt miktarlarının son yıllarda ciddi miktarda yükselmiş olduğu görülmektedir. 2010 yılındaki kullanım miktarı 13,8 milyon ton olan dizel yakıtın, 2017 yılındaki kullanım miktarı yaklaşık %72 oranında artış göstererek 23,7 milyon tona ulaşmıştır.



Grafik 1.3. Lojistik Sektöründeki Yakıtların Kullanım Miktarları

Kaynak: (Yılancılar, 2020)

Türkiye’de gün geçtikçe artan dizel yakıt tüketimi, toplam petrol ürünlerinin tüketimleri arasında % 51,2’sini oluşturur, Likit Petrol Gaz ise % 11’ini ve benzin % 6’lık bir paya sahiptir. Geçtiğimiz son on yılda, yakıt talebine bağlı olan sektörlerdeki değişiklikler sebebiyle, ülkemizde kullanılan fosil altyapılı yakıtların oranı da değişim göstermektedir. Bu değişimler arasındaki en fazla değişim gösteren motorin toplam talebin % 35,9 artmasıyla fosil yakıt kullanım pastasında görülmektedir. Artan talepler doğrultusunda akaryakıt sektöründeki pasta payı büyümeye devam etmektedir. (International Energy Agency (İEA), 2014) Ülkemizde artan dizel yakıtı ihtiyacını karşılamada dışa bağımlılığımızı azaltıp siyasi bağımsızlığımızı sağlayabilmek ve gerekli büyüme için yenilenebilir yerli biyoenerji gibi bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Biyodizel ve biyoetanol gibi yakıtlar, benzin ve dizel yakıtlarına alternatif olarak araçlarda kullanılabilir. Fosil yakıtlara alternatif olan

biyodizel ve biyoetanol gibi yakıtlar önem kazanmaktadır. Biyoetanol benzin ile çalışan motorlarda, biyodizel ise motorin ile çalışan dizel motorlarda yüksek maliyetli modifikasyonlara gerek duymadan kullanılabilen ve fosil yakıtlara alternatif yenilenebilir yakıtlardır. (Alptekin & Çanakcı, 2011) (Yılancılar, 2020)

Biyodizel; kullanılmış atık yağlardan bitkisel ve hayvansal kaynaklı olarak elde edilebilen ve dizel yakıt kullanan motorlarda doğrudan kullanılabilen alternatif bir yakıttır. (Behçet & Çakmak, 2011) Biyodizel yakıtının, içten yanmalı dizel motorlarda direkt olarak kullanımı ya da uygun miktarlarda motorinle yeni karışımlar yaparak kullanımı, hem çevreye salınan egzoz emisyonlarının olumsuz etkilerini azaltacak, hem de sınırlı olan fosil yakıtlara alternatif bir şekilde kullanılabilmesine katkıda bulunacaktır. Biyodizel üretiminde genellikle ayçiçek yağı, kanola yağı, soya fasulyesi yağı, yer fıstığı yağı, pamuk yağı ve kullanılmış atık yağlar kullanılmaktadır. Bununla beraber çeşitli biyoyakıtlar üzerindeki deneyler ve uygulamalar sürdürülmektedir. Biyodizel üretim maliyetlerinin dizel yakıtına oranla daha yüksek olması sebebiyle daha düşük maliyetli ve yüksek verimli bir biyodizel hammaddesi bulunmasını gerekmektedir. Biyodizel üretimi için istenen teknik koşullardan en önemlilerinden birisi bitkisel yağ oranıdır. Ayçiçek bitkisinin yağ oranının yeterli miktarlarda olması ve iklim değişikliklerine karşı dayanıklılığa sahip olmasından dolayı büyük bir potansiyeli bulunmaktadır. (Budak, Bayındır, & Yücel, 2009) Bu tez çalışmasındaki amaç; Ülkemizdeki dizel yakıt ihtiyacından dolayı dizel motorlarda değişiklik yapmaya gerek duymadan yerli imkanlar ile üretilen ve sürdürülebilir kaynaklı alternatif bir çeşit biyodizel üretebilmek ve bu yakıtı çeşitli miktarlarda n-bütanol alkol ve dizel yakıt ilavesi sonucu elde edilen karışımların motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda kolay ulaşılabilirliği ve zirai özellikleri ile öne çıkan ayçiçek bitkisi seçilmiş ve bu bitkiden üretilen ayçiçek yağından, transesterifikasyon metodu ile biyodizel yakıtı elde edilmiştir. Bunun devamında üretilmiş olan biyodizelin belirli oranlarda n-Bütanol ve motorin ile ikili ve üçlü karışımlar halinde hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımların motor performansına ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. ALTERNATİF YAKITLAR

2.1. Motorlarda Kullanılan Alternatif Yakıtlar

Ülkemizdeki enerji ihtiyacı çoğunlukla petrol ve türevi yakıtlardan karşılanmaktadır. Bu durum çevre kirliliği, iklim bozukluğu ve küresel ısınma gibi problemler oluşturmaktadır. Lojistik sektöründe yoğun miktarlarda kullanılmakta olan petrol ürünlerinden elde edilen (motorin, benzin ve lpg vb.) yakıtların kullanılmasından vazgeçilmez veya azaltılamaz ise yakın gelecekte ciddi çevre sorunlarına neden olması kaçınılmazdır. Son günlerde pek çok alternatif yakıt üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Devam eden araştırmalar sonucunda içten yanmalı motorlarda kullanılabilir alternatif yakıtlardan istenen özellikler şunlardır;

- Motor performans değerlerinin fosil yakıtların performans değerlerine yakın olması,
- Motor verim oranlarının fosil yakıtların veriminden fazla olması,
- Yanma sonucunda ortaya çıkan egzoz emisyonlarının daha az olması,
- Motorun yapısında büyük çapta bir değişiklik gerektirmemesi,
- Ülkemizde üretimi yapılabilir ve maliyetinin düşük olması. (Akyaz, 2007)

Otto ve Dizel motorlarda çokça tercih edilen yenilenebilir kaynaklı yakıtları üretim kaynağına göre sınıflandırılmıştır;

- a) Biyogaz ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{diğer}$)
- b) Biyohidrojen (Yenilenebilir kaynaklı hidrojen)
- c) Alkoller
- d) Biyodizel (yağ asidi metil esteri)

2.2. Biyoyakıtlar

Yenilenebilir kaynaklardan üretilen ve fosil yakıtlara alternatif olarak motorlarda kullanılabilen tüm yakıtlar bu sınıfta yer alır. Biyoyakıtları kabaca tarif edecek olursak, içten yanmalı motorlarda hiçbir değişiklik gerektirmeden kullanılabilen yenilenebilir, sınırsız kaynağa sahip, karbon nötral çevreci ürünlerdir.

2.2.1. Biyohidrojen

Suyun elektroliziyle oksijen ve hidrojen atomlarına parçalanarak elde edilen biyohidrojen, yanma reaksiyonları sonucunda su buharına dönüşen, yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. (Kahraman, Akansu, & Albayrak) Sembölü “H” olan hidrojen, tek atomlu ve atom ağırlığı 1,00797 olan en küçük molekülü olan elementtir. Dünya üzerinde

bulunan tüm canlıların yapı taşlarından birisidir ve dünya üzerindeki akarsular ve denizleri oluşturan suyun yapıtaşı iki elementten birisidir. Dünyada en fazla olan element hidrojendir. Yeryüzü seviyesinde hiç serbest hidrojen atomu olmamasının sebebi aşırı derecede hafif olan hidrojen atmosfere yükselerek orada serbest kalmaktadır. Görünmez, tatsız, kokusuz ve yanıcı bir gaz olan hidrojenin tamamı genellikle H_2 , CH_4 ve H_2O şeklinde birleşik halindedir. Hidrojenin yanması sonucunda çok yüksek miktarda ısı açığa çıkarmasına rağmen, zehirli bir etkide bulunmaz. Hidrojen ve benzin aynı birim kütle miktarında kıyaslandığı zaman hidrojenin enerji içeriği benzine kıyasla 2,5 kat daha fazladır. Hidrojenin, yanma reaksiyonunda hava ile tepkimeye girmesi neticesinde yanma sonu ürünü olarak su buharını çıkartır ve bu sebeple çevreci yakıtlar arasındadır. Hidrojenin sıvı olarak depolanabilmesi için yeterli ve doğru miktarda soğutulması gerekmektedir. (Batmaz, 2007) Hidrojen öteki fosil altyapılı enerji kaynakları ile kıyas edildiğinde, tekrar tekrar kullanılabilen bir enerji kaynağı olması, üretiminin düşük maliyetli olması, herhangi bir kirlетici emisyon değeri olmaması, fosil alt yapılı enerji kaynaklarına bir bağıllığı olmaması ve özelliklerinin yakıt olarak kullanıma uygun olmasından dolayı taşıtlar için önemli alternatif yenilenebilir bir yakıt kaynağıdır. (Haşimoğlu, Ciniviz, & Uçar, 2000)

Hidrojen doğal şartlarda serbest halde bulunmaz, lakin hidrojeni çeşitli bileşiklerden ayırıştırabilmek için pek çok yöntem bulunmaktadır. Hidrojeni üretebilmek için güneşten, rüzgârdan, sudan ve biokütle enerjisi gibi farklı yenilenebilir kaynaklardan yararlanılabilir veya fosil yakıtlar ayrı ayrı kimyasal tepkimelere sokularak da üretilebilir. (Akyaz, 2007) Hidrojen serbest atomunu yakalayabilmek için fosil yakıtlar arasında doğalgaz günümüz şartlarında fazlasıyla tercih edilir. Lakin doğalgazın fosil altyapısına sahip olması, tükenebilecek bir kaynak olması, hidrojen üretimi için sınırsız bir kaynak olan suyun tercih edilmesinin başlıca sebepleridir. Su kullanılarak hidrojen atomu üretilmesi günümüzde maliyeti yüksek bulunmaktadır. Gelecekte ise gelişen teknolojinin getirebileceği imkânlarla maliyeti avantajlı konuma getirilebilirse daha fazla tercih edilen yöntem olacağı kesindir. (Oral & Çelik) Tablo 2.1.'de Hidrojenin yakıt özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. Hidrojenin Yakıt Özellikleri

Özellikler	Hidrojen
Kimyasal Deklemi	H ₂
Molekül ağırlığı	2.016
Yoğunluk kg/m ³	0.0838
C/H oranı	0
Isıl Değer MJ/kg	119.9(Hu) 141.9(Ho)
Stokiyometrik H/Y Karışım Oranı	29.53
Tutuşabilme Sınırı %	4.0-75.0
Hava fazlalık katsayısı	0.15-4.35
Buharlaşma ısısı MJ/kg	0.447
Laminer Alev Hızı m/s	2.91
Kendi Kendine tutuşma sıcaklığı °K	858
Difüzyon katsayısı cm ² /s	0.61
Kaynama Noktası K	20.36
Kritik Sıcaklık	94
Kritik Basınç	12.84
Kritik Yoğunluk	31.40

Kaynak: (Yılancılar, 2020)

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrojen ve fosil alt yapılı yakıtlar birbirleriyle kıyaslandığında hidrojen, fosil yakıtlara karşı üstünlüğü ele almaktadır. Referans olarak birim kütle baz alındığında hidrojen en çok enerji içeriğini barındıran yakıt olarak ön plana çıkmaktadır. Alt ısı değeri 119,9 MJ/kg'dır. Ayrıca hidrojenin kendiliğinden alevlenme sıcaklığı yüksektir ve alevlenme hızı, alevlenme sınırında genişlik, düşük seviyede ateşleme enerjisi gerekliliği, yoğunluğunun düşük olmasından ötürü oluşan difüzyon katsayısının yüksekliği, termik veriminin yüksekliği, oktan sayısının yüksekliği ve kirletici emisyon gazlarının bulunmaması gibi öne çıkan özelliklerinden dolayı oldukça ilgi uyandıran alternatif bir yakıttır. Hidrojen hem saf olarak hem de diğer yakıtlarla çeşitli yöntemlerle karıştırılarak içten yanmalı motorlarda kullanılabilir. (Karagöz, 2012) Hidrojen ve motorlarda kullanılmakta olan fosil altyapılı yakıtlar sıvı ve gaz fazlarda birbirleriyle kıyaslandıklarında, yapı olarak hidrojen fosil yakıtlara oranla 10 kat daha hafiftir. Bu sayede hidrojen geniş bir tutuşma sınırı aralıklarına sahiptir. Eğer Hidrojen hava içinde %4 ile %75 arasında bir oranında bulunması durumunda kendi kendine tutuşabilmektedir. (Kahraman, Akansu, & Albayrak) Bu şart sağlandığında hidrojen çok fakir karışımlarda ve çok zengin karışımlarda çalışabilmektedir. Yakıt olarak benzini ele alırsak tutuşabilmesinin mümkün olması için katsayı olarak 0.3-1.7 hava fazlalık katsayısı gerekir. Ama yakıt olarak hidrojeni ele alırsak bu değer 0.3-4.35 aralığındadır. Kıyaslandığında hidrojen yakıtı benzin yakıtına kıyasla büyük oranda çok daha geniş bir tutuşma aralığına sahip olduğu görülmektedir. Diğer bir açıdan

hidrojen hava karışımı öteki yakıtlara göre en düşük minimum ateşleme enerjisi değerine sahiptir. Bu değerler otto motorlarda ilk harekette avantaj sağlarken, yanma zamanının istenenden erken gerçekleşmesi ve tekrar tutuşma gibi endişe verici sorunları beraberinde getirmektedir. (Karagöz, 2012)

İçten yanmalı motorlar baz alındığında hidrojenin kullanabilmesi için 3 farklı tasarıma sahiptir bunlar şu şekildedir;

- ilk yöntemde hidrojen hava karışımı sabit miktarlarda emme kanalına gönderilir, motor gücü ise karışımın miktarının artırılıp azaltılmasıyla ayarlanmaktadır.

- İkinci yöntemde hidrojen gazı yüksek basınçlı olacak bir şekilde silindir içerisine gönderilir. Hava ise manifold tarafından emilerek silindire alınır. Bunun sonucunda silindir içerisinde hava yakıt karışımı elde edilmiş olur. Motor gücü ise bu sistemde hidrojenin basıncının artırılıp azaltılmasıyla ayarlanmaktadır.

- Üçüncü yöntemde ise, ikinci yöntemde yapıldığı gibi hava yakıt karışımı silindirin içerisinde elde edilir. Fakat bu yöntemde hidrojen düşük basınçlı olacak bir şekilde gönderilir. Motor gücü bu sistemde hidrojen miktarının artırılıp azaltılması suretiyle ayarlanmaktadır.

Motorlarda yakıt olarak bir tek hidrojenin kullanılması sonucunda motorda bazı problemler ortaya çıkarmaktadır. Motorda yapılabilecek modifikasyonlar sayesinde bu sorunlar ortadan kaldırılabilir. Hidrojen hava karışımının içten yanmalı motorlarda kullanımında yanma reaksiyonları sonucu kirletici gaz olarak bir tek azot oksitler (NO_x) açığa çıkmaktadır. İçeriğinde karbon olmadığından karbon monoksit ve karbondioksit gibi kirleticiler oluşmaz. (Karagöz, 2012)

2.2.2. Biyogaz

Biyogaz, çoğunlukla elektrik üretiminde kullanılan jeneratörlere güç sağlamak amacıyla kullanılır, bununla beraber içten yanmalı motorlar için de kullanma ihtimalinden dolayı taşıtlar için önemli bir yakıt türüdür. Biyogazın kullanılabilirliği otto ve dizel motorlara uygunluğu yakıt özellikleri ile ispatlanmaktadır. Özelliklerinin uygun olması sayesinde biyogaz fosil altyapılı yakıtlara alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir. Biyogaz biyokütle kaynaklı bir yakıttır. Bu sebeple motorların içerisinde fosil yakıtlara nazaran daha iyi bir karışma oranına sahiptir ve temiz yanması nedeniyle tercih edilebilmektedir. Biyogaz organik içerikli maddelerden hava geçirmeyen adyabatik bir tankta sürekli olarak karıştırılması sonucu fermente olan bakteriler tarafından 4 aşamada fermentasyon sonucu açığa çıkar. Açığa çıkan biyogazı çoğunlukla CH₄ ve CO₂ oluşturur. Bu gazların yanı sıra

biyogazı çok az miktarlarda hidrojen, nitrojen ve diğer gazlar oluşturmaktadır. Biyogazın içeriği üretiminde kullanılan atıkların çeşitlerine ve miktarlarına göre farklılıklar oluşturabilmektedir. (Horuz, Korkmaz, & Akıncıoğlu, 2015) Tablo 2.2’de biyogazın içeriğindeki gazlar verilmiştir.

Tablo 2.2. Biyogaz’ ın İçinde Bulunan Gazların Oranları

Bileşen	Sembol	% içerik
Metan	CH ₄	50-70
Karbondioksit	CO ₂	30-40
Hidrojen	H ₂	5-10
Nitrojen	N ₂	1-2
Su Buharı	H ₂ O	0.3
Hidrojen Sülfür	H ₂ S	Çok düşük

Kaynak: (Ray, Mohanty, & Mohanty, 2013)

Biyogaz üretilmesi gayet kolay bir yakıttır. Türkiye ve biyogaz kullanan ülkelerin tamamında biyogaz üretimi yapan tesislerde organik atıklar enerji kaynağına dönüştürmek için kullanılır. Bu sayede hem enerji üretilir hem de atıklardan yararlanılmış olur. (Haşimoğlu, Ciniviz, & Uçar, 2000) Biyogaz LPG ve CNG ye alternatif olarak yüksek basınç altında sıkıştırılıp sıvılaştırılarak kullanılabilir. Biyogazın fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4’deki gibidir.

Tablo 2.3. Biyogaz İçin Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Özellikler	Biyogaz	Metan	Benzin	Motorin
Kimyasal formülü	%60CH ₄ +%40CO ₂	CH ₄	C ₈ H ₁₈	C ₁₂ H ₂₄
Yoğunluk	1.2	0.83	750	850
Alt ısı değeri KJ/kg	18000	57500	43000	43500
Tutuşma Sınırı %	5-15	5-17	0.6-0.8	0.6-0.85
Tutuşma Sıcaklığı °C	650	650	246	210
H/Y oranı	10.2	17	14.8	15.5
Oktan sayısı	130	130	92	-
Setan sayısı	-	-	-	50

Kaynak: (Yılmaz İ. T., 2015)

Karbondioksit miktarı biyogazın yoğunluğunu ve ısıl değerini önemli derecede etkiler. Karbendioksit miktarı yoğunluk ile doğru orantılı değişkenlik gösterirken ısıl değer ile ters oranda değişmektedir. Biyogazın tutuşma sıcaklığı fosil altyapılı olan motorinden çok daha yüksek olduğu için dizel motorlarda kullanılabilmesi için motor üzerinde modifikasyon yapılması gerekmektedir. (Haşimoğlu, Ciniviz, & Uçar, 2000) Buna rağmen oktan sayısı yüksek olmasından dolayı buji ateşlemeli otto motorlarda kullanımı avantaj sağlamaktadır.

Biyogazın otto motorlarda verimli bir şekilde kullanılabilmesi için içeriğinde bulunan metan (CH_4) gazının en az %52 ve üzerinde olması gereklidir. Biyogaz yüksek vuruntu direncine sahip olduğu için otto motorlarda çift yakıtlı olarak tercih edilebilir. Biyogaz otto motor içerisine emme manifoldu yoluyla veya motor içerisine püskürtülerek motor içinde biyogaz hava karışımı elde edilerek çift yakıt yönteminde kullanılır. Dizel yakıtlı motorlarda biyogaz hava karışımının tutuşmasını sağlamak için biyogaz sıkıştırma işleminin sonlarına doğru püskürtülür. Bu yöntemde tutuşma başlangıcının olması için püskürtülen dizel yakıt miktarının %10-20'si kadar miktarda biyogaz tutuşmayı başlatmaya yetmektedir.

Biyogaz, saflaştırma işlemi uygulanarak karbondioksitten arındırılır. Bu yöntem sonucu biyogazın barındırdığı metan oranı %96-97'lere kadar yükseltilebilir. Bu oranı yakalayabilmek için farklı yöntemler vardır. Eğer biyogazın barındırdığı metan oranı %97 seviyelerine yükseltilebilirse 1m^3 biyogaz 1 litre ile eşdeğer hale gelir. (Kahraman, Akansu, & Albayrak)

2.2.3. Biyodizel

Gün geçtikçe kullanılan taşıt sayıları artmaktadır ve bu durum akaryakıtta olan ihtiyacı büyük oranda arttırmaktadır. Akaryakıt ihtiyacı ise dışa bağımlılığı arttırmaktadır. Bu durumu tersine çevirebilmek için yenilenebilir olan yerli enerji kaynakları oluşturulup sürdürülebilir enerjinin arzında ve ekonomik güçte büyümeler sağlanmalıdır. Otto ve dizel motorlar için kullanılan fosil kökenli yakıtlar yerine biyodizel ve biyoetanol yakıtları kendilerini alternatif olarak öne çıkarmaktadır. Dizel motorlar için biyodizel tercih edilebilirken otto motorlar için biyoetanol tercih edilebilmektedir. Ayrıca bu yakıtların kullanılabilmesi için motorlarda pek fazla değişikliğe ihtiyaç duyulmamaktadır. Biyodizel, türlü biyolojik kaynaklardan üretilen motorinin eşdeğeri bir biyoyakıttır. Biyodizel ester altyapılı bitkilerden üretilen yakıtların genel adıdır. Teknik olarak tanımlamak gerekirse biyodizel yağlı bitkilerden, hayvansal yağlardan ve atık yağların bir katalizör yardımıyla birlikte metanol ve etanol gibi daha basit yapılı alkollerle tepkimeye sokularak elde edilir. Elde edilen bu yakıt mono alkil esteri de denir. Setan sayısı ve içeriğinde oksijen olması, biyodizeli motorin yakıtına kıyasla daha avantajlı bir konuma taşıyan önemli özelliklerdir. Biyodizel dizel motorlarda modifikasyona gerek duyulmadan doğrudan veya dizel yakıtı belirli miktarlarda eklenerek oluşturulan karışımlar halinde kullanılmaktadır. Biyodizelin karbon nötral oluşu sayesinde egzoz emisyonlarında dışarıya verilen zararlı gazların etkilerini azalttığı görülmektedir.

Özetlemek gerekirse biyodizel yakıtı;

- EN-14214 standardına uygun olan biyodizel bir alkil esteridir ve esterleşme işlemine tabi tutulan organik yağlardan üretilir.

- Genellikle bitkisel yağlar kullanılmaktadır.

- Direkt olarak doğaya salınan CO₂ salınımını azaltmaz ama biyodizel üretiminde kullanılan yağ bitkilerinin yetiştirilmesi esnasında CO₂ tüketeceği için karbon nötralizasyonu sağlanmış olur.

- Metanol, etanol gibi basit yapıli alkoller ile bitkisel yağların tepkimeye sokulması ile biyodizel üretilirken, tepkime sonucu yağ içerisinde bulunan gliserin dibe çöker dışarı atılır.

- Motorda yapılacak ufak birkaç değişiklikle daha verimli kullanılabildiği gibi kullanımı için herhangi bir modifikasyona da ihtiyaç duyulmamaktadır. (Yılancılar, 2020)

2.2.4. Alkoller

Alkoller Hidrojen, Oksijen ve Karbonlardan oluşurlar. Bu elementlerin çeşitli sayılarda ve değişik biçimlerde ve yönelmelerde birleşmeleri sonucunda oluşan hidrokarbon bileşğinde hidroksillerin hidrojen atomlarının yerini alması sonucu oluşan bileşiklere alkol adı verilir. Genel formülü C_nH_{2n-1}-OH olarak gösterilmektedir. Alkoller yenilenebilir olması ve yanma esnasında temiz yanması gibi özelliklerinden ötürü, fosil kaynaklı yakıtlara alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmektedir. (Atmanlı, 2013)

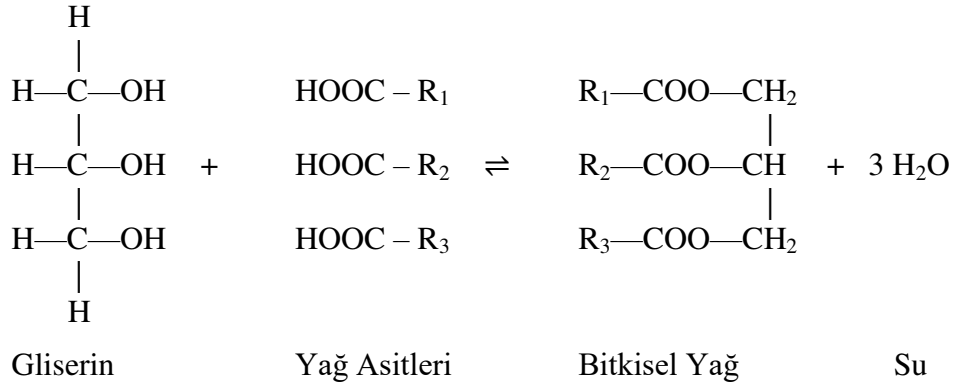
3. YAKIT OLARAK BİYODİZEL VE BÜTANOL

Petrolün önümüzdeki 50 yıl içerisinde sonunun gelecek olması ve içten yanmalı motor teknolojisinin ise petrol ve petrol ürünlerinden elde edilen yakıtlara bağlı olması ve bu bağlılık sebebiyle bu doğrultuda gelişmekte olan motor teknolojisinde motorlarda çok fazla değişikliğe gidilmeden alternatif olarak kullanılabilecek bir yakıt arayışını zorunluluğunu ortaya koymaktadır. (Haşimoğlu C. , 2005) Dizel yakıtına alternatif olarak kullanılacak yakıtların hammadde yönünden kolay ulaşılabilir, çevreye olan etkisi yönünden kabul edilebilir düzeyde ve üretim tekniği yönünden ekonomik olmalıdır. Dizel motorlu araçlarda yakıt sisteminin değişmesine gerek kalmadan kullanılabilir olması, üretiminin kolay olması, yakıt özelliklerinin dizel yakıtına benzerliği ve karbon nötral olmasından dolayı çevre dostu bir yakıt özelliğiyle bitkisel yağlar ön plandadır. (Atmanlı, 2013) Bu özellikleri bakımından Avusturya, Amerika Birleşik devletleri, Almanya, Fransa, Brezilya, İtalya, Hollanda gibi ülkelerde yapılan çalışmalar sonucunda acil durumlarda bitkisel yağların direkt yakıt olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur. (Işığör, 1992)

3.1. Bitkisel Yağların Yapısı

Bitkisel yağlar tarım ürünlerinin bazılarının tohum ve çekirdeklerinden bazılarının ise doğrudan meyvelerinden işlenerek üretilmektedir. Bu yağlar fosil kaynaklı üretilen yağlardan yapı olarak farklıdır. Yağlar organik bileşenlerdir ve yapısında karbon, hidrojen ve oksijen elementlerini içerirler. Motorin yapısı itibarıyla genellikle aromatikler ve parafinlerden oluşmasının yanı sıra, yağlar doymuş yağ asitleri ve doymamış yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. (Srisvastava & Prasad, 2000)

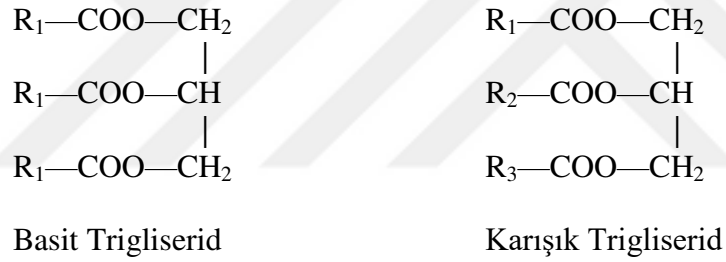
Bitkisel yağlar gliserinle yağ asitlerinin (R-COOH) yapmış olduğu esterlerdir ve bu esterlere gliserid adı verilmektedir. Triglicerid elde etmek için gliserin molekülü ile 3 alkol grubunun esterleşmesi gerekmektedir. Yağların içeriğini monogliserid, digliserid ve trigliserid oluşturmaktadır. (Erdoğan, 1991) (Ulusoy & Alibaş, 2000)



Şekil 3.1. Gliserinin Yağ Asitleri İle Esterleşmesi

Kaynak: (Yamık, 2002)

Trigliseridler yağ asitleriyle esterleşirken üç karbon atomuyla da aynı yağ asidi bağlanırsa buna basit trigliserid üç farklı yağ asidiyle bağlanırsa karışık trigliserid adı verilmektedir.



Şekil 3.2. Basit ve Karışık Trigliserid

Kaynak: (Uyar, 1992)

Yağları oluşturan asitlerinin sayısı ve cinsleri yağların kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirlemektedir. (Uyar, 1992)

Tablo 3.1. Yağ Asitleri'nin Kimyasal Özellikleri

Yağ Asitleri	Genel Formülü	Karbon Sayısı	Çift bağ sayısı	Molekül Ağırlığı	Erime Noktası (°C)
Kaprilik Asit (Oktanoik Asit)	$C_8H_{16}O_2$	8	0	144,22	25,5
Kaprik Asit (Dekanoik Asit)	$C_{10}H_{20}O_2$	10	0	172,27	31,5
Laurik Asit (Dodekanoik Asit)	$C_{12}H_{24}O_2$	12	0	200,32	44,5
Miristik Asit (Tetradekanoik Asit)	$C_{14}H_{28}O_2$	14	0	228,38	58,5
Palmitik Asit (Heksadekanoik asit)	$C_{16}H_{32}O_2$	16	0	256,43	63,5
Stearik Asit (Oktadekanoik Asit)	$C_{18}H_{36}O_2$	18	0	284,48	71,5
Araşidik Asit (Eikosanoik Asit)	$C_{20}H_{40}O_2$	20	0	312,51	75,3
Behenik Asit (Dokosanoik Asit)	$C_{22}H_{44}O_2$	22	0	340,06	80,5
Oleik Asit (9Z-Oktadekanoik Asit)	$C_{18}H_{34}O_2$	18	1	282,47	16,5
Linoleik Asit (9Z,12Z-oktadekadienoik)	$C_{18}H_{32}O_2$	18	2	280,45	-5
Linolenik (9Z,12Z,15Z-oktadekatrienoik)	$C_{18}H_{30}O_2$	18	3	278,44	-11
Erurik Asit (13Z- dokosenoik)	$C_{22}H_{42}O_2$	22	1	338,58	33,9

Kaynak: (Atmanlı, 2013)

Yağ asitlerinin genel formülü $CH_3(CH_2)_nCOOH$ 'dır. Yağ asitleri kendi arasında yaptıkları bağlara göre doymuş ve doymamış yağlar olarak ikiye ayrılırlar. (Atmanlı, 2013) (Demirbaş, 2009) (Strayer, 2006)

3.1.1. Doymuş Yağ Asitleri

Yağ asidi molekülünü oluşturan Karbon atomlarının birbirleri arasında tek bağ vardır. Doymuş yağ asitlerinin zincirlerinin uzunluğu kaynama ve erime noktalarını doğru oranda etkilemektedir. Bitkisel yağlarda özellikle stearik ve palmitik asit yaygın olarak bulunurlar.

Oda sıcaklığında genellikle katı halde bulunurlar. (Demirbaş, 2009) (Karaca & Aytaç, 2007) (Yamık, 2002) (Nas, Gökalp, & Unsal, 1992)

3.1.2. Doymamış Yağ Asitleri

Yağ asidi molekülünü oluşturan Karbon atomlarının oluşturmuş olduğu karbon zincirinin üzerinde farklı konumlarda karbon atomları arasında bir veya daha fazla kovalent çift bağ içeren yağ asitleridir. Bir adet çift bağ içeren doymamış yağ asitlerine monoenoik, iki ve ikiden fazla çift bağ içeren doymamış yağ asitlerine ise polienoik olarak adlandırılırlar. Doymamış yağ asitleri çok kolay bir şekilde okside olmaktadır. Karbon zincirinde bulunan çift bağların sayısının artması oksidasyonu kolaylaştırmaktadır.

$R - CH = CH - (CH_2)_7 - COOH, C_nH_{2n}O_2$ Tekli doymamış yağ

$C_nH_{2n-x}O_2$ Çoklu doymamış yağ x: çift bağ adedi

3.1.3. Gliserin

Üç farklı hidroksil grubu taşıyan gliserin yağ çözücülerin hiçbirinde çözünmez bunun aksine alkol ve suda çözünmektedir. 20 °C de ergiyen ve 290 °C de kaynayan tatlı, hafif ve kokusuz bileşiklerden oluşurlar (Altın, 1998)

3.1.4. Ayçiçek Yağı

Ayçiçek yağı, Compositae familyasının Helianthus annuus bitkisinden üretilmektedir.

Türkiye de Ayçiçek yağı bitkisi çoğunlukla Trakya bölgesinde yetiştirilmektedir. Ayçiçeği bitkisinin çiçek evresinde ve olgunlaşma evresinde sıcak bir ortama ihtiyaç duyar. Bu sıcaklık bitkinin tohumunda bulunan yağ asitlerinin oranlarını ve yağların içeriğini etkiler. Ayçiçek yağının viskozitesi (40°C' de) 60 ile 80 cSt arasındadır.

Tablo.3.2. Ayçiçek Yağı İçerisinde Bulunan Yağ Asitleri

Yağ Asidi	Miktar (%)	Yağ Asidi	Miktar (%)
Palmitik Asit	4-9	Palmitoleik Asit	<0,5
Linoleik Asit	50-75	Oleik Asit	14-35
Miristik Asit	<0,2	Gadoleik Asit	<0,1
Linoleik Asit	<0,1	Stearik Asit	3-6
Araşidik Asit	<1	Behenik Asit	0,5-1,5
Lignoserik Asit	<0,5		

Kaynak: (Atmanlı, 2013)

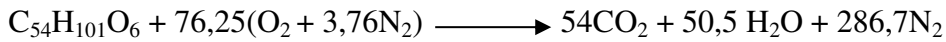
Tablo 3.3. Ayçiçek Yağında Bulunan Yağ Asitleri

Yağ Asidi	Kimyasal Formülü	Ergime Sıcaklığı (°C)	Kaynama Sıcaklığı (°C)
Oleik	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_6-\text{COOH}$	13	286
Palmitik	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$	63	198
Linolenik	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	-24	230
Stearik	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$	70	383
Linoleik	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	-5	202

Kaynak: (Haşimoğlu C. , 2005)**3.1.4.1. Ayçiçek Yağının Teorik Tam Yanma Denklemi**

Bitkisel yağlar üzerinde yapılan akademik araştırmalar ve deneylerde yağların kimyasal formüllerinin birbirinden farklılık gösterdiğini ancak oksijen sayılarının aynı olduğu fakat içeriğindeki karbon ve hidrojen atomlarının sayıları farklı olduklarını ispatlanmıştır. Ayçiçeğin kimyasal formülü $\text{C}_{53,5881}\text{H}_{100,6104}\text{O}_6$ 'dır.

Ayçiçek metil esterinin yanma denklemi



Teorik tam yanmada hava yakıt oranı

$$\frac{H}{Y} = \frac{[(76,25 \times 32) + (76,25 \times 3,76 \times 28)]}{[(54 \times 12) + (101 \times 1) + (6 \times 16)]} = \frac{10467,6}{845} = 12,387$$

Dizel yakıtında hava yakıt oranı kütleli olarak hesaplandığında yaklaşık 14,9 dur.

Aynı koşullar altında yapılan deneylerde hacim olarak aynı miktardaki AYME ile dizel yakıtının yanmasında dizel yakıtında açığa çıkan enerji miktarı AYME ye göre daha fazladır. Bu sebepten ötürü biyodizel olarak AYME kullanan motordan aynı efektif gücü alabilmek için daha çok AYME yakılması gerekmektedir.

3.2. Biyodizel ve Üretim Yöntemleri

Dünya petrol krizi yaşandıktan sonra gelişmiş ülkelerin hemen hepsi enerji sektöründeki politikalarını değiştirerek alternatif enerji kaynaklarına olan çalışmalarını genişleterek yoğunlaştırmışlardır. Alternatif enerji kaynakları içerisinde diğerlerine nazaran biyodizele daha fazla ilgi gösterilmiştir. Biyodizel biyolojik kaynaklardan üretilmiş olduğumuz dizel yakıtına yakın yakıt özellikleri olan bir biyoyakıt türüdür. Biyodizel yakıtının en önemli özelliklerinden birisi de dizel motorlarda kullanılabilmesi için motor üzerinde herhangi bir değişikliğe gerek duyulmadan saf biyodizel olarak veya dizel yakıtıyla karışım şeklinde kullanılabilir olmasıdır. Dizel yakıtı yandığında ortaya çıkan CO₂ (Karbondiyoksit) emisyonları sera etkisini artırırken biyodizel yakıtı yandığında açığa çıkan CO₂ (Karbondiyoksit) emisyonlarını biyodizel üretimi için ekilmiş olan bitkiler büyürken havadaki CO₂ aldıkları için CO₂ çevrimi kapalı bir çevrim haline gelmiş olur. Biyodizel karbon nötraldir yani dizel yakıtının yerine biyodizel kullanıldığı zaman dünya üzerindeki sera etkisi azalma gösterir. Dünya üzerinde biyodizel üretimi yapan ülkeler arasında ülkemiz 15'inci sırada yer almaktadır. (Knothe, 2010) (Singha, Sharmaa, Sonia, Sharmaa, & Kumarib, 2019) (Alleman & McCormick, 2016)

3.2.1. Biyodizel Üretim Yöntemleri

Biyodizel hayvansal, bitkisel, atık ve kullanılmış yağlardan yani yenilenebilir kaynaklardan üretilmektedir. Biyodizel üretilen uzun zincirli yağ asitlerinin mono akil esterlerine verilen isimdir. Biyodizel üretimi yani bitkisel yağları dizel motorlarda daha kullanılabilir hale getirilmesi ısıl yöntemler ve kimyasal yöntemler olmak üzere iki ana başlıkta yapılmaktadır. Isıl yöntemlerde genellikle motorda yakılacak olan yağın motorda yanmadan önce ön ısıtmaya tabii tutularak viskozitesinin azaltılması amacıyla yapılmaktadır. Kimyasal yöntemler ise 4 alt başlıkta incelenmektedir bunlar; (Çelebi, 2017) (Shurtleff & Aoyagi, A., 2017) (Işığgür, 1992)

- Mikroemülsiyon
- Piroliz
- Seyreltme
- Transesterifikasyon

3.2.1.1. Mikroemülsiyon

Mikroemülsiyon oluşturma yöntemleri bitkisel yağların genellikle kısa zincirli alkoller kullanılarak yağların mikroemülsiyon oluşturularak viskozitesi düşürülmüş olur ve püskürtme

özelliğini iyileştirilmiş olur. Mikroemülsiyon normalde birbirine karışmayan termodinamik olarak kararlı iki sıvının amfifilin ile bir araya getirilmesiyle oluşan çok küçük tanecikleri (çapları 1-150nm arasında) olan ve kendiliğinden oluşan sistemlerdir. Mikroemülsiyon yöntemiyle fosil kaynaklı yakıtlardan tamamen bağımsız bir alternatif dizel yakıtı üretilmektedir. Mikroemülsiyonların setan sayıları, hacimsel ısı değerleri, dizel yakıtına göre daha düşüktür. (Alpgiray, 2006) (Srisvastava & Prasad, 2000) (Erdoğan, 1991)

3.2.1.2. Piroliz

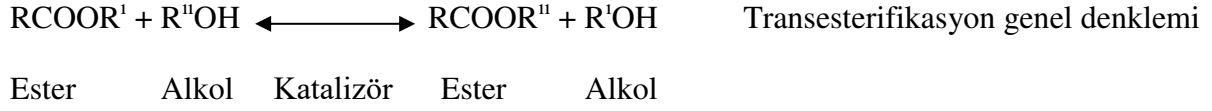
Kraking olarak da bilinen Piroliz metodunda moleküller yüksek sıcaklıklara ısıtılarak ve bu sıcaklıkta bekletilerek Karbon-Karbon ve Karbon-Hidrojen bağlarının koparılmasıyla daha küçük moleküllere parçalanması olayıdır. Bu metot sayesinde yağların viskozitesi ciddi oranlarda düşürülmektedir. Pirolizi organik maddelere yapılan bir ısı işlemi gibi düşünebiliriz. Bitkisel yağlarda piroliz ürünlerini elde edebilmek için iki farklı yöntem mevcuttur. İlk yöntem kapalı bir kaptaki yağı ısıtarak parçalamak, ikinci yöntem ise ASTM distilasyonu ile bitkisel yağı ısıtılarak parçalanma etkisinde tutularak parçalamaktır. Isı etkisiyle parçanmış olan yağdan elde edilen ürünün içeriğinde bulunan oksijenin de ısı etkisiyle alınmasından dolayı özellikleri fosil kaynaklı yakıtların özelliklerine oldukça yakındır. (Srisvastava & Prasad, 2000) (Oğuz, 2004) (Hacıkadıroğlu, 2007) (Yüce, 2008)

3.2.1.3. Seyreltme

Seyreltme yöntemi de diğer iki yöntem gibi yüksek viskoziteye sahip bitkisel yağların viskozite değerini düşürmek için yapılır. Bu yöntemde bitkisel yağlara solvent, etanol veya dizel yakıtı karıştırılarak yağın seyreltilmesi işlemidir. Viskozitenin azaltılabilmesi için ve yakıtın yakıt özelliklerinden uzaklaşmaması için karışımdaki yağ oranını düşük tutulması önemlidir. (Eliçin, 2011) (Hacıkadıroğlu, 2007) (Srisvastava & Prasad, 2000) (Haşimoğlu C. , 2005)

3.2.1.4. Transesterifikasyon

Transesterifikasyon yağların dizel motorlarında kullanılan dizele alternatif bir yakıt olabilmesi amacıyla bitkisel yağın alkolle (monohidrik) bir katalizör yardımıyla tepkimeye girmesi sonucu yeniden esterleştirilmesi sonucunda gliserin ve yağ esterleri oluşturulmasına denir. Bu yöntemle üretilen edilen alkol esterine yani yağ asidi metil esterine biyodizel denilmektedir. Transesterifikasyon yöntemiyle üretilmiş olan biyodizel yakıtı içerisinde bulunan gliserinden ayrıştırıldığı için yağ daha ince bir yapıda olmasını sağlamaktadır. Transesterifikasyon yöntemi viskoziteyi azaltmak için kullanılan en etkili yöntemidir.



Biyodizel üretiminde genellikle alkali bazik katalizörler kullanılır bunlar potasyum hidroksit veya sodyum hidroksittir. Bazik katalizörlerin yanı sıra asidik katalizörler de mevcuttur. (Haşimoğlu C. , 2005) (Srisvastava & Prasad, 2000) (Atmanlı, 2013) (Yüce, 2008) (Karaosmanoğlu, 2002) (Ramadhas, Jayaraj, & Muraleedharan, 2004) (Esteban, Baquero, Puig , Riba , & Rius , 2011) (Mutlu, 2010) (Aksoy, 2010)

3.2.2. Biyodizelin Yakıt Özellikleri

Biyodizel yakıtı karakteristik olarak dizel yakıtına benzerlik göstermektedir. Yağların Transesterifikasyon yöntemi kullanılarak metil ya da etil estere dönüştürüldüğünde molekül ağırlıkları yaklaşık olarak 2/3 oranında azalmaktadır. Bu azalmayla birlikte viskozite değerleride önemli ölçüde azalma göstermektedir. Esterler içeriğinde barındırdıkları oksijenler sebebiyle dizel yakıtına oranla daha iyi bir yanma gerçekleştirmektedir. Dizel yakıtına göre Transesterifikasyon yöntemiyle üretilmiş olan biyodizel yakıtı uçuculuk bakımından iyileştiği için ilk hareket problemleri de azalmaktadır. Biyodizel yakıtının genellikle setan sayısı ve parlama noktası dizel yakıtından daha yüksek olmasına rağmen hacimsel ısı değeri daha düşüktür (Haşimoğlu C. , 2005) (Srisvastava & Prasad, 2000) (Altın, 1998) (Alibaş & Ulusoy, 1995)

Tablo 3.4. Biyodizelin Karakteristik Özellikleri

YAME	Yoğunluk (g/cm ³)	Kinematik viskozite	Alt ısı değeri	Setan sayısı	Parlama Noktası
Fıstık	0,883	4,9	33.600	54	176
Soya	0,885	4,5	39.760	45	178
Ayçiçek	0,88	4,6	40.579	49	183
Dizel(Motorin)	0,86	2,9	42.450	50,8	55

Kaynak: (Haşimoğlu C. , 2005)

Biyodizel yakıtı pek çok farklı kaynaktan yani çeşitli bitkisel ve hayvansal yağlardan ve çeşitli yöntemlerle üretilebildiğinden dolayı karakteristik özellikleri birbirinden farklı

olabilmektedir. Bu durum biyodizel üretiminde belirli sınırlar içerisinde bir standartlaştırılması gerektiğinin bir kanıtıdır. Dünya üzerinde üretilen biyodizel için Almanya, Fransa, İtalya, Avusturya ve ABD'nin belirlemiş olduğu biyodizel standartları mevcuttur. Bu dizel standartlarını dünya üzerinde dizel motoru üretimi yapan Volkswagen, Audi, Mercedes-Benz, John Deere, Ford, Man, Kubota, Skoda, Seat gibi dünyaca ünlü markalar tarafından kabul görmüştür. ABD 'de Standart özelliklerini belirleyen ASTM, Avrupa ülkelerinde ise DIN V 51 606 Standartını kullanılmaktadırlar.

Tablo 3.5. Farklı Ülkelerdeki Biyodizel Standartları

	Birim	Almanya	Fransa	Avusturya	ABD	İtalya
Standart		DIN E 51606		ÖN C 1191	ASTM PS121-99	UNI 10635
Tarih		1997	1997	1997	1999	1997
Uygulama		YAME	BYME	YAME	YAMAE	BYME
Yoğunluk	g/cm ³	0,875-0,90	0,87-0,90	0,85-0,89	-	0,86-0,90
Viskozite	cSt	3,5-5	3,5-5	3,5-5	1,9-6	3,5-5
Damıtma	°C	-	≤360	-	-	≤360
Parlama Nok.	°C	≥110	≥100	≥100	≥100	≥100
Akma Noktası	°C	-	≤-10	-	-	-
Kükürt	% kütle	≤0,01	-	≤0,02	≤0,05	≤0,01
Kül	% kütle	-	-	-	-	≤0,01
Su	mg/kg	≤300	≤200	-	≤%0,05	≤700
Bakır Korozyonu	3h/50 °C	1	-	-	≤No.3	-
Setan Sayısı	-	≥49	≥49	≥49	≥40	-
Asit Sayısı	MgKOH/g	≤0,5	≤0,5	≤0,8	≤0,8	≤0,5
Metanol içeriği	% kütle	≤0,3	≤0,1	≤0,20	-	≤0,2
Ester içeriği	% kütle	-	≥96,5	-	-	98
Monoglisericid	% kütle	≤0,8	≤0,8	-	-	≤0,8
Diglisericid	% kütle	≤0,4	≤0,2	-	-	≤0,2
Triglisericid	% kütle	≤0,4	≤0,2	-	-	≤0,1
Serbest gliserol	% kütle	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,05
Toplam gliserol	% kütle	≤0,25	≤0,25	≤0,24	≤0,24	-
İyot sayısı	-	≤115	≤115	≤120	-	-
Fosfor içeriği	mg/kg	≤10	≤10	≤20	-	≤10
Alkalın (Na,K)	mg/kg	≤5	≤5	-	-	-

Kaynak: (Haşimoğlu C. , 2005)

3.2.2.1. Yoğunluk

Yoğunluk değeri yakıtlarda motorun enjektörlerinin tasarımlarını doğrudan etkiler. Biyodizel yakıtının özelliklede halihazırda kullanılan dizel motorlarında hiçbir değişiklik

yapılmadan sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için belirli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Biyodizelin yoğunluk değerini üretim esnasında kullanılan yöntem, kullanılan yağ kaynağı gibi faktörlere bağlı olarak farklılık göstermekle birlikte yoğunluk değeri genellikle 860-900 kg/m³ aralığındadır. (Sakthivela, Rasmeshb, Purnachandrana, & Shameera, 2018)

3.2.2.2. Viskozite

Viskozite diğer bir değiş ile sıvıların akış karşısında gösterdiği direnç olarak adlandırılabilir. Kinematik viskozite değeri yerçekimi etkisinde dikey bir boru içerisindeki sıvının hareketi sonucunda hesaplanan süredir. Kinematik viskozite değer hesaplaması genellikle 40 °C de yapılmaktadır. Biyodizelin 40 °C’ deki viskozite değeri 3,5-5 mm²/s arasındadır. Biyodizel de viskozite değeri yapısında bulunan hidrokarbon zincirinin uzunluğu ile doğrudan alakalıdır. Zincir uzunluğu arttıkça viskozite değeri artmaktadır. Zincirde bulunan çift bağlar zincir uzunluğunu kısalttığı için ne kadar çok çift bağ içerirse viskozite değeri o kadar düşük olur. Biyodizelin viskozite değerinin yüksek çıkmasının sebeplerinden biriside üretim yapılırken seçilen yöntemin yanlış veyahut da eksik uygulanmasından kaynaklanmaktadır.

Özet olarak viskozite değerinin yüksek olması yanmanın daha kötü bir şekilde gerçekleşmesine ve egzoz emisyonlarının da kötüleşmesine yol açmaktadır. Kötü yanma sonucunda yanma odasında birikintilerin oluşmasına da neden olmaktadır. (Knothe, 2005)

3.2.2.3. Setan Sayısı

Dizel yakıtının önemli bir parametresi olan setan sayısının dizel yakıtlarda olduğu gibi biyodizel yakıtlarda da önemli bir rol oynamaktadır. Dizel motorunda yakılan yakıtın setan sayısının yüksek olması istenir bunun başlıca sebebi setan sayısının yanma odasına alınan yakıtın yanma süresini doğrudan etkilemesiyle alakalıdır. Yanma odasına enjekte edilen yakıtın yanma başlayıncaya kadar geçen süreye ateşlenme gecikmesi adı verilir. Setan sayısının düşük olması dizel motorlarda bazı olumsuzluklara yol açmaktadır. Bunlar; ateşlenme gecikmesinden dolayı motorda parça parça yanmalar gerçekleşir bu yanmalar daha çok patlama şeklinde gerçekleştiğinden motorda vuruntu yapmaktadır. Aynı zamanda düşük setan sayısı eksik yanmalara ve bu eksik yanmalar sonucunda egzoz emisyonlarında kötüleşmelere yol açmaktadır. Biyodizel yakıtının setan sayısını içeriğinde bulunan zincirlerin uzunluğu ve içerdiği yağ asitlerinin doymuşluğu belirlemektedir. Zincirlerin uzunluğuyla ve

yağ asitlerinin doymuşluğu ile doğru oranda setan sayısı da artış göstermektedir. (Sakthivela, Rasmeshb, Purnachandrana, & Shameera, 2018) (Yılcılar, 2020)

3.2.2.4. Isıl Değer

Isıl değer birim miktardaki yakıttan alınan enerji miktarını ifade etmektedir. İçten yanmalı motorlarda genellikle ısı değerinin yüksek olması istenir. Biyodizel yakıtının ısı değeri dizel yakıtına oranla daha düşüktür. Biyodize in ısı değerini belirleyen en önemli ölçü biyodizelin içeriğinde bulunan yağ asidinin doymuşluk oranıdır ayrıca yağ asidinin karbon zincir uzunluğunun artmasıyla biyodizelin ısı değeri doğru orantıda artış göstermektedir. İçten yanmalı motorlarda motorin yakıtı ile alınan enerji miktarının saf biyodizel yakıtı ile alabilmek için biyodizel yakıtından daha fazla miktarda yakılması gerekmektedir (Singha, Sharmaa, Sonia, Sharmaa, & Kumarib, 2019)

3.2.2.5. Parlama Noktası

Parlama noktası uçucu yakıtlarda yakıt buharının tutuşmaya başladığı en düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Biyodizel yakıtında bu değer dizel yakıtından daha yüksektir. Parlama noktası değerinin yüksek olması, biyodizel yakıtının taşınabilirliğini ve depolanabilir olmasını kolaylaştırmaktadır. Dizel yakıtına göre daha güvenilir olarak boru hatlarında taşınabilir ve depolanabilir. ASTM D6751 standartlarına göre biyodizel için belirlenmiş parlama noktası en az 120 °C' dir.

3.2.2.6. İyot Sayısı

İyot sayısı biyodizel yakıtının içeriğinde bulunan yağ asitlerinin doymamışlığına verilen isimdir. İyot sayısı biyodizelin oksidasyon kararlılığını değerlendirebilmek üzere standartlara eklenmiştir. İyot sayısı biyodizelin üretilirken seçilen bitkiye ve bu bitkilerin yetiştirildiği doğaya ve esterlerinin bileşimlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İyot değeri yüksek olan biyodizel yakıtı daha kolay oksidasyona uğrar ve bu istenmeyen bir durumdur. Avusturalya ve Amerika Birleşik Devletleri kalite standartlarına eklenmemiş olmasına rağmen Avrupa standartlarında 120 ile sınırlandırılmıştır. (Yılcılar, 2020)

3.2.2.7. Soğukta Akış Özelliği

Yakıtların standart bir filtreden tıkanmadan geçebileceği minimum sıcaklığa soğuk filtre tıkanma noktası denir. Biyodizel yakıtının akma noktası dizel yakıtından daha yüksektir. Akma noktasının yüksek olması soğukta akış karakteristiğini doğrudan etkilemektedir ve

biyodizel yakıtının dizel yakıtına göre soğukta akış karakteristik özelliği daha düşüktür. (Yılancılar, 2020) (Sakthivela, Rasmeshb, Purnachandran, & Shameera, 2018)

3.2.2.8. Yağlayıcılık

Motor çalışırken motorun parçaları birbirleriyle sürtünürler ve bu sürtünmeden kaynaklı olarak motor parçalarında aşınmalar meydana gelir. Bu aşınmaları en aza indirebilmek adına motora yağ eklenmektedir. Motora eklenen yağın yanı sıra motorda yakılan yakıtın da bir miktar yağlayıcı özellikte olması yakıt pompasının ve piston ve silindir yüzeylerinin aşınmasını geciktirmektedir. Fosil kökenli yakıtların yağlayıcılık özelliğini içerdiği kükürt miktarı belirlemektedir. Yapılan araştırmalarda ve deneylerde fosil yakıtta bulunan kükürtün egzoz emisyonlarını etkilediği ve doğaya oldukça zararlı olduğunu ortaya koymuş olup yeni düzenlemeler getirilmiştir. Bu düzenlemeler de kükürt içeriğinin sınırlandırılmasından dolayı fosil alt yapılı yakıtların yağlayıcılık özelliği önemli ölçüde azalmıştır. Biyodizel yakıtında ise bu durum söz konusu değildir. Çünkü biyodizelin üretimi bitkisel yağlardan yapıldığı için yağlayıcı özellikleri mevcuttur. (Nrel, 2009)

3.2.2.9. Su ve Tortu İçeriği

Biyodizelin saflık değeri, içerisinde bulunan tortular ve su ile doğrudan ilgilidir. Biyodizelin içeriğinde bulunan suya asılı damlacıklar halinde ya da biyodizel de çözünmüş halde bulunur. Biyodizel yakıtında suyun ve tortunun bulunması motorda bazı olumsuzluklara yol açmaktadır. Tortunun bulunması özellikle yakıt hattında tıkanmalara neden olmaktadır. Suyun bulunması ise motoru doğrudan korozyona uğratması sebebiyle motorda aşınmalara yol açmaktadır. (Singha, Sharmaa, Sonia, Sharmaa, & Kumarib, 2019)

3.3. Bütanol

Literatürde bütıl alkol, n-bütanol ve 1-bütanol olarak isimlendirilmiştir ayrıca biyolojik kaynaktan üretilmiş olan çeşidine ise biyobütanol olarak isim verilmiştir. Bütanol yapısında 4 adet karbon bulunduran formülü C_4H_9OH olan bir alkoldür. Renksiz şeffaf bir sıvı fazdadır.

Genellikle kimyasal tepkimelerde çözücü olarak kullanılan bütanol, yanıcı özelliğinden dolayı yakıt olarak da kullanılabilir. (Sevinç, 2018) Alkoller, aldehytler, eter, alifatik ve aromatik hidrokarbonlar, ketonlar gibi pek çok çözücü özellikteki maddelerle karıştırılarak kullanılabilme özelliğine sahiptir. Suyun içerisinde yaklaşık olarak %6,3 kadar çözölebilmektedir. Alkollerin içerdiği oksijen oranı yaklaşık olarak %22 civarındadır bu özelliğinden dolayı dizel yakıtla karıştırıldığında daha verimli bir yanma gerçekleştirir ve

sonuç olarak is kurum oluşturan partiküllerin ve doğaya zararlı CO gibi egzoz emisyonlarının azalmasını sağlar. Setan sayısının düşüklüğü, buharlaşma ısısının yüksekliği ve uzun tutuşma gecikmesi özelliklerinden dolayı alkoller içten yanmalı dizel çevrimli motorlarda doğrudan kullanımını zorlaştırmaktadır. (Kumar, Gupta, Siddiquee, Nagpal , & Kumar, 2015)

3.3.1. Bütanolün Yakıt Özellikleri

Bütanolün birinci ve en önemli yakıt özelliği içermiş olduğu oksijendir. İçeriğinde bulunan oksijen sayesinde daha iyi bir yanma gerçekleştirilmiş olur ve bu yanma sonucunda ortaya çıkan egzoz emisyonları dizel yakıta göre daha düşüktür.

Bütanolün bir diğer yakıt özelliği ise içerisinde bulundurduğu oktan sayısıdır. Oktan sayısı yüksek olan yakıtlarda vuruntu daha azdır, oktan sayısı yakıtın kontrolsüz şekilde erkenden yanmasını engeller.

Bütanolün bir diğer yakıt özelliği ise buhar basıncının düşük olmasıdır. Motoru ilk kez çalıştıracığımız zaman yani motorun soğuk olduğu zamanlarda hava yakıt karışımının buhar basıncının düşük olması çalışmayı kolaylaştırır. Bütanol ise dizel yakıtından daha düşük bir buhar basıncına sahip olması nedeniyle bütanolün buharlaşması daha zordur ve soğuk motorun çalışmasını zorlaştırır. (Bayık, 2010)

3.3.2. Bütanolün İzomerleri

Kapalı formüllerinin aynı olup açık formüllerinin farklı yapıda dallanması olayına izomer denir. (Atmanlı, 2013)

Adı	2 Boyutlu İskelet Yapısı	Kimyasal Yapısı	3 Boyutlu Yapısı
n-bütanol		$\begin{array}{ccccccc} & H & H & H & H & & \\ & & & & & & \\ H & -C & -C & -C & -C & -O & -H \\ & & & & & & \\ & H & H & H & H & & \end{array}$	
sec-bütanol		$\begin{array}{ccccccc} & H & & H & & H & \\ & & & & & & \\ H & -C & - & C & - & C & -O-H \\ & & & & & & \\ & H & & H & & H & \end{array}$	
izobütanol		$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ HO-CH_2-CH_2-CH_3 \end{array}$	
tert-bütanol		$\begin{array}{c} OH \\ \\ H_3C-C-CH_3 \\ \\ CH_3 \end{array}$	

Şekil 3.1: Bütanol ve İzomerlerinin Yapısı

Kaynak: (Hıışır, 2010)

Bütanolün üç tane izomeri bulunmaktadır. Şekil 3.1’de bütanolün ve izomerlerinin kimyasal yapılarıyla birlikte 2 ve 3 boyutlu yapıları da görülmektedir. Bu izomerler karbonların zincir halde dizilimlerine ve bu zincirlere bağlanan hidrojen atomlarının dizilimlerine göre ayrılmaktadırlar, bütün izomerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirlerinden farklılık göstermektedir. Bütanol ve izomerleri de bütün alkollerde olduğu gibi sanayide kullanılmasının yanı sıra yakıt olarak da kullanılabilme özelliğine sahiptir.

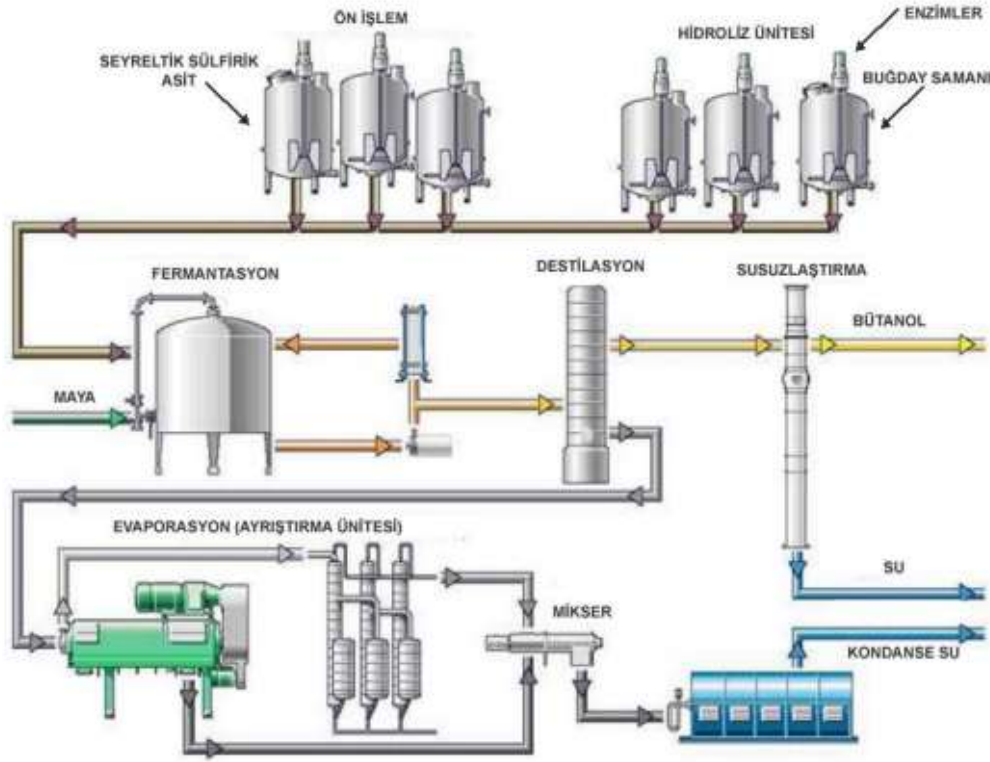
Tablo 3.6. Bütanol ve İzomerlerinin Özellikleri

Özellik/ İzomeri	n-Bütanol	sec-bütanol	izo-bütanol	tert-bütanol
Moleküler ağırlığı (kg/kmol)	74.122			
Diğer Adlandırmaları	1-Bütanol, Bütıl alkol, Metil ol propan	2-Bütanol, sec-Bitil alkol	İzobütıl alkol, İBA,	t-Bütanol, t-Bütıl Alkol, tert-Bütıl alkol
Kaynama Noktası (°C)	117,2	108	99	82
Erime Noktası (°C)	-89,5	-114,7	-108	25
Yoğunluk (kg/m) ³ (20 °C)	802	806,3	802	780,9
Viskozite (mPa s, 20°C)	2,55	3,01	3,95	-
Patlama sınırı (%)	1,4–11,3	1,7–9,0	1,7–10,9	2,4–8,0
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı (°C)	390	406	415	470
Tehlike İşareti				

Kaynak: (Hısrır, 2010)

3.3.3. Bütanol Üretimi

Bütanol de diğer alkoller gibi içeriğinde şeker barındıran bütün biyolojik kaynaklardan üretilmektedir. Bütanol genellikle Aseton-Butanol-Etanol ün kısaltması olan ABE metoduyla üretilmektedir.



Şekil 3.2. Bütanol Üretim Şeması

Kaynak: (Hışır, 2010)

Şekil 3.2’teki şemada bütanol üretimi için buğday samanı örnek olarak gösterilmiş olup buğday samanı ABE yöntemiyle mayalanabilir bir biyolojik maddedir. Buğday samanı öncelikle hidroliz ünitelerine alınır, burada cellulase selülozu sindiren enzim Beta-Glucosidase ve Xylanase gibi enzimler yardımıyla hidrolize edildikten sonra ön işlem tankına gönderilir. Ön işlem tankında pentoz ve hekzan gibi şekerler asit, alkali veya amonyak patlaması tekniklerinden biri kullanılarak elde edilir ve fermentasyon ünitesine gönderilir. Fermentasyon ünitesinde mayalanmanın daha verimli bir şekilde gerçekleşebilmesi için CaCO_3 eklenir. Fermentasyonun başlayabilmesi için ortam sıcaklığının otuz ila otuz yedi santigrat derece arasında olmalıdır. Fermentasyon ortalama 48-50 saat arasında yüzde otuz beş ila kırk beş arasında bir verimle bütanol üretilmektedir. Üretilmiş bütanol destilasyon ünitesinde sıcaklığı düşürülüp birkaç gün bekletildikten sonra susuzlaştıma işlemine hazırlanır. Retifikasyon ünitesinde içinde su bulunan bütanol kaynatılır ama bu kaynatma işlemi suyun buharlaşma sıcaklığı olan $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar ısıtılmadan gerçekleştirilir ve kaynama sıcaklığı daha düşük olan bütanol buharlaşmaya başlar. Yukarı tarafa yükselen bütanol buharı yoğunlaştırıcıya gönderilir ve burada yoğunlaştırılarak bütanol üretilmiş olur. (Hışır,2010).

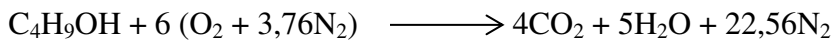
3.3.4. Dizel Yakıtı Olarak n-Bütanol

Sıvı bir biyoyakıt olan bütanol Amerikan çevre koruma örgütünün yayınladığı düzenlemeye göre biokütleden üretilerek elde edilen bütanolün buji ateşlemeli motorlarda modifikasyon yapmadan %11,5 oranında benzin ile karıştırılarak kullanılabileceğini açıklamıştır. Dizel motorlar için bu tarzda bir açıklama veya düzenlemesi bulunmamaktadır. Buna rağmen bütanolün yakıt özelliklerine bakıldığında dizel yakıtına benzer özelliklerinden dolayı dizel yakıtı ile karıştırılarak kullanılabilir. Bu karışımlarda n-Bütanol faz ayrışmasına uğramaz ve ilave katkı maddesine gereksinim duymadan dizel yakıtı içerisinde çok iyi bir şekilde çözünmektedir. n-Bütanol etanole kıyasla soğuk havalarda daha kararludur ve n-Bütanol parlama noktasının yüksek ve buhar basıncının düşük olmasından dolayı yüksek sıcaklıklarda dizel motorlarında kullanımı etanole kıyasla daha güvenlidir ayrıca Etanolün bir yerden başka bir yere nakledilmesi için özel tertibatlı araçlar gerekirken n-Bütanol de hali hazırda kullanılan petrol hatları ile taşıma sağlanabilmektedir. (Atmanlı, 2013)

3.3.5. n-Bütanolün Yanma Denklemi

Kimyasal formülü C_4H_9OH olan Bütanolün $47,7\text{cm/s}$ 'lik bir yanma hızıyla yanmaktadır. Yanma başlangıcı sıcaklığının ve piston silindiri basıncının arttırılmalarıyla doğru orantılı olarak yanma hızını da arttırmaktadır.

Teorik tam yanma



Teorik tam yanmada hava yakıt oranı

$$\frac{H}{Y} = \left[\frac{(6 \times 32) + (22,56 \times 28)}{(4 \times 12) + (10 \times 1) + (1 \times 16)} \right] = \frac{823,68}{74} = 11,130 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Dizel yakıtında hava yakıt oranı kütleli olarak hesaplandığında yaklaşık 14,9 dur.

Aynı koşullar altında yapılan deneylerde hacim olarak aynı miktardaki bütanol ile dizel yakıtının yanmasında dizel yakıtında açığa çıkan enerji miktarı bütanole göre fazladır. Bu sebepten ötürü oluşturulan Dizel n-Bütanol karışımını kullanan motordan aynı efektif gücü alabilmemiz için daha çok karışım yakılması gerekmektedir.

4.LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde kullanmakta olduğumuz dizel motorlarının hemen hemen hepsinde direkt püskürtmeli yakıt sistemi kullanılmaktadır. Bu nedenle motorda kullanılabilecek olan alternatif yakıtın olabildiğince motorine benzer özelliklerde olması istenmektedir. Bitkisel yağların dizel motorlarında doğrudan ve çeşitli yöntemlerle işlenmiş şekilde motorlarda kullanılması üzerine yapılan çok sayıda çalışma vardır. (Vellguth, 1983) (Haşimoğlu C. , 2005)

Bitkisel yağlar üzerine yapılmış olan araştırmalar ışığında, uzun süreli kullanımlarda enjektör memesinde karbon birikmesi, segmanların yapışması, yanma veriminin motorine oranla daha düşük olması ve yağlama yağının katılaşması gibi sorunların oluştuğunu ortaya koyulmuştur. (Yamık, 2002)

Karabaş (2013), yaptığı araştırma sonucunda solvent ekstraksiyon ve soğuk presleme yöntemi ile aspir tohumundan ham aspir yağı elde ettikten sonra mol oranı olarak 1/8 yağ/alkol oranı ve yüzde 1 KOH katalizörü ile 50 °C olan reaksiyon sıcaklığında 60 dakika süren reaksiyonun sonucunda biyodizel yakıtı üretmiştir. Solvent ekstraksiyon yöntemi ile elde etmiş olduğu yağdan üretilen biyodizelin esterleşme oranı %98 iken soğuk pres yöntemi ile elde etmiş olduğu yağdan üretilen biyodizelin esterleşme oranını %95 olarak bulmuştur. (Karabaş, 2013)

Fernandes ve arkadaşları (2012), yapmış oldukları araştırmada direkt enjeksiyonlu dizel motorunda oluşturmuş oldukları pentanol/dizel ve butanol/dizel yakıt karışımlarını yakarak motor performanslarını karşılaştırmışlardır. Yapmış oldukları deneyde motorin yerine yakıt karışımı kullanıldığında alkol ilavesinden kaynaklı motor gücünde düşüş olduğu buna karşın fren termal verimliliğinin ise artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Kullanılan yakıt karışımlarının motor performansında herhangi bir soruna yol açmadığını istatistiksel veri analizi çalışmalarında ortaya koymuş olup bu yakıt karışımlarının motorda herhangi bir modifikasyon yapmaya gerek duyulmaksızın kullanılabileceğini buna rağmen uzun süreli kullanımının araştırılması gerektiğini ortaya koymuşlardır. (Fernandez, Arnal, Gomez, & Dorado, 2012)

Yücesu ve arkadaşları, yapmış oldukları araştırmada mısır, kanola ve haşhaş yağını hiçbir işleme tabi tutulmadan ham haliyle pamuk, soya, ve ayçiçek yağlarını ise önce hiçbir işleme tabi tutmadan ham şekilde, daha sonra da transesterifikasyon yöntemi ile esterleştirdikten sonra direkt püskürtmeli tek silindirli dizel motorunda yakarak motor

performanslarını incelemişlerdir. Yapmış oldukları deneyler neticesinde esterleştirme ile üretilmiş olan biyodizel yakıtının özellikleri ham haline göre iyileştiği ispatlanmıştır. Bunun dışında yapılan deneylerde ham bitkisel yağlar ve biyodizel yakıtı dizel yakıtına göre motor gücünde momentinde ve verimi gibi motor performanslarında düşüşler gözlemlenmiştir. Ham bitkisel yağlarda NO_x emisyonu önemli ölçüde azalmaktadır. Esterleştirilmiş yağlarda ise ham yağlara göre NO_x emisyonunun bir miktar artış gösterdiğini belirtmişlerdir. (Yücesu, Altın, & Çetinkaya, 2001)

Choi ve friends (2015), araştırmalarında direkt püskürtmeli bir dizel motorunda oluşturdukları bütanol motorin yakıt karışımını (%10 ve %20 bütanol-motorin) dizel motorunda yakarak gerçekleştirdikleri deneyde %20 bütanol - motorin karışımında HC ve CO emisyonlarında artış gözlenirken HCOOH ve HCHO emisyonlarında ise çok az miktarda bir artış gözlemlenmiştir. Bu deney sonucunda %20 den fazla kullanılacak olan bütanol - motorin karışımlarında polisiklik aromatik hidrokarbonların yanma esnasında oluşabileceği söylemişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda ise %5 bütanol - motorin karışımının nano partikülleri azaltabilmek için kullanılabilecek en uygun oran olduğunu ortaya koymuşlardır. (Choi, et al., 2015)

Altın ve arkadaşları, yapmış oldukları araştırmada Ayçiçek yağından üretmiş oldukları biyodizel yakıtını doğal emişli, tek silindirli, dört zamanlı dizel motorunda tam yükte yapılan deneyde dizel yakıtına göre biyodizel yakıtının efektif gücü, döndürme momentinde azalma görülürken yakıt tüketimi ve enerji maliyetinde artış görülmüştür ve egzoz emisyonlarının ise biyodizel ve motorinin birbirine yakın olduğunu belirtmişlerdir. (Altın & Balcı, 1998)

Han ve arkadaşları (2016), yapmış oldukları araştırmada bütanol hava karışımını dizel motorda yakması sonucu motorin yakıtına benzer bir verimde çalıştığını ve NO_x emisyonlarında azalma gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Saf bütanol yakıtının yüksek devirlerde motor yükünün arttığı durumlarda ani basınç artışına sebep olduğunu belirtmişlerdir. (Han, Yang, Wang, Tjong, & Zheng, 2016)

Schumacher ve arkadaşları, yapmış oldukları araştırmada soya yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde etmiş oldukları biyodizel yakıtını %10 %20 %30 %40 %50 oranlarında motorin ile karıştırarak elde etmiş oldukları karışımları 6 farklı traktör motorunda yakarak test etmişlerdir. Yapılan bu deneyde CO ve duman emisyonlarında biyodizel yakıt oranı arttıkça azalma görülmüş olup NO_x emisyonunda ise artış olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra biyodizel yakıt oranı arttıkça motor gücünde ve momentinde

azalma olduğunu ve buna bağlı olarak özgül yakıt tüketiminde artış görüldüğünü belirtmişlerdir. (Schumacher, et al., 1993)

Rajesh Kumar ve Saravanan (2015), yapmış oldukları araştırmada bütanol - motorin ve pentanol - motorin karışımlarını dizel motorunda test ederek emisyon ve motor performansını analiz etmişlerdir. Yapmış oldukları deneyde alkol motorin karışım oranı %40 alkol %60 motorin olarak seçilmiş olup oluşturulan bu karışımları sabit hızda yüksek devirde ve iki farklı enjeksiyon püskürtme açısında (21° ve 23°) testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu testler ışığında bütanol-motorin karışımı pentanol – motorin karışımına göre tutuşma gecikme süresi daha fazla olduğu ve maksimum basıncı daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. 21° püskürtme açısında yapıdan deneyde bütanol motorin yakıt karışımının egzoz emisyonlarında NO_x miktarının %41.7 oranında ve duman miktarının ise %90.8 oranında bir iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir. Pentanol motorin yakıt karışımında ise NO_x emisyonunda %39.3 ve duman miktarında ise %15 iyileşme görülürken motor performansında bir miktar azalma gözlemlemişlerdir. (Kumar & Saaravanan, 2016)

Li ve friends. (2015), yapmış oldukları araştırmada direkt püskürtmeli tek silindirli dizel motorunda biyodizel - pentanol ve dizel - pentanol karışımlarının egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda pentanol - biyodizel ve pentanol - dizel yakıt karışımlarında saf biyodizel ve saf dizele oranla yanma sonucunda elde edilen termik verimin karışım yakıtlarda daha yüksek olduğunu, bununla beraber karışım yakıtlarda NO_x emisyonlarında da önemli miktarda düşüşler gözlemlenmiştir. (Li, Wang, Wang, & Xiao, 2015)

Oğuz (2004), yapmış olduğu araştırmasında fındık yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde etmiş olduğu biyodizel yakıtını direkt püskürtmeli dört zamanlı dört silindirli bir dizel motorunda tam yükte test etmiştir. Yapılan deney sonucunda biyodizel yakıtında dizel yakıtına oranla motor gücü benzerken özgül yakıt tüketimi %10,2 artmıştır ve motor döndürme momentinde %9,3 lük bir azalma gözlemlemiştir. Hesaplanan toplam verimde ise biyodizel yakıtının verimi dizel yakıtına oranla daha düşük çıkmıştır. Egzoz emisyonlarında biyodizel yakıtında CO emisyonları yüksek ve düşük hızlarda azalma gösterirken orta hızlarda ise artış göstermiştir. CO₂ emisyonunda ise %10,64 azalma görülürken HC emisyonunda 5 kata kadar bir artış gözlemlediğini belirtmiştir (Oğuz, 2004)

Chen ve ark. (2014), yapmış oldukları araştırmada hazırlamış oldukları n-bütanol motorin karışımlarının direkt püskürtmeli tek silindirli dizel bir motorda test ederek motor

karakteristik özelliklerini egzoz emisyonlarını ve motorda bıraktığı etkileri incelemişlerdir. Bu deney sonucunda Egzoz gaz sirkülasyonunun artmasıyla NO_x emisyonunda azalma duman emisyonlarında ise artış görülmüştür. n-bütanol oranı yakıt karışımında arttırıldığında ise NO_x emisyonlarında az bir miktar artış olurken duman emisyonlarında ise azalma gözlemlenmiştir. (Chen, Yu, Li, & Huang, 2012)

Da Silva ve arkadaşları, yapmış oldukları araştırmada Ayçiçek yağından ürettikleri biyodizel yakıtını dizel yakıtıyla birlikte karışım oluşturarak turbo aşırı doldurmalı 4 zamanlı 6 silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Yaptıkları bu deneyde biyodizel dizel yakıt karışımında %5 biyodizel %95 dizel ve %30 biyodizel %70 dizel yakıtı karışımlarını test etmişlerdir. Bu deneyler sonucunda özgül yakıt tüketiminde ve motor performanslarında saf dizel yakıtına yakın değerler elde edilirken biyodizel ilavesinin artmasıyla egzoz emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Yüksek yüklerde biyodizel ilavesinin artmasıyla birlikte CO emisyonunda azalma görülürken NO_x emisyonunda ise saf motorin yakıtına göre önemli bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. (Da Silva, Prata, & Teixeira, 2003)

Atmanlı ve ark. (2015) yapmış oldukları araştırmada pamuk yağından üretmiş oldukları biyodizel yakıtı ile dizel yakıtı ve n-bütanol' ü üçlü karışımlar halinde dizel bir motorda test ederek motor karakteristik özelliklerini ve egzoz emisyonlarındaki değişimleri incelemişlerdir. Biyodizel yakıtını en fazla %30 oranında kullanmıştır. Yapmış oldukları deney sonucunda üçlü yakıt karışımında n-bütanol miktarı arttıkça viskozite ve yoğunluk değerlerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Buna rağmen n-bütanol oranının artmasıyla ısı değeri ve setan sayısı azalmıştır. (Atmanli, İleri, & Yuksel, 2015)

Zhang ve ark., yapmış oldukları araştırmada 4 farklı katalizör kullanarak biyodizel üretimi yapmışlar ve üretmiş oldukları biyodizellerin maliyet hesap analizlerini yapmışlardır. Yapmış oldukları hesaplamalar neticesinde bazik katalizör ile üretilmiş olan biyodizelin üretim maliyetinin 0,59\$/lt olarak hesaplamışlardır. Bunun yanı sıra hesaplamalar sonucunda üretim maliyetinin ana payının ham madde fiyatlarından kaynaklandığını ve maliyetlerin düşürülebilmesi kullanılmış atık yağlardan üretim yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. (Zhang, Dube, Mclean, & Kates, 2003)

Khanahmadzadeh (2012), yapmış oldukları araştırmada aspir bitkisinden elde ettikleri yağdan üretmiş oldukları biyodizel yakıtının kinematik viskozite değerini 4,27 mm²/s olarak hesaplamıştır. Hesaplamış olduğu kinematik viskozite değeri ASTM D6751 standartlarında belirtilmiş olan kabul gören biyodizel viskozite değer aralığında olduğunu göstermiştir.

Ayrıca üretmiş oldukları biyodizelin parlama noktasını 173 °C olarak bulmuştur. Bulmuş olduğu bu değer ise ASTM D6571 standartlarında belirtilmiş olan değerden yüksek bulunmuştur. (Khanahmadzadeh & Khanahmadzadeh, 2012)

Rajasekar V. (2016) yapmış olduğu araştırmada üretmiş olduğu biyodizel yakıtına pentanol ve bütanol ile karıştırarak elde etmiş olduğu yakıt karışımlarını dizel motorunda test etmişlerdir. Yapmış oldukları deneyde motor performansları incelenmiştir. Bu deney sonucunda saf biyodizele göre alkol biyodizel karışımlarında özgül enerji tüketimi daha düşüktür. Bunun dışında alkol biyodizel karışımlarında NO_x ve egzoz emisyonlarında azalma olduğunu belirtmiştir. Ayrıca yapılan hesaplamalar sonucunda alkol biyodizel karışımlarında termik verimin artış gösterdiği ortaya konulmuştur. Bütanol ve pentanol gibi alkollerin kullanımı motor performanslarında artış sağlamıştır. Yapmış olduğu deneyler ışığında bütanol ve pentanolün özelliklerine uyum sağlayacak şekilde motorda yapılacak modifikasyonlar sayesinde motor performanslarının daha da iyi olacağını vurgulamıştır. (Rajasekar, 2016)

Zhang ve Balasubramanian (2014), yapmış oldukları araştırmada hurma yağından üretmiş oldukları biyodizel yakıtını bütanol ve düşük sülfürlü dizel yakıtı ile farklı oranlarda hazırlamış oldukları karışımları bir dizel motorda test etmişlerdir. Yapmış oldukları bu deneyde biyodizel ile ultra düşük sülfürlü dizel yakıtını %20 biyodizel %80 dizel olacak şekilde hazırladıktan sonra bu karışıma sırasıyla %5 %10 ve %15 bütanol ilavesinde bulunarak üçlü karışımla hazırlamışlardır. Yapmış oldukları testlerin sonucunda biyodizel dizel karışımında egzoz emisyonlarında ve partikül madde miktarlarında önemli miktarlarda azalmalar görülmüş olup bunun yanı sıra üçlü yakıt karışımındaki bütanol ilavesinin miktarıyla doğru orantılı olarak organik karbon miktarında artış olduğunu belirtmişlerdir. (Zhang & Balasubramanian, 2014)

Antolin ve arkadaşları, yapmış oldukları araştırmada biyodizel üretiminde optimum şartları belirlemeye çalışmışlardır ve direkt püskürtmeli dizel motorunda ayçiçek yağından üretmiş oldukları biyodizel yakıtını test etmişlerdir. Yapmış oldukları bu deney sonucunda hem kısa süreli biyodizel kullanımında hemde uzun süreli biyodizel kullanımında dizel motorlarında herhangi bir modifikasyona gerek kalmaksızın kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Yapmış oldukları testler ışığında biyodizel yakıtının egzoz emisyonlarının dizel yakıtına göre bir miktar iyileşme olduğunu ve duman emisyonlarının ise belirli oranlarda azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminde optimum şartlar için stokiyometrik miktarın 3 katı kadar metil alkol, ayçiçek yağının

ağırlığının %0.28 i kadar KOH katalizör ile 70 °C de reaksiyon sıcaklığıyla üretmiş oldukları biyodizel de verimin %94 olduğunu belirtmişlerdir. (Antolin, et al., 2002)

Işık ve arkadaşları. (2016), yapmış oldukları araştırmada kanola ve aspir yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretmiş oldukları biyodizel yakıtını dizel yakıtı ile karışım haline getirerek turboşarjlı bir dizel motorda test ederek motor performansına ve egzoz emisyonlarındaki değişimleri incelemişlerdir. Biyodizel üretimini yağ miktarının %20 si kadar metanol ve bazik katalizör olan NaOH ile 55 °C de reaksiyona sokarak elde etmişlerdir. Üretmiş oldukları biyodizelin kinematik viskozitesi dizel yakıtının kinematik viskozite değerine göre yüksek olduğunu belirtmişler. Üretilmiş olan kanola ve aspir biyodizelleri hacimce %50 biyodizel %50 dizel olacak şekilde karışım haline getirildikten sonra turbo şarjlı dizel motorda yakarak test işlemine tabii tutulmuştur. Yapmış oldukları deney ışığında özgül yakıt tüketimlerinin biyodizel dizel yakıt karışımında dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Egzoz emisyonlarına bakıldığında ise Biyodizel yakıt karışımlarında HC emisyonunda azalma görülürken CO ve CO₂ emisyonlarında artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca motor yükünün artmasıyla doğru orantılı olarak NO_x emisyonunun da artış gösterdiğini belirtmişlerdir. (Işık, Bayındır, Işcan, & Aydın, 2016)

Ashok ve arkadaşları (2019), yapmış oldukları araştırmada biyodizel yakıtına n-pentanol ilave ederek oluşturdukları yeni yakıt karışımını tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda test ederek egzoz emisyonları, motor performansları ve yanma özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Oluşturdukları %10 %20 %30 %40 ve %50 pentanol biyodizel karışımlarıyla yapılan testler neticesinde yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimlerinin motorine kıyasla daha fazla olduğunu, saf biyodizele kıyasla daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Egzoz emisyonlarına bakıldığında ise yakıt karışımlarında CO₂ ve HC emisyonlarında iyileşme olduğunu belirtmişlerdir. (Ashok, et al., 2019)

Nosheena ve arkadaşları (2014), yapmış oldukları araştırmada aspir yağından üretilecek olan biyodizel yakıtını en verimli şekilde üretilebilmek adına çalışmalarda bulunmuşlardır. Yaptıkları deneylerde HNMR metoduyla aspir yağının 1/6' sı kadar metil alkol ve aspir yağının %0.5' i kadar katalizör ile 65 °C de reaksiyona sokularak ürettikleri biyodizelin %97.84 verimlilikte olduğunu belirtmişlerdir. (Nosheena, Banob, & Alic, 2014)

İçingür ve Yamık (2003), yapmış oldukları araştırmada ayçiçek yağından metil ve etil alkol kullanarak ürettikleri biyodizel yakıtını bir dizel motorunda yakarak test etmişlerdir. Yapmış oldukları deney sonucunda maksimum moment değerinde metil alkol kullanılarak

ve motor performanslarındaki değişimleri incelemişlerdir. Yaptıkları deneyde farklı oranlarda n-bütanol ile dizel yakıtından oluşan karışım örnekleri ve bütanol fumigasyonları örnekleri hazırlamışlardır. Yapmış oldukları deneyler ışığında hazırlamış oldukları örneklerin hepsinde egzoz sıcaklıklarında düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca motor gücünde ve momentinde bir miktar azalma görülmüştür. Karışım yakıtlarda bununla birlikte özgül yakıt tüketiminde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca dizel yakıtına eklenen n-bütanol ile hazırlanmış olan yakıt karışımının maliyetinin saf dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. (Şahin, Durgun, & Aksu, 2015)

Oğuz ve ark., yapmış oldukları araştırmada üç silindirli dört zamanlı doğal emişli bir dizel motorunda ayçiçek yağından viskozite seyreltme yöntemi kullanılarak ürettiği numuneyi test etmişlerdir. Yapmış oldukları deneylerin sonucunda motor performanslarını ve egzoz emisyonlarındaki değişimi incelemişlerdir. Yapılan deneylerin ışığında özgül yakıt tüketiminin, dizel yakıtına oranla daha kötü olduğunu ve egzoz emisyonlarında ise iyileşme olurken motor performansında ise önemli bir değişikliğin olmadığını belirtmişlerdir. (Oğuz, Demir, & Acaroğlu, 2000)

Özçelik ve Ögüt (2011), yapmış oldukları araştırmada aspir bitkisinden elde edilen aspir yağını transesterifikasyon yöntemi kullanılarak biyodizel ürettiği biyodizel yakıtını, %2 biyodizel %98 dizel yakıt karışımını ve %20 biyodizel %80 dizel yakıt karışımlarını direkt püskürtmeli tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorunda test ederek egzoz emisyonlarındaki ve motor performanslarındaki değişiklikleri incelemişlerdir. Yapmış oldukları deneyde hazırlamış oldukları yakıtları 100 saat boyunca çalıştırmışlar ve bu deney sonucunda yakıtların en düşük özgül yakıt tüketiminin 1800 dev/dk. da olduğunu gözlemlenmiştir. Dizel biyodizel yakıt karışım yakıtlarında egzoz emisyonlarında CO₂ emisyonunu motorin ile kıyaslandığında daha yüksek olduğunu gözlemlenmiştir. SO₂ emisyonunun en düşük seviyesi ise saf biyodizel yakıtında olduğunu gözlemlenmiştir. Bununla beraber NO_x emisyonlarına baktıklarında ise artış gözlemlenmiştir. Ayrıca yaptıkları deneyler sonucunda biyodizel yakıtının motorin yakıtına oranla motorda bırakmış olduğu aşınma miktarının daha fazla olduğunu ancak bu aşınmanın makul seviyede olduğunu belirtmişlerdir (Özçelik & Ögüt, 2011)

Çanakçı ve ark., yapmış oldukları araştırmada, soya yağından ürettiği biyodizel yakıtını hem saf biyodizel olarak hem de biyodizel - dizel yakıt karışımı halinde dört zamanlı dört silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Yapmış oldukları deneyler neticesinde biyodizel yakıtının ısı veriminin dizel yakıtının veriminden daha düşük

olmasından dolayı biyodizel yakıtının özgül yakıt tüketimi hem biyodizel dizel yakıt karışımından hem de dizel yakıtından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Egzoz emisyonları incelendiğinde ise biyodizel yakıtında ve yakıt karışımında önemli derecede iyileşme gözlemlediklerini belirtmişlerdir. (Çanakçı & Van Gerpen, 2001)

Choi ve ark. (2015), yapmış oldukları araştırmada dizel yakıtına belirli oranlarda bütanol ilavesiyle elde ettikleri yakıt karışımlarını bir turbo şarjlı 4 zamanlı 4 silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada bütanol çeşitlerinden n-bütanol ü kullanmışlardır. %10 bütanol-%90 dizel karışımına BU10, %20 bütanol %80 dizel karışımına ise BU20 olarak isimlendirmişlerdir. Yapmış oldukları deneylerde motor performansı ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Yaptıkları deneyler ışığında BU10 yakıtı ve BU20 yakıtının motor performansı saf motorine göre sırasıyla %98 ve %96 seviyesinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu verilerden yola çıkarak bütanol ilavesi arttıkça yakıt karışımlarının ısı değerlerinde azalma olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Egzoz emisyonu değerlerine bakıldığında karışımlardaki bütanol miktarıyla doğru orantılı olarak HC emisyonunda da artış olduğu gözlemlenmiştir. Oluşturulan yakıt karışımlarının setan sayılarının saf motorinden daha düşük olduğu ve bütanol ilavesiyle buharlaşma ısısında yükselme olmasından dolayı %20 bütanol ilavesinde özellikle düşük yüklerdeki HC emisyonu saf dizel yakıtından daha yüksek olduğu ölçülmüştür. Yakıt karışımlarının CO emisyonlarında karışım yakıtlarda iyileşme görülürken NO_x emisyonunda ise dizel yakıtına oranla yüksek olduğu görülmüştür. Partikül madde miktarı ölçümünde ise yakıt karışımlarında dizel yakıtına oranla önemli ölçüde azalma olduğunu belirtmişlerdir. (Choi, et al., 2015)

Dorado ve ark. yapmış oldukları araştırmada atık zeytin yağlarından transesterifikasyon yöntemiyle üretmiş oldukları biyodizel yakıtını direkt püskürtmeli dört zamanlı üç silindirli bir dizel motorunda yakarak test etmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmalarında ürettikleri biyodizel yakıtının dizel motorunda motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişimler incelenmiştir. Yaptıkları deneyler sonucunda üretmiş oldukları biyodizel yakıtının SO₂, CO ve CO₂ egzoz emisyonları saf dizel yakıtına oranla sırasıyla %57,7, %58,9 ve %8,5 oranlarında iyileşmeler olurken NO_x emisyonlarında ise %32 oranında kötüleşme olmuştur. Yaptıkları hesaplamalar sonucunda özgül yakıt tüketiminde kötüleşmelerin olduğunu ama egzoz emisyonlarındaki iyileşmeler göz önünde bulundurulduğunda bu kötüleşmenin kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir. (Dorado, Ballesteros, Arnal, Gomez, & Lopez, 2003)

Yılmaz ve ark. (2014), yapmış oldukları araştırmada atık mutfak yağlarından transesterifikasyon yöntemiyle ürettikleri biyodizel yakıtıyla bütanol yakıt karışımını saf dizel ile ayrı bir karışım şeklinde hazırlamışlardır. Hazırladıkları yakıt karışımlarını bir dizel motorda test etmişlerdir. Yapmış oldukları deneyde egzoz emisyonlarını ve motor performanslarını incelemişlerdir. Yaptıkları deneylerde 0 – 6 kW aralığında dört farklı yükte hazırladıkları yakıt karışımlarını test etmişlerdir. Hazırladıkları yakıt karışımları şu şekildedir, %95 biyodizel %5 bütanol, %90 biyodizel %10 bütanol ve %80 biyodizel %20 bütanol karışımları hazırlanmıştır. Saf biyodizel yakıtı biyodizel bütanol yakıt karışımları ile karşılaştırılırsa nitrit oksit miktarı ve egzoz gaz sıcaklığı daha yüksek, karbonmonoksit ve yanmamış hidrokarbon miktarının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Biyodizel yakıtına bütanol ilavesinin %10 a kadar olan yakıt karışımlarının dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında CO emisyonları daha düşük, NO_x emisyonlarının ise daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Biyodizel bütanol yakıt karışımlarında bütanol ilavesinin miktarı arttıkça NO_x emisyonunda azalma HC ve CO emisyonlarında ve özgül yakıt tüketiminde artış gözlemlemişlerdir. (Yılmaz, Vigil, Benalil, Davis, & Calva, 2014)

Monyem ve ark., yapmış oldukları araştırmada soya yağından ürettikleri biyodizel yakıtını dizel yakıtıyla karışım haline getirerek direkt püskürtmeli dört zamanlı dört silindirli bir turbo aşırı doldurmalı dizel motorunda test etmişlerdir. Yapılan testlerde %80 biyodizel %20 dizel yakıt karışımını kullanmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda saf biyodizel yakıtının ve oluşturulan yakıt karışımının saf dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında ısı verimlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğunu ancak özgül yakıt tüketimlerinin daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Egzoz emisyonlarına bakıldığında ise CO ve HC emisyonlarında önemli ölçüde azalmalar görülürken NO_x emisyonunda ise artış gözlemlemişlerdir. (Monyem & Gerpen, 2001)

Anwar ve Rashid (2008), yapmış oldukları araştırmada transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminde en uygun oranlar üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları deneylerde en uygun oranları bulabilmek için alkol:yağ mol oranı 1/3, 1/6, 1/9, 1/12, 1/15 ve 1/18 oranlarında, 30 °C , 45 °C ve 60 °C olmak üzere 3 farklı reaksiyon sıcaklığında ve 180,360 ve 600 rpm karıştırma hızıyla karıştırarak reaksiyona sokulmuştur. Ayrıca katalizör oranı ise %0,25, %0,50, %0,75, %1, %1,25, %1,50 oranlarında ve katalizör olarak NaOH, NaOCH₃, KOH, KOCH₃ kullanılarak reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretimi için aspir yağını seçmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda transesterifikasyon yöntemiyle ürettikleri biyodizeller içerisinde en uygun reaksiyon sıcaklığını 60 °C ve 600 rpm karıştırma hızında

yapılan, 1/6 mol oranında metanol, aspir yağı ile katalizör olarak %1 oranında NaOCH₃ ile üretilen biyodizelin veriminin %98 olduğunu belirtmişlerdir. (Anwar & Rashid, 2008)



5.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmesi ve üretilen biyodizel yakıtını euro dizel yakıtı ve n-bütanol ile belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen karışımların motor performansları ve egzoz emisyonları araştırılmıştır. Biyodizel üretimi için bazik katalizör olan sodyum hidroksit (NaOH) seçilmiştir. Deneylerde kullanılan n-bütanol, metanol ve euro dizel yakıtı OMS Vibro Hammer A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Motor performansı ve egzoz emisyonlarının tespiti ile ilgili deneysel çalışmalar ise MAM (Marmara Araştırma Merkezi) 'da bulunan motor test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir.

5.1. Materyal

5.1.1. Biyodizel Üretimi

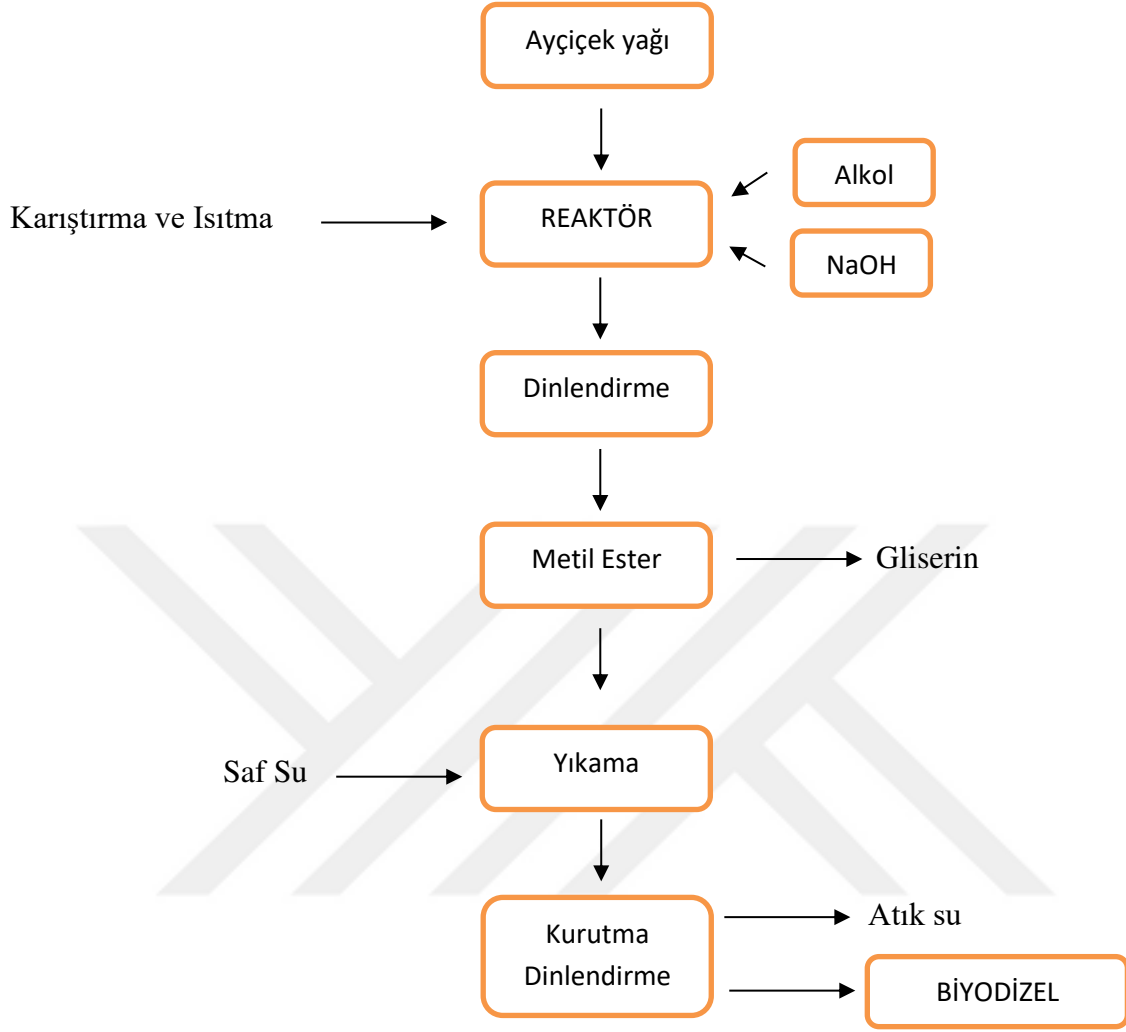
Ayçiçek yağından biyodizel üretme işlemi OMS Vibro Hammer A.Ş. laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılmamış ayçiçek yağından biyodizel üretiminin esası bitkisel yağın alkol ile katalizör eşliğinde reaksiyona sokulmasıdır. Biyodizel üretimi için kritik bir durumda katalizörün doğru seçilmesidir. Literatürde bazik katalizörlerin kullanılmasıyla biyodizel üretiminde yağın biyodizele dönüşüm oranının arttığı ve reaksiyon süresinin ise kısaldığı belirlenmiştir. Transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretiminde bazik katalizörün aynı miktardaki asidik katalizöre oranla yaklaşık 4 bin kat daha hızlıdır. Optimum reaksiyon sıcaklığı karşılaştırıldığında ise bazik katalizörler daha düşük sıcaklıklarda reaksiyon gerçekleştirmektedirler. Literatür araştırmasına göre transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde bitkisel yağın mol oranınca 6' da 1' i kadar alkol önerilmektedir. Bazik katalizörün kullanıldığı transesterifikasyon yönteminde 90 dakika reaksiyon süresince bitkisel yağ %98' e kadar varan oranlarda esterleşmektedir. Esterleşme gerçekleşikten sonra ise değişik yöntemler ile saflaştırma işlemi uygulanabilmektedir. (Altın, 1998) (Srisvastava & Prasad, 2000) (Oğuz, 2004) (Haşimoğlu C. , 2005)

Bu çalışmada bazik karakteristik yapısına sahip olan sodyum hidroksit (NaOH) katalizör olarak seçilmiştir. Reaksiyon ise 1 saat boyunca 58 °C ile 60 °C arasında tutularak gerçekleştirilmiştir. Alkol olarak ise metil alkol kullanılmış olup deneyler esnasında kişisel koruyucu ekipmanlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

1. Ayçiçek yağı ısıtılarak 58 °C – 60 °C arasında termostat yardımı ile reaksiyon gerçekleşme süresi olan 90 dk. boyunca sabit tutuldu ve termometre yardımıyla termostattın doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilip düzgün şekilde çalıştığı

anlaşıldı ve son olarak yağın her tarafının eşit bir şekilde ısınabilmesi için bir karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır.

2. Ayrı bir kapta hacimce kullanılan yağın 1/5' i kadar metanol ile yağ miktarının litre başına 3,5 gr NaOH katalizörü metanol' ün içerisinde çözünmesi için hafifçe karıştırılarak çözüldükten sonra reaksiyon için önceden ısıtılmış yağın içerisine ilave edildi.
3. Karışımın sıcaklığı reaksiyon süresince 58 – 60 °C aralığında tutulması şartıyla, dakikada 1400 devir dönen bir karıştırıcı yardımı ile karıştırılarak 90 dakika boyunca reaksiyonun gerçekleşmesi beklenildi.
4. Reaksiyon tamamlandıktan sonra bekleme kabına alınan biyodizel yakıtı gliserinden ayrılması için bekletildi. Daha sonra ayırma hunisi yardımıyla biyodizel ve gliserin ayrıştırıldı.
5. Ham biyodizelin içerisinde kalmış olan artık alkol ve katalizör gibi atıklarının da temizlenmesi için ham biyodizel saf su ile yıkama işlemine tabii tutuldu. Yıkama işlemine tabii tutulduktan sonra 24 saat süre ile dinlendirilerek biyodizel yakıtı ile saf suyun birbirinden ayrışması beklendi ve bunun üzerine saf su ile biyodizel ayrıştırıldı. Ayrıştırıldıktan sonra biyodizelin içerisinde kalabilecek suyu da uzaklaştırabilmek amacıyla biyodizel yakıtını 100 °C ye kadar ısıtılarak suyun buharlaşması için 45 dakika bu sıcaklıkta bekletildi ve biyodizel oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı.



Şekil 5.1. Biyodizel Üretim Şeması

Kaynak: (Yılancılar, 2020)



Şekil 5.2. Dinlenmeye Bırakılan Biyodizel



Şekil 5.3. 4 Saat Dinlendirilmiş Biyodizel



Şekil 5.4. 36 Saat Dinlendirilmiş Biyodizel

5.1.2. Biyodizel Özellikleri

Üretilen yakıtlar ve yakıt karışımlarından alınan numuneler Tübitak MAM' da analiz edilmiş olup tablo 5.1. de verilmiştir.

Tablo 5.1. Biyodizel ve Dizel Yakıtının Karakteristik Özellikleri

Özellikler	Dizel Yakıtı	Biyodizel
Kinematik viskozite (40°C)	3,1	4,581
Alt ısııl değeri (Mj/Kg)	43,5	38,49
Yoğunluk 15°C Kg/l	835	876,8
Alevlenme Noktası (°C)	59	134,8
Setan indeksi (hesaplanmış)	50	50

Elde edilmiş olan Biyodizel yakıtının setan indeksinin belirlenmesinde ASTM D976-91 standartlarındaki formül kullanılmıştır (Standard Test Methods for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels, 2001)

$$454,74 - (1641,416 \times D) + (774,74 \times D^2) - (0,554 \times B) + 97,803 \times (\log B)^2 \quad (5.1)$$

D: Biyodizelin 15 °C 'deki yoğunluk değeri

B: Biyodizelin yarısının damıtıldığı sıcaklık değeri

Biyodizel yakıt örneğinin damıtılma sıcaklığının belirlenmesi işlemi ASTM D-976 standartlarına göre Tübitak MAM’ da gerçekleştirilmiş olup sıcaklık değeri 342 °C olarak bulunmuştur. Sıcaklık ve yoğunluk değerlerini denklemde yerine konularak biyodizelin setan indeksi bulunmuştur.

5.1.3. Deney Motoru

Tübitak MAM bünyesinde bulunan 4 silindirli 4 zamanlı turbo şarjlı bir dizel test motoru ile yapılmıştır. Deney düzeneğinin genel görüntüsü Şekil 5.5 de görüldüğü gibidir. Deney motorunun teknik özellikleri tablo 5.2. ‘de verilmiştir.

Tablo 5.2. Deney Motoru Özellikleri

Marka ve model	Ford XLD 418T
Çalışma prensibi	4 zamanlı
Silindir Sayısı	4
Strok (mm)	82 mm
Silindir Çapı (mm)	82,5 mm
Silindir Hacmi	1,8 litre
Motor Gücü	44 kW
Motor Momenti	110 Nm



Şekil 5.5. Test Motoru Genel Görünümü

5.1.4. Dinamometre

Deneylerde kullanılan motorun devrini ve dönme momentini ölçen kemsan marka elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Dinamometrenin teknik özellikleri Tablo 5.3. de verilmiştir. Ölçümlere başlanmadan önce dinamometre kalibre edilmiştir.

Tablo 5.3. Dinamometre Özellikleri

	Ölçüm Aralığı (Min-Max)	Hassasiyet
Motor Gücü (dev/dk.)	0-7500	1
Döndürme Momenti (Nm)	0-999	0,1

5.1.5. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazları

Egzoz gazlarındaki kirleticilerin belirlenmesi amacıyla iki adet egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmaktadır. Bu cihazlardan Sun MGA 1200 serisi egzoz emisyon ölçüm cihazı CO, NO_x, SO₂, O₂, CO₂ değerlerinin ölçümünü sağlarken Bosch marka emisyon cihazı ise duman yoğunluğunun ölçümü için kullanılmıştır. Emisyon cihazları Şekil 5.6.' da görüldüğü gibidir. Emisyon cihazlarının teknik özellikleri Tablo 5.4.' de verilmiştir.



Şekil 5.6. Egzoz Emisyon Cihazları (Sun MGA 1200 ve Bosch BE 170)

Tablo 5.4. Emisyon Cihazları Teknik Özellikleri

Parametre	Ölçüm aralığı	Hassasiyet (%)
CO	%0-10	0,01
CO ₂	%0-20	0,01
O ₂	%0-21	0,1
HC	0-20000	1
NO _x	0-5000	1

5.1.6. Yakıt Ölçümleri

Motordaki yakıt tüketiminin ölçümü Bad was marka 0,01 gram hassasiyet ile çalışan bir terazi ile 0,01 s hassasiyetle ölçüm yapan bir elektronik kronometre yardımıyla yapılmıştır.



Şekil 5.7. Hassas Terazi

5.1.7. Deney Yakıtları

Hazırlanan yakıt karışımları ve bu karışımların oranları Tablo 5.5 de verilmiştir.

Tablo 5.5. Yakıt Karışımlarının Yüzdeleri

Karışım Adı	Dizel oranı (%)	Biyodizel oranı (%)	n-Bütanol oranı (%)
D100	100	0	0
B100	0	100	0
B95Bu5	0	95	5
B90Bu10	0	90	10
D50B50	50	50	0
D47,5B47,5Bu5	47,5	47,5	5
D45B45Bu10	45	45	10



Şekil 5.8. %100 Biyodizel Yakıtı



Şekil 5.9. %95 Biyodizel %5 n-Bütanol Yakıt Karışımı



Şekil 5.10. %90 Biyodizel %10 n-Bütanol Yakıt Karışımı



Şekil 5.11. %50 Biyodizel %50 Dizel Yakıt Karışımı



Şekil 5.12. %47,5 Biyodizel %47,5 Dizel %5 n-Bütanol Yakıt Karışımı



Şekil 5.13. %45 Biyodizel %45 Dizel %10 n-Bütanol Yakıt Karışımı



Şekil 5.14. Deney Yakıtları



Şekil 5.15. n-Bütanol

5.1.8. Karışımların Hesaplanan Yakıt Özellikleri

Hazırlanan yakıt karışımlarının bilinen dizel, biyodizel ve n-bütanol yakıt özelliklerinden yararlanılarak, Kay karışım kuralına göre alt ısı değeri, yoğunluk ve setan sayıları hesaplanmıştır. Kinematik viskozite değerleri ise denklem 5.5’ de verilen Arrhenius karışım kuralına göre hesaplanmıştır (Schoo & Hoxie, 2012) (Verduzco, Rodriguez, & Jacob, 2012) (Siwale, et al., 2013)

- Alt Isıl Değeri Hesaplanması

Karışımların alt ısı değerlerini Kay karışım kuralına göre 5.2 de verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır

$$Hu_k = \sum_{n=1}^n (x_n \rho_n Hu_n) / \sum_{n=1}^n (x_n \rho_n) \quad (5.2)$$

Hu_k : Alt ısı değeri (Mj/kg)

Hu_n : Karışım içerisindeki bilinen yakıtların alt ısı değerleri

- Yoğunluk Hesaplanması

Hazırlanan karışımların yoğunluk değerlerini Kay karışım kuralına göre 5.3 de verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\rho_k = \sum_{n=1}^n (x_n \rho_n) \quad (5.3)$$

ρ_k : Karışımın yoğunluğu

ρ_n : Karışım içerisindeki yakıtların bilinen yoğunluk değeri

x_n : Hacimsel karışım oranı

- Setan Sayısının Hesaplanması

Hazırlanan karışımların setan sayılarını Kay karışım kuralına göre 5.4 de verilen denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$SS_k = \sum_{n=1}^n (x_n SS_n) \quad (5.4)$$

SS_k : Karışımın setan sayısı

SS_n : Karışımın içerisindeki yakıtların bilinen setan sayıları

- Kinematik Viskozite Değerlerinin Hesaplanması

Hazırlanan karışımların viskozite değerleri denklem 5.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\ln \eta_k = \sum_{n=1}^n x_n \ln \eta_n \quad (5.5)$$

η_k : Karışımın kinematik viskozitesi

η_n : Karışımın içerisindeki yakıtların bilinen kinematik viskozitesi

- Yakıt Karışımlarının Hesaplanan Yakıt Özellikleri

Dizel yakıtının özellikleri Petrol Ofisi firmasından, biyodizel yakıtının özellikleri Tübitak MAM da yapılan analizden n-Bütanolün özellikleri ise Mikro teknik firmasından temin edilmiştir. Bilinen değerler ve hesaplanan yakıt özellikleri Tablo 5.6 da verilmiştir.

Tablo 5.6. Test Yakıtlarının Yakıt Özellikleri

Test yakıtları	Yoğunluk kg/m ³	Viskozite mm ² /s	Alt Isıl Değer MJ/kg	Parlama Nok °C	Setan Sayısı
D100	832	3,1	43,5	59	50
B100	876,8	4,581	38,49	134,8	50
n-Bütanol	810	2,6	34,24	35	24
D50B50	854,4	3,768	40,9293	96,9	50
B95Bu5	873,46	4,4526	38,2929	129,81	49
B90Bu10	870,12	4,3284	38,0943	124,82	48
D47,5B47,5Bu5	852,18	3,6987	40,6113	93,805	49
D45B45Bu10	849,96	3,6306	40,2918	90,71	47

5.2. Yöntem

Motor performans parametre değerlerinin tayini standart değerlerde çalıştırılan bir dizel motorunda yapılmıştır. Deneye başlamadan önce motorda gerekli kontroller yapılmış olup herhangi bir sorun gözlemlenmemiştir. Yapılan deneyde daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi için test motoru rejime girene kadar çalıştırıldıktan sonra istenilen motor çalışma sıcaklığına ve istenilen yük konumuna ulaştıktan sonra ölçüm aşamasına geçilmiştir. Deneyler 1800, 2400, 3000 ve 3600 devir/dakika' da gerçekleştirilmiştir. Motorun standart değerlerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle saf dizel yakıtı kullanılarak çalıştırılmış ve standart değerler belirlendikten sonra ilk olarak saf biyodizel yakıtı aynı şartlarda denenmiştir. B100 yakıtının ardından sırasıyla D50B50, B95Bu5, B90Bu10, D47,5B47,5Bu5 ve D45B45Bu10 yakıt karışımlarıyla testler gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda toplanan motor performans değerleri ve egzoz emisyon değerleri karşılaştırılarak incelenmiştir.

5.2.1. Hesaplama Yöntemleri

Yapılan deneyler sonucunda motorda yakılan yakıtlardan ölçüm ile elde edilen değerler ile motor gücü, efektif tork değeri, özgül yakıt tüketimi, termik verim değerleri aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_e = \frac{2\pi \cdot M_d \cdot n}{60000} \quad (5.6)$$

P_e : Efektif güç (kW)

M_d : Döndürme momenti (Nm)

$$M_d = F \times l \quad (5.7)$$

F : Fren kuvveti (N)

l : Moment kol uzunluğu (m)

$$\text{ÖYT} = \frac{m_y \cdot 1000}{P_e} \quad (5.8)$$

ÖYT: Özgül yakıt tüketimi (g/KWh)

m_y : Yakıt tüketimi (kg/h)

$$\eta_e = \frac{3,6 \cdot 10^6}{\ddot{O}YT.H_u} \quad (5.9)$$

H_u : Alt ısı değeri (kJ/kg)

η_e : Efektif verim



6. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Yapılan bu çalışmada öncelikle ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmiş ve üretilen biyodizelin yakıt özellikleri Tübitak MAM da analiz edilmiştir. Amerika ve Avrupa da yayınlanmış olan biyodizel standartları ile kıyaslanmıştır. Standartlara uygunluğu ispatlandıktan sonra üretilen biyodizel, dizel ve n-bütanol ile çeşitli oranlarda karışımlar halinde bir dizel motorda test edilerek performans ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir.

6.1. Ayçiçek Yağı Metil Esteri Özellikleri

Ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen AYME' nin, kinematik viskozite, yoğunluk, alt ısı değeri, üst ısı değeri, parlama noktası değerinin tayini Tübitak MAM da yapılmıştır. Elde edilen yakıt özellikleri Tablo 6.1 de verilmiştir.

Tablo 6.1. Ayçiçek Yağı Metil Esteri' nin Özellikleri

Özellik	AYME	Metot
Yoğunluk 15°C (kg/m ³)	876,8	TS EN ISO 12185
K. Viskozite 40°C (mm ² /s)	4,581	TS 1451 EN ISO 3104
Üst Isıl Değer (Mj/kg)	39,71	ASTM D 240
Alt Isıl Değer (Mj/kg)	38,49	ASTM D 240
Parlama Noktası °C	134,8	TS EN ISO 2719

Yoğunluk ve kinematik viskozite değerleri biyodizel için oldukça önemlidir. Yoğunluk ve viskozite değerlerinin yüksek olmasının sebeplerinden birisi gliserinin biyodizelden yeteri kadar ayrıştırılamadığını göstermektedir. Biyodizelin kinematik viskozite değeri ASTM D 6751 standartlarına göre 40°C de 1,9-6,0 mm²/s aralığında ve EN 14214 standartlarına göre 40°C 3,5-5,0 mm²/s aralığı kabul görmektedir. AYME' nin kinematik viskozite değerinin 4,581 mm²/s olduğu Tablo 6.1 de görülmektedir. AYME' nin viskozite değeri hem ASTM D 6751 standart sınırları, hem de EN 14214 standart sınırları içerisinde olduğu görülmüştür.

Yoğunluk değeri EN 14214 standardına göre 15 °C de 860 ila 900 kg/m³ arasında DIN E 51606 standardına göre 875 ila 900 kg/m³ aralığında olması gerekmektedir. AYME' nin yoğunluk değerinin 876,8 kg/m³ olduğu Tablo 6.1 de görülmektedir. AYME' nin yoğunluk değeri hem EN 14214 standart sınırları hem de DIN E 51606 standart sınırları içerisinde olduğu görülmüştür

Parlama noktası değeri yakıtların depolanmasında ve nakliyesinde önemli rol oynamaktadır. ASTM D 6751 standardına göre parlama noktası en az 130 °C ve üzerinde, EN 14214 standardına göre ise parlama noktası en az 101 °C ve üzerinde olmalıdır. AYME' nin parlama noktası Tübitak MAM' da 134,8 °C olarak ölçülmüştür.

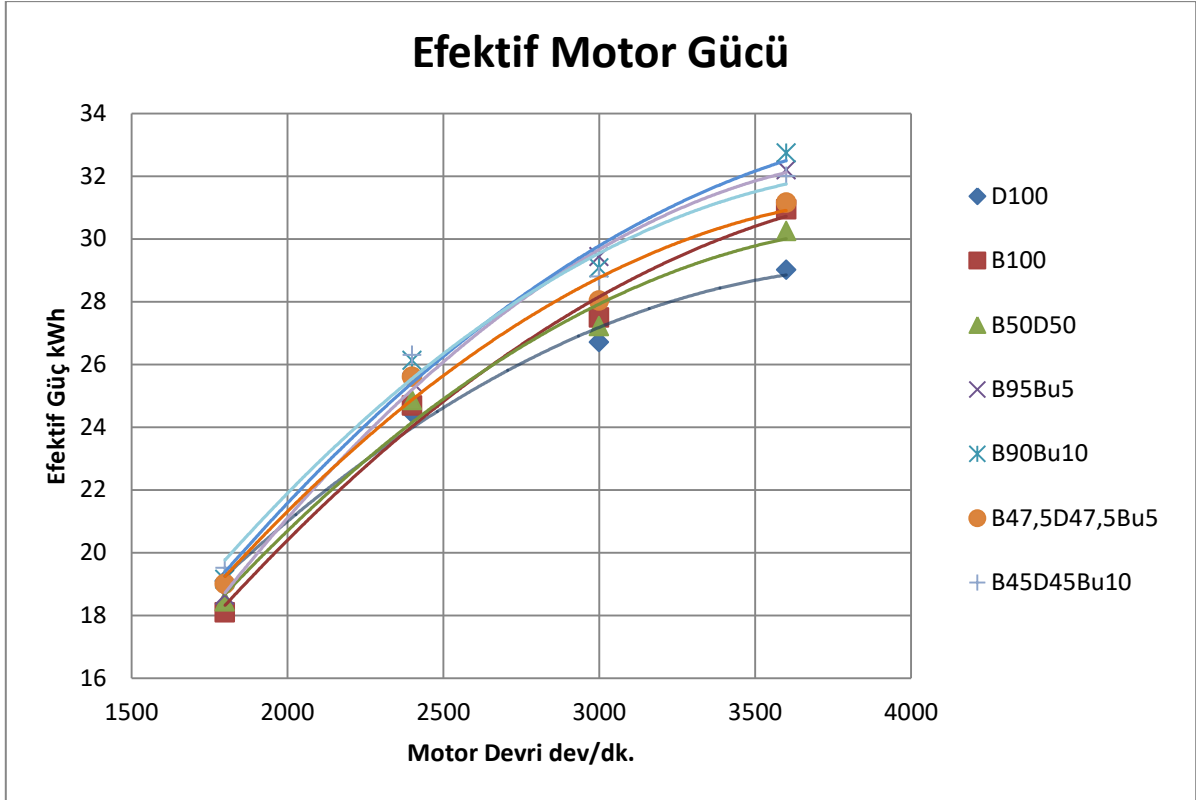
6.2. Motor Performans Değerleri

Motor gücü, döndürme momenti, sarf edilen yakıtın miktarı ve motor sıcaklığı gibi değerler motor performansı olarak adlandırılmaktadır. Motor performans testleri elektrikli dinamometre yardımıyla yapılmıştır. Motor deneyleri saf dizel yakıtı (D100) referans alınmak üzere, saf biyodizel (B100), %50 biyodizel %50 dizel (D50B50), %95 biyodizel %5 n-bütanol (B95Bu5), %90 biyodizel %10 n-bütanol (B90Bu10), %47,5 biyodizel %47,5 dizel %5 n-bütanol (B47,5D47,5Bu5), %45 biyodizel %45 dizel %10 n-bütanol (B45D45Bu10) olmak üzere 7 farklı yakıt ile tam yükte 1800 dev/dk., 2400 dev/dk., 3000 dev/dk., 3600 dev/dk., olmak üzere 4 farklı devirde gerçekleştirilmiştir. Bu yakıt karışımlarının yakılması ile elde edilen motor performans değerleri ayrıntılı olarak verilmiştir.

6.2.1. Efektif Motor Gücü

Motor gücü ve tork değerleri, yakılan yakıtın fiziksel ve kimyasal özelliklerine, hava yakıt karışımının kalitesine, hava fazlalık katsayısına, tutuşma gecikmesine, ısının yayılım oranı gibi değişkenlere bağlı olarak değişim göstermektedir. (Yılancılar, 2020) (Çelik , 2015)

Yedi farklı yakıt ile yapılan performans deneyleri sonucunda elde edilen efektif motor gücü şekil 6.1 de gösterildiği gibidir. Şekilde görüldüğü üzere tüm test yakıtlarında devir arttıkça güç değeri de artmaktadır.



Şekil 6.1. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının Efektif Motor Gücüne Etkisi

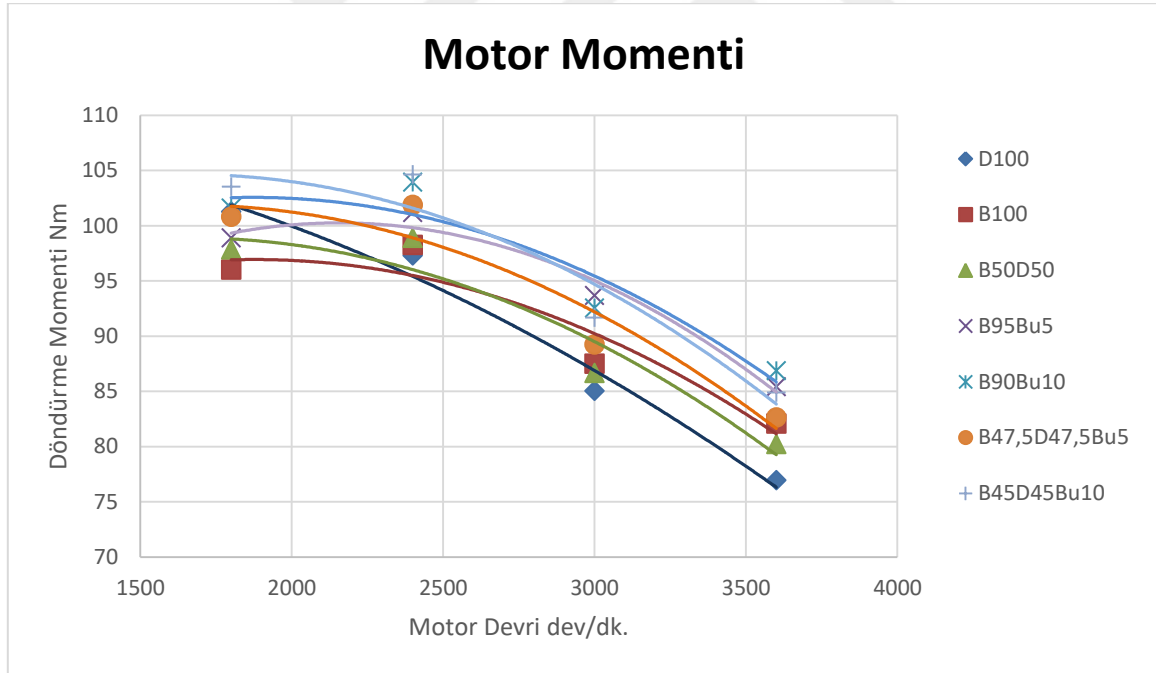
Yapılan testte kullanılan tüm yakıtlarda maksimum güç 3600 dev/dk. da elde edilmiştir. 3600 dev/dk. da D100 yakıtında elde edilen güç değeri 29,009 kW, B100 yakıtında elde edilen güç değeri ise 30,943 kW olarak hesaplanmıştır. Deneyler sonucunda tüm devirlerde hesaplanan değerler ortalamasına bakıldığında B100 ile D100 yakıtları %1,9 farkla birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. B100 ve D100 yakıtlarının karşılaştırılması sonucu, düşük devirlerde D100 yakıtından daha yüksek güç değerleri elde edilirken, yüksek devirlerde ise B100 yakıtından elde edilen güç değerleri daha yüksek olmuştur. Üretilen B100 yakıtının ısı değeri D100 yakıtının ısı değerinden daha düşüktür. Bunun yanı sıra yoğunluk değerleri incelendiğinde yoğunluk değerinin daha yüksek olması sebebiyle birim zamanda püskürtülen yakıt miktarının daha fazla olmasından dolayı elde edilen güç miktarında artışa sebep olduğu öngörülmektedir. D100, B100, B50D50, B95Bu5, B90Bu10, B47,5D47,5Bu5 ve B45D45Bu10 olmak üzere yedi farklı yakıt ile gerçekleştirilen deneyde sırasıyla 3600 dev/dk. da elde edilen güç değerleri 29,009 kW, 30,943 kW, 30,242 kW, 32,195 kW, 32,737 kW, 31,152 kW, 31,997 kW olarak hesaplanmıştır. Yakıt karışımlarına n-bütanol eklenmesi ile tüm motor devirlerinde ortalama % 5 bütanol ilavesiyle ortalama % 3,2 , % 10 bütanol ilavesiyle ortalama % 5,6 güç artışı gözlemlenmiştir. Yakıt karışımlarına n-bütanol eklenmesi ile karışımların viskozite ve yoğunluk değerlerinde iyileşme olmuştur. Püskürtme

özelliklerinde olumlu bir etki yaparak yakıtın daha iyi atomize olması ve bütanolün içeriğinde bulunan oksijen miktarı ile daha verimli bir yanma gerçekleştirmesi sonucunda elde edilen güç değerlerinde bir miktar artış olarak kendini göstermiştir. Yakıt karışımlarına eklenen (%5 ve %10) bütanol ilavesinin, yakıt karışımına sağladığı ilave oksijenin ve viskozite değerinin düşük olmasının yapmış olduğu olumlu etkisinin düşük ısı değeri ve düşük setan sayısının yapmış olduğu negatif etkisinden daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır.

6.2.2. Motor Momenti

Yedi farklı deney yakıtının farklı devirlerdeki döndürme momenti değerlerinin değişimleri Şekil 6.2’ de verilmiştir.

Motor devrinin artmasıyla orantılı olarak mekanik sürtünme kayıplarının da artması sonucunda verimde azalma olmaktadır. Bu azalmanın etkisiyle efektif döndürme momenti değerleri motor devrinin artmasıyla beraber azalan bir grafik çizmektedir. Yedi farklı yakıt karışımıyla yapılan deneyler sonucunda en düşük tork değerleri 3600 dev/dk. da elde edilmiştir.



Şekil 6.2. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının Döndürme Momentine Etkisi

D100 ve B100 yakıtları ile yapılan deneyler ışığında ortalama döndürme momenti değerleri incelendiğinde iki yakıtın değerleri arasında % 0,9’ luk bir farkla birbirine oldukça yakın olduğu bulunmuştur. D100 ve B100 yakıtları karşılaştırılması sonucunda düşük motor devirlerinde D100 yakıtından daha yüksek döndürme momenti değerleri elde edilirken,

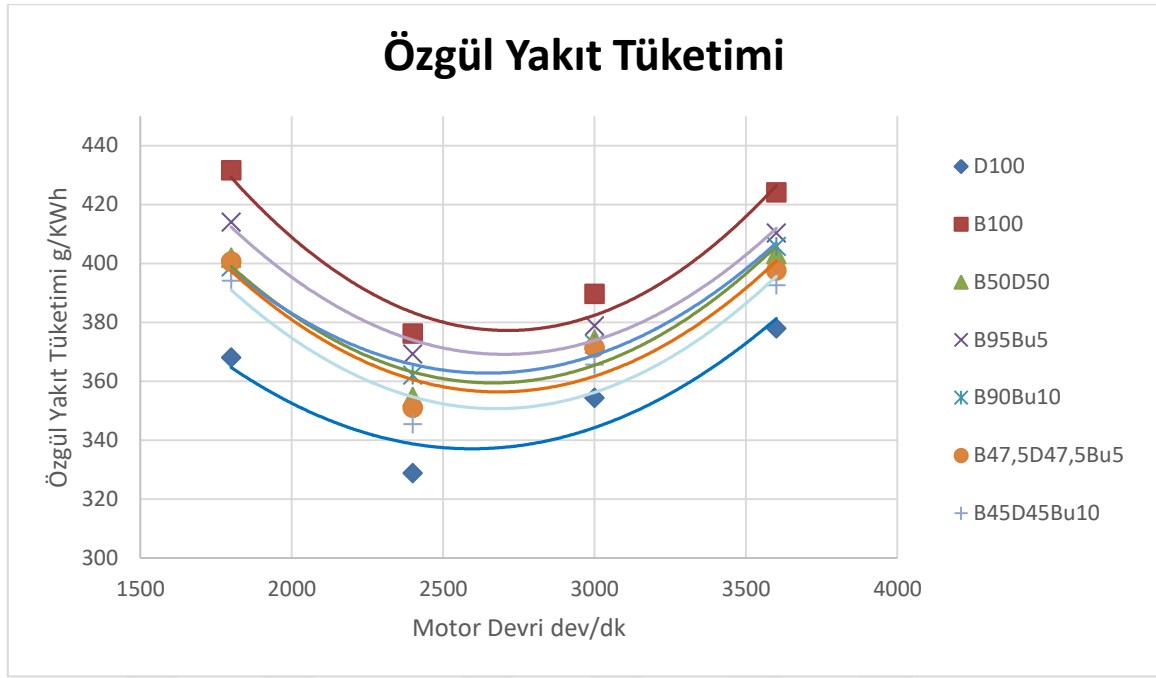
yüksek motor devirlerinde ise B100 yakıtından daha yüksek döndürme momenti değerleri elde edilmektedir.

Motor devrinin artmasıyla yanma odasında bulunan yakıtın yanması için gerekli oksijeni bulamadığından dolayı verim düşmektedir. Buna rağmen biyodizelin içeriğinde bulunan oksijen sebebiyle yüksek devirlerde verimin bir miktar artması sonucunda motor torkunda artış sağlamaktadır. Biyodizele n-bütanol ilavesi sonucunda tüm devirlerde motor döndürme momentinde ortalama % artış gözlemlenmiştir. n-bütanol içeriğindeki oksijen miktarı yanma odasındaki yakıtın yanmasında iyileşme olduğu artan döndürme momenti değerlerinde görülmektedir. D100, B100, B50D50, B95Bu5, B90Bu10, B47,5D47,5Bu5 ve B45D45Bu10 yakıtları ile yapılan deneyler sonucunda 3600 dev/dk. da elde edilen döndürme momenti değerleri sırasıyla 76,95 Nm, 82,08 Nm, 80,22 Nm, 85,40 Nm 86,84 Nm, 82,634 Nm, 84,877 Nm olarak hesaplanmıştır. Yakıtlar birbirleri ile karşılaştırıldığında B95Bu5 ve B90Bu10 yakıtları B100 yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla yaklaşık olarak %4,04 ve %5,79 oranında tork artışı elde edilmiştir. B47,5D47,5Bu5 ve B45D45Bu10 yakıtları B50D50 yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla yaklaşık olarak %3 ve %5,80 oranında tork artışı elde edilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere hazırlanan yakıtlara n Bütanol ilavesinin viskozite yoğunluk gibi fiziksel özelliklerinde iyileşmeye sebebiyet verdiğiinden dolayı yakıt karışımlarının da daha iyi yanma gerçekleştirmiştir. %5 ve %10 n bütanol ilavesi sonucundaki iyileşmeler deney sonuçlarında kendisini motor döndürme momentinde artış olarak göstermiştir.

6.2.3. Özgül Yakıt Tüketimi

ÖYT' nin düşük olması istenen bir durumdur. ÖYT' yi etkileyen en önemli özellikler viskozite, yoğunluk ve yakıtın alt ısı değeridir. Özgül yakıt tüketim miktarı alt ısı değer ile ters orantılıdır yani yüksek alt ısı değere sahip yakıttan birim zamanda üretilen enerji miktarı ile düşük alt ısı değere sahip bir yakıttan birim zamanda aynı enerji miktarını elde edebilmek için daha fazla yakıt yakılması gerekmektedir.

Yedi farklı test yakıtı ile gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen değerlerden hesaplanan özgül yakıt tüketiminin motor devirlerine göre değişimi şekil 6.3 de görüldüğü gibidir.



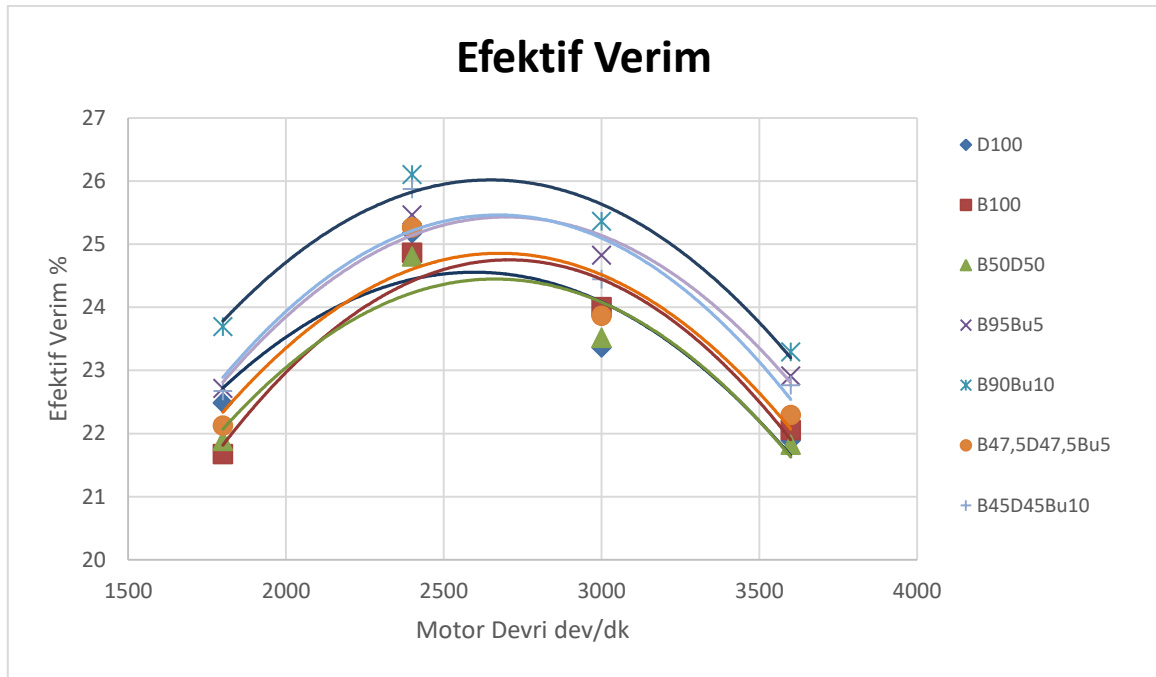
Şekil 6.3. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının Özgöl Yakıt Tüketimine Etkisi

Tüm test yakıtları ile gerçekleştirilen deneylerde en düşük özgöl yakıt tüketimi değeri 2400 dev/dk. da elde edilmiştir. Motor devri arttıkça 2400 dev/dk. ya kadar özgöl yakıt tüketimi azalmaktadır. Devir arttıkça artan mekanik sürtünme kayıpları verimin azalmasına sebep olmaktadır. Bu azalmanın etkisiyle aynı güç değerini elde edilmesi için motora giden yakıt miktarının artması sonucunda özgöl yakıt tüketiminin de artmasına yol açmıştır. Deneyde kullanılan yakıtlardan en düşük özgöl yakıt tüketimine sahip olan yakıt D100 olarak ölçülmüştür. Bunun başlıca sebebi D100 yakıtının alt ısı değeri diğer yakıtlardan daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Yedi farklı yakıtla test motoru ile yapılan deney sonucunda sırasıyla yaklaşık ortalama yakıt tüketimleri D100 357,25 g/kWh, B100 405,34 g/kWh, B50D50 387,70 g/kWh, B95Bu5 393,02 g/kWh, B90Bu10 384,74 g/kWh, B47,5D47,5Bu5 380,10 g/kWh, B45D45Bu10 374,39 g/kWh olarak hesaplanmıştır. B100 yakıtının alt ısı değeri D100 yakıtının alt ısı değerinden düşük olmasına rağmen, B100 yakıtının yoğunluğu ve viskozitesi D100 yakıtının yoğunluk ve viskozite değerlerinden daha yüksek olması sebebiyle B100 yakıtı D100 yakıtıyla kıyaslandığında ÖYT' de % 13,46' lık bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Biyodizel yakıtına n Bütanol ilavesi yakıt özelliklerinde bir iyileşme olduğunun kanıtı özgöl yakıt tüketiminde tespit edilen iyileşme ile alakalıdır. % 5 ve % 10 n Bütanol ilaveli yakıtlar B100 ve B50D50 yakıtları ile karşılaştırıldığında sırasıyla B95Bu5 % 3,03, B90Bu10 % 5,08, B47,5D47,5Bu5 % 1,96, B45D45Bu10 % 3,43 lük bir iyileşme elde edilmiştir.

Bütanol ilaveli yakıtlarda görülen bu iyileşme yakıt karışımlarının içeriğinde bulunan oksijen miktarının artması ile gerçekleşen yanmanın daha verimli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

6.2.4. Efektif Verim

Verim yakıtın yanması sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisinin ne kadarlık kısmının işe dönüştüğünü ifade etmektedir. Verim değerleri Denklem 5.9 dan yararlanılarak hesaplanmıştır. Yedi farklı yakıt ile gerçekleştirilen deney sonucunda hesaplanmış olan efektif verim değerleri şekil 6.4 de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.4. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının Efektif Verime Etkisi

Gerçekleştirilen deneylerde tüm yakıtların veriminin en yüksek olduğu değer 2400 dev/dk. olmuştur. Motor devrinin artmasıyla birlikte artan sürtünme kayıpları verimin düşmesine sebep olmaktadır. Ortalama efektif verim değerlerine bakıldığında sırasıyla D100 %23,22, B100 %23,14, B50D50 %23,01, B95Bu5 %23,97, B90Bu10 %24,61, B47,5D47,5Bu5 %23,38, B45D45Bu10 %23,93 olarak hesaplanmıştır. D100 ve B100 yakıtları incelendiğinde iki yakıt arasında ortalama verim değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra grafik incelendiğinde düşük ve orta devirlerde D100 yakıtının verimi B100 yakıtının veriminden % 3,6 daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir ancak motor devrinin artmasıyla birlikte aradaki farkın kapandığı görülmüştür. Yüksek devirlerde yakıtın yanması için gereken sürenin kısalması sonucunda eksik yanımlar gerçekleşmiştir. Bu durum D100 yakıtının verimi düşmektedir. Buna karşın B100 yakıtının

içeriğinde bulunan oksijen miktarı sayesinde yanma olayında iyileşmeler olmaktadır. Bu iyileşmeler sayesinde efektif veriminde iyileştiği düşünülmektedir.

Yakıtın atomizasyon derecesini viskozite değeri ve yakıtın yüzey gerilimi belirlenmesinde rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra yakıt karışımının içeriğinde bulunan n-bütanolün uçuculuğunun yüksek olması da karışım oluşumunu hızlandıracak için yakıtın daha verimli bir şekilde yanmasını sağlamaktadır. (Altun, 2009)

Biyodizel yakıtına ilave edilen alkol ile birlikte efektif verimin tüm test devirlerinde artış gösterdiği belirlenmiştir. Efektif verimdeki bu artışın alkolün yüksek uçuculuğu sayesinde silindir içerisine alınan hava yakıt karışımının daha iyi karışması ve alkolün içeriğinde bulunan oksijen moleküllerinin silindir içerisindeki yanmayı iyileştirmesiyle doğru orantılı olduğu bağlanabilmektedir. Yani alkolün içeriğinde buluna -OH grubu sayesinde ve motor devrinin artmasıyla birlikte artan ısının etkisiyle C-C bağının zayıflaması sonucu daha hızlı bir yanma gerçekleşir. Bu da verimin yükselmesine neden olmaktadır (Yılancılar, 2020) (Sathiyamoorthia & Sankaranarayanan, 2017)

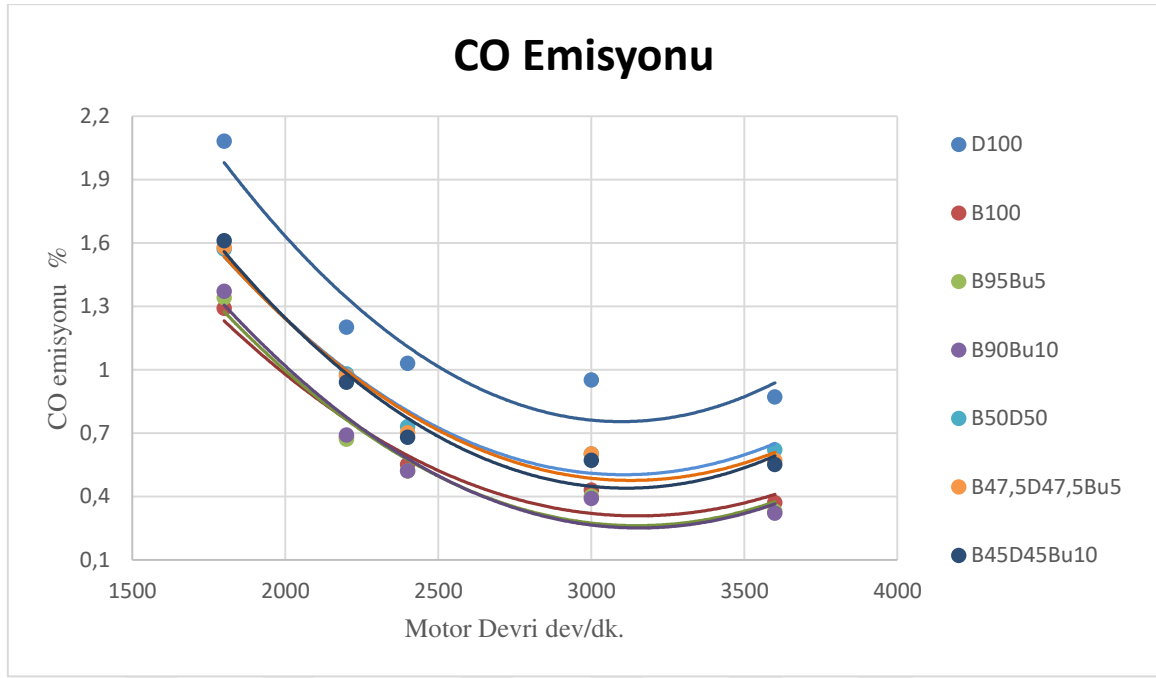
6.3. Egzoz Emisyon Değerleri

Motorda yanma reaksiyonları sonucunda yakıt hava karışımının reaksiyon için gerekli zenginliği karşılayamaması sonucunda CO, CO₂, HC, NO_x gibi emisyonlar ortaya çıkmaktadır. Bu emisyonlar insan sağlığını olumsuz etkilemekle birlikte çevreye de zarar vermektedir. Bu sebepten ötürü yakıtların ve yakıt karışımlarının, egzoz emisyonlarını en düşük seviyelere indirecek özelliklerde olması istenmektedir.

Bu çalışmada hazırlanmış olan yedi farklı yakıt karışımının egzoz emisyon parametreleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve referans olması için dizel yakıtı ile karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır.

6.3.1. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

Yanma reaksiyonu esnasında oksijen miktarının yetersiz kalması sonucu karbon molekülleri oksijen ile tepkimeye giremez ve eksik yanma sonucunda CO emisyonu salınımına neden olmaktadır. Yedi farklı yakıt ile gerçekleştirilen deney sonucunda yakıt karışımlarının CO emisyonlarına etkisi şekil 6.5.' de görüldüğü gibidir.

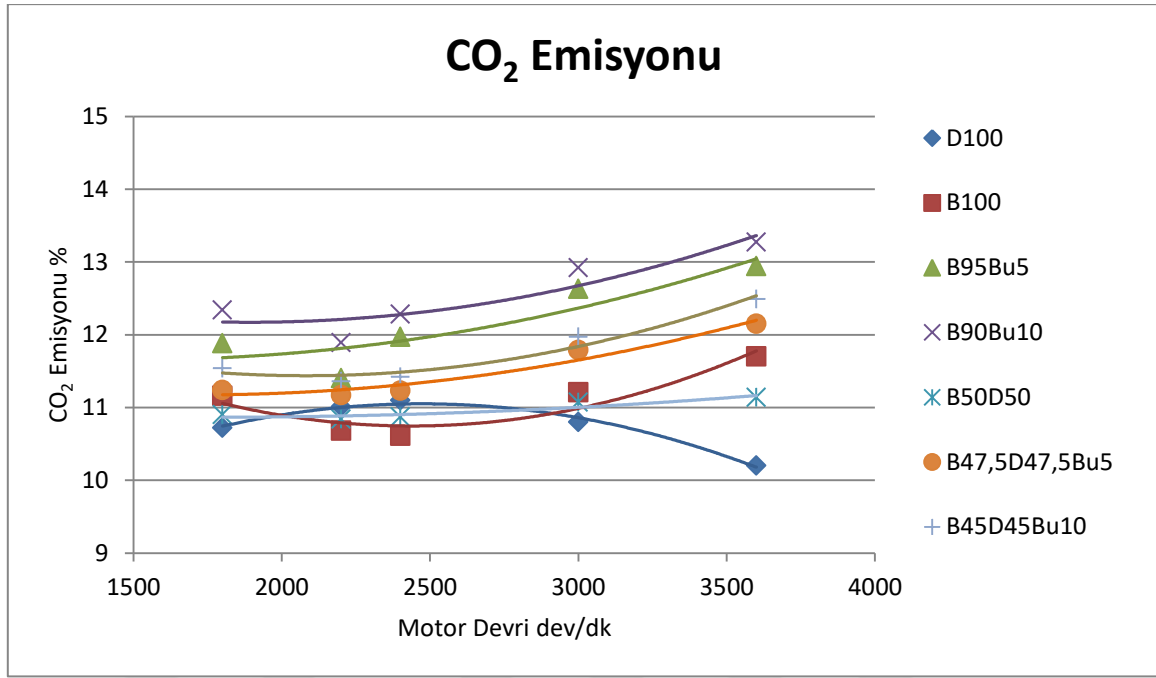


Şekil 6.5. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının CO Emisyonuna Etkisi

Biyodizel ve Dizel yakıtı CO emisyonu karşılaştırıldığında biyodizelin CO emisyonunun dizel yakıtından daha düşük seviyede olduğu görülmüştür. Bu farkın biyodizelin içeriğinde bulunan oksijen atomlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yüksek devirlerde yükselen sıcaklık ile birlikte biyodizel yakıtının yüksek viskozite değerinde bir miktar iyileşme olduğu düşünülmektedir. Bu atomizasyon sonucunda biyodizelin yüksek devirlerde CO emisyonunun daha düşük seviyelere indiği görülmüştür. Gerçekleşen deneylerde n-Bütanol katkılı yakıt karışımları incelendiğinde CO emisyonlarında % 5 bütanol ilavesiyle % 1,85, % 10 bütanol ilavesiyle % 3,30 oranında iyileşme olduğu görülmüştür. Bu iyileşmenin ana sebebi olarak n-Bütanolün içeriğinde bulunan oksijen atomlarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yetersiz oksijen sebebiyle görülen eksik yanma sonucunda ortaya çıkan CO emisyonu n-Bütanol içeriğinde bulunan oksijen ile karşılanması sonucunda CO emisyonunda iyileşme olarak karşımıza çıkmaktadır.

6.3.2 Karbondioksit (CO₂) Emisyonu

Yanma reaksiyonunda yakıt içeriğinde bulunan C atomlarının oksidasyonu sonucu CO₂ olarak açığa çıkmaktadır. CO₂, emisyon değerlerinin yüksek olması yanmanın ideal bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Egzoz emisyonları arasında kirletici bir emisyon olarak görülmemesine karşın CO₂ emisyonu çevreye sera gazı ve iklim değişikliği gibi zararları mevcuttur. Yedi farklı yakıt ile gerçekleştirilen deney sonucunda CO₂ emisyonlarının değişimi şekil 6.6. da görüldüğü gibidir.



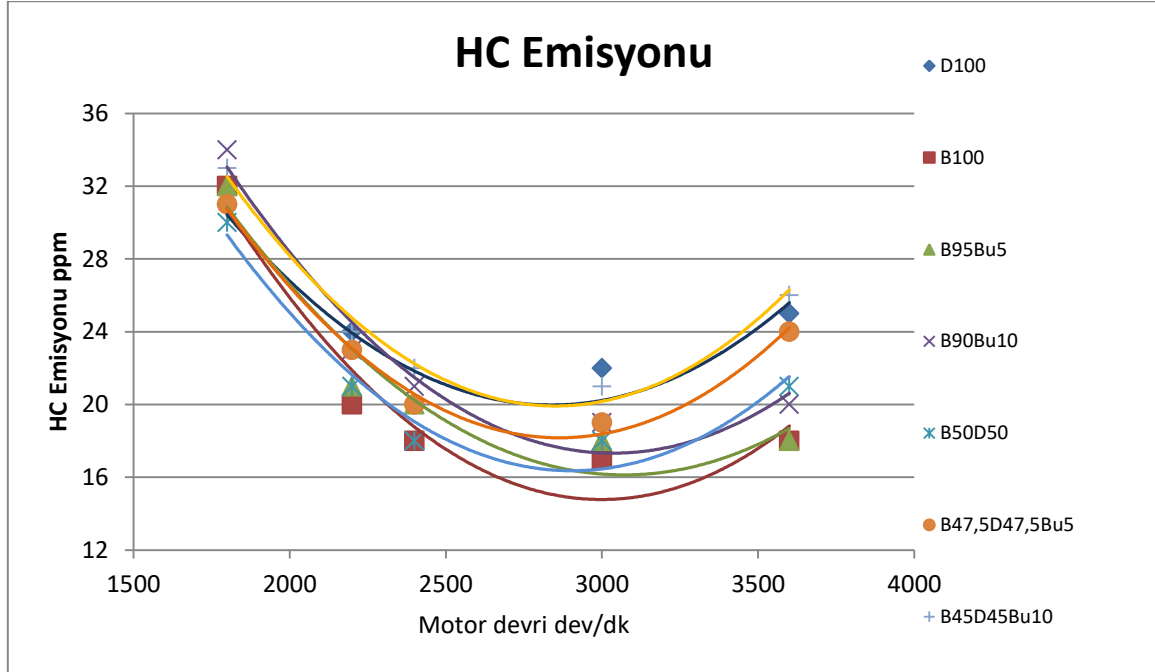
Şekil 6.6. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının CO₂ Emisyonuna Etkisi

Yapılan deneyler sonucunda biyodizel yakıtı ile dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında düşük devirlerde dizel yakıtının CO₂ emisyon değeri biyodizelden daha düşük olduğu görülmektedir. Biyodizelin içeriğinde bulunan ilave oksijen sayesinde CO₂ emisyonunda ortalama % 2,76'lık bir artış görülmüştür.

n-Bütanol katkılı yakıt karışımlarının CO₂ emisyonları incelendiğinde n bütanolün içeriğinde bulunan ilave oksijen miktarı ve n bütanolün düşük buharlaşma ısı ve yüksek uçuculuğu sayesinde yanma odasına alınan yakıt hava karışımının daha iyi karışması sayesinde CO₂ emisyonunda artış olduğu görülmüştür. Bu durum biyodizel yakıtının içeriğinde bulunan oksijen moleküllerinden kaynaklanmaktadır. Motor devri yükseldikçe dizel yakıtının CO₂ emisyonunda azalma görülürken n bütanol ilaveli yakıt karışımlarının CO₂ emisyonunda artış görülmüştür. Yakıt karışımlarına % 5 bütanol ilavesiyle ortalama % 6,88 , % 10 bütanol ilavesiyle % 9,22'lik oranda CO₂ emisyonunda artış olduğu anlaşılmıştır. Yedi farklı yakıt karışımı ile yapılan deney sonucunda n-Bütanol katkısının CO₂ emisyonunda olumlu yönde etki bıraktığı görülmektedir.

6.3.3 Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Hidrokarbon organik bir bileşiktir ve HC emisyonu CO emisyonunda olduğu gibi yanma reaksiyonu esnasında oksijenin yetersizliği sebebiyle ortaya çıkmaktadır. Yedi farklı yakıt ile gerçekleştirilen deney sonucunda HC emisyonlarının değişimi şekil 6.7. de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.7. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının HC Emisyonuna Etkisi

Yapılan deney sonucunda ortalama en yüksek HC emisyon değeri B45D45Bu10 yakıtında görülmüştür. Bütün yakıt karışımlarında düşük devirlerde HC emisyon değerleri yüksekken devir yükseldikçe 2400 dev/dk ya kadar azalma görülmüştür, motor devri 2400 dev/dk dan yükseldikçe HC emisyonunda artış olmuştur. Saf biyodizel yakıtı dizel yakıtına göre HC emisyon değeri daha düşük çıkmıştır. Ayrıca B50D50 yakıt karışımının kullanımı sonucunda HC emisyon değerlerinde dizel yakıtına kıyasla iyileşme olmuştur. HC emisyonunda görülen azalmanı ana sebebi biyodizel yakıtının içeriğinde bulunan oksijen içeriğinin yanma esnasında ekstra oksijen sağlaması sonucunda yanma iyileşmekte olup HC emisyonunda azalma olarak görülmüştür. (Altun, 2010).

Soylu ve arkadaşları (2004), yapmış oldukları çalışmada, biyodizel yakıtının kullanılmasıyla ortalama HC emisyonunda azalma olduğunu söylemişlerdir. (Soylu, Karabektaş, & Ermiş, 2004)

Bütanol katkılı yakıt karışımları incelendiğinde ise HC emisyonları ortalaması D100, B100 ve B50D50 yakıtlarının ortalama HC değerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca karışımlardaki bütanol oranı arttıkça HC emisyon değerinin de arttığı görülmüştür. Bu artmanın sebebi bütanol oranı arttıkça karışımın fakirleşmesinden kaynaklanmaktadır.

Silitonga ve arkadaşlarının (2018) yapmış oldukları çalışmada, hazırlamış oldukları karışım yakıtlarında bütanol oranı artıkça HC emisyon değerlerinin de arttığını belirtmişlerdir. (Silitonga, et al., 2018)

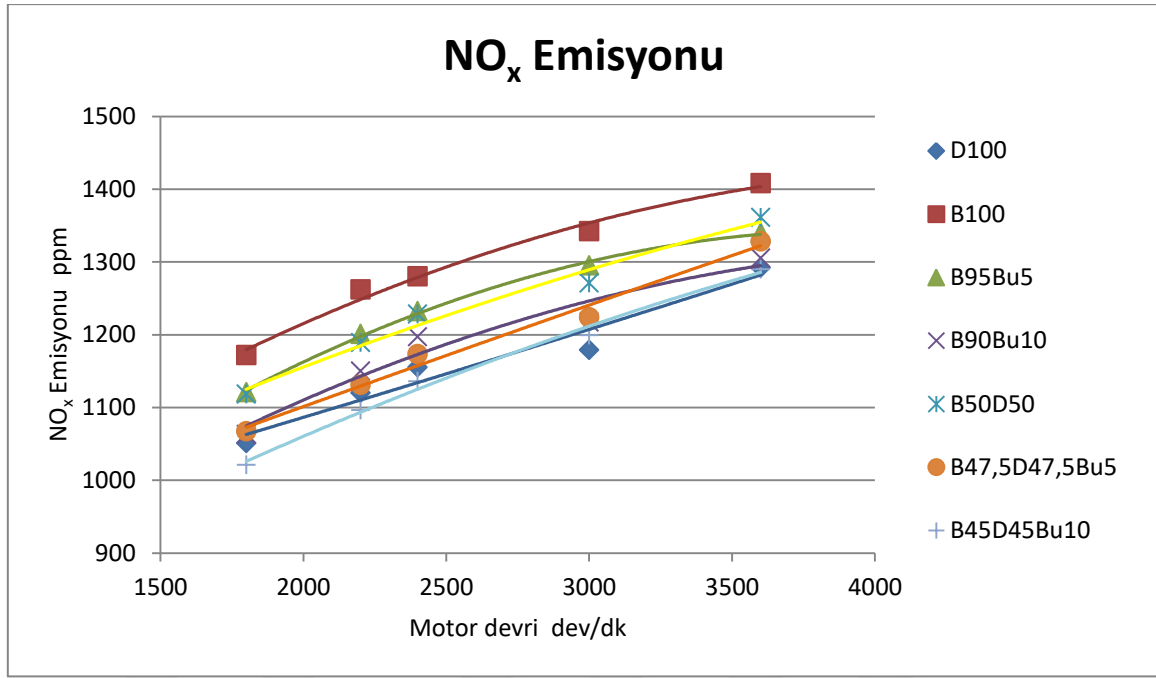
Kumar ve Saravanan (2016) yapmış oldukları çalışmada, yapmış oldukları çalışmada, hazırlamış oldukları karışım yakıtlarında bütanol oranı artıkça HC emisyon değerlerinin de arttığını belirtmişlerdir. (Kumar & Saravanan, 2016)

6.3.4 Azot Oksit (NO_x) Emisyonu

Kirletici bir emisyon olan NO_x emisyonu, havanın içerisinde bulunan azot ile oksijenin birleşmesiyle oluşan NO, NO₂, N₂O, gibi bileşiklere verilen ortak isimdir. İnsan sağlığını olumsuz yönde etkileyen NO_x çevreye de ciddi zararlar vermektedir. Ozon tabakasına zarar vermesi sonucu ozon tabakasının delinmesi çevreye verdiği zarara örnek verilmektedir.

Egzoz emisyonlarından NO_x 'in oluşumu için en az 1800 K sıcaklığa ihtiyaç vardır. Yanma odasında alınan yakıt hava karışımında bulunan oksijen miktarına, yanma reaksiyonunun süresine ve yanma sonrasında egzoz sıcaklığına bağlı olarak NO_x emisyon değerleri değişiklik göstermektedir. (Atmanlı, 2013) (Gündüz, 2017) (Kelen, 2014) (İlçin, 2020)

Test yakıtlarıyla gerçekleştirilen deney sonucunda NO_x emisyonlarının değişimi Şekil 6.8. de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.8. Biyodizel, Dizel, n-Bütanol Yakıt Karışımlarının NO_x Emisyonlarına Etkisi

Test yakıtlarıyla yapılan deney sonucunda tüm yakıtların NO_x emisyonları motor devrinin artmasıyla birlikte artış göstermiştir. D100 yakıtı ile B100 yakıtı karşılaştırıldığında B100 yakıtının NO_x emisyonlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. B100 yakıtında ortalama % 11,5 artış olmuştur.

Çanakçı (2004), yapmış olduğu çalışmada transesterifikasyon yöntemiyle üretmiş olduğu biyodizel yakıtını 4 silindirli, 4 zamanlı, aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda gerçekleştirdiği deney sonucunda biyodizelin NO_x emisyonunun dizel yakıtına göre yaklaşık % 13 oranında arttığını belirtmiştir. (Çanakçı, 2004)

Usta (2005), yapmış olduğu çalışmada ürettiği biyodizel ile %10, %17,5 ve %25 oranlarında biyodizel- dizel yakıt karışımları hazırlamıştır. Hazırlamış olduğu yakıt karışımlarını 4 silindirli, 4 zamanlı, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda test etmiştir. Testlerin sonucunda biyodizel katkılı yakıtların NO_x emisyonları dizel yakıtına göre %5 daha yüksek olduğunu belirtmiştir. (Usta, 2005)

B100 yakıtının alt ısı değeri D100 yakıtının alt ısı değerinden düşük olmasından dolayı B100 yakıtının D100 yakıtıyla birim zamanda aynı miktarda enerji üretebilmesi için silindire daha fazla B100 yakıtı püskürtülmesi gerekmektedir. Bu durumda silindirdeki hava yakıt karışımında hava fazlalık katsayısının dizel yakıtına kıyasla daha düşük olmasına neden olur. Hava fazlalık katsayısı ve sıcaklık NO_x emisyonunu etkileyen iki önemli faktördür. Hava fazlalık katsayısı 1'e yaklaştıkça silindir içindeki alev sıcaklığının artması sebebiyle NO_x

emisyonunda da artış olmaktadır. n-Bütanol katkılı yakıtlar incelendiğinde n-Bütanol katkısıyla birlikte NO_x emisyonlarında iyileşmeler olduğu görülmüştür. Yakıt karışımlarında n-Bütanol oranı arttıkça NO_x emisyonunda düşüş olmuştur. Alkollerin gizli buharlaşma ısısı yüksektir. Buharlaşabilmek için ortamdan daha fazla ısı enerjisi çeker. Bu durum yanma odasındaki ortalama sıcaklıkları azalttığından dolayı NO_x emisyonlarında azalma olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Aydın ve İlkılıç (2010), yapmış oldukları çalışmada dizel – biyodizel karışımlarında alkol kullanımı sonucunda NO_x emisyonlarında düşüş olduğunu söylemişlerdir. (Aydın & İlkılıç, 2010)



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Bu tez kapsamında yapılan çalışmada ayçiçek yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilmiş olan biyodizel (B100) yakıtıyla n-Bütanol %5 ve %10 oranında karıştırılarak B95Bu5 ve B90Bu10 yakıtları hazırlanmıştır. Biyodizel ile dizel yakıtları karıştırılarak B50D50 yakıtı hazırlanmış ve daha sonra biyodizel, dizel, n-Bütanol ile üçlü karışımlar hazırlanmıştır. Test yakıtlarında n-Bütanol oranı en fazla %10 eklenmiştir. Test yakıtları sırasıyla B47,5D47,5Bu5, B5D45Bu10 olarak adlandırılmıştır. Hazırlanan yakıt karışımları bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyon değerlerini incelemek ve iyileştirmek amacıyla test yakıtları, 1800, 2400, 3000 ve 3600 dev/dk. olmak üzere 4 farklı devirde tam yükte motor gücü, motor moment, özgül yakıt tüketimi, efektif verim ve CO, CO₂, HC, NO_x emisyonları ölçülüp test sonuçları grafik şeklinde verilmiştir.

Yapılan testler sonucunda elde edilen deney sonuçları aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

1. Yapılan testler ışığında B100 yakıtı ile D100 yakıtı karşılaştırıldığında düşük motor devirlerinde elde edilen motor gücü ve döndürme momenti değerleri D100 yakıtında yüksek olmasına karşın, yüksek devirlerde B100 yakıtının motor gücü ve döndürme momenti değerleri daha yüksek olmaktadır. Yapılan testlerde elde edilen en yüksek maksimum güç değeri tüm yakıtlarda 3600 dev/dk. da elde edilmiştir.
2. Biyodizel yakıtına n-Bütanol ilavesiyle hazırlanan B95Bu5 ve B90Bu10 yakıtlarıyla yapılan testlerde n-Bütanol ilavesiyle motor gücünde ve motor moment değeri iyileşmeler olmuştur. Bu iyileşme n-Bütanolün içeriğinde bulunan oksijen miktarının ve biyodizelin viskozite ve yoğunluk değerlerini düşürmesi sayesinde yakıt karışımının daha iyi atomize olması sebebiyle motor gücünde ve motor momentinde artış olarak kendini göstermiştir.
3. Biyodizel ile dizel yakıtının karıştırılması ile elde edilen B50D50 yakıtı ile yapılan testler sonucunda motor devri ve motor moment değeri D100 yakıtına oldukça yakın olduğu görülmüştür. Biyodizel, dizel, n-Bütanol ile hazırlanan üçlü karışımlar B47,5D47,5Bu5 ve B45D45Bu10 olarak adlandırılmıştır. Bütanol ilaveli yakıt karışımlarıyla yapılan testlerde n-Bütanol ilavesinin motor gücünde ve motor moment değeri iyileşmeler olduğu görülmüştür. Bu iyileşme n-Bütanolün içeriğinde bulunan oksijenin yanma esnasında sağladığı ekstra oksijen sayesinde daha iyi bir yanma gerçekleşmektedir. Bütanolün düşük alt ısı değeri ve düşük setan sayısının

yapmış olduğu negatif etkiden, düşük viskozite ve ekstra oksijen miktarıyla yapmış olduğu pozitif etkinin daha yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır.

4. Yedi farklı yakıt karışımıyla yapılan deneylerde yakıtların özgül yakıt tüketimleri motor devri arttıkça 2400 dev/dk. ya kadar özgül yakıt tüketiminde azalma görülmektedir. Motor devri arttıkça özgül yakıt tüketiminde de artış olmuştur. Deneyde kullanılan yakıtlardan en düşük özgül yakıt tüketimine sahip olan yakıt D100 yakıtı olarak ölçülmüştür. B100 yakıtıyla kıyaslandığında aynı güç değerini elde edebilmek için %13,46 daha fazla B100 yakıtı harcanması gerekmektedir. En yüksek özgül yakıt tüketimi ortalama 405,34 g/kWh ile B100 yakıtıdır. Deney sonuçlarına bakıldığında n-Bütanol ilaveli yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketiminde sırasıyla B95Bu5 yakıtında %3,03, B90Bu10 yakıtında %5,08, B47,5D47,5Bu5 yakıtında %1,96, B45D45Bu10 yakıtında %3,43 oranında bir iyileşme olmuştur.
5. Yedi farklı yakıt karışımıyla gerçekleştirilen deneylerde, yakıt karışımlarının motor verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Hesaplamalar sonucunda B100 yakıtı ile D100 yakıtı karşılaştırılmıştır. Düşük ve orta devirlerde D100 yakıtının veriminin B100 yakıtının veriminden yüksek olmasına rağmen motor devri yükseldikçe bu farkın kapandığı görülmüştür. B100 yakıtı ile D100 yakıtının verim değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu anlaşılmıştır. Deneylerde hesaplanan sonuçlara bakıldığında en yüksek verim değeri 2400 dev/dk. 'da olduğu görülmektedir. Yakıt karışımlarına n-Bütanol ilavesi ile deneyin gerçekleştiği tüm test devirlerinde verim artışı görülmektedir. Efektif verimdeki bu artışın alkolün uçuculuğunun yüksek olması sayesinde silindirin içerisindeki yakıt hava karışımının daha iyi karışmasını sağlaması ve alkolün içeriğinde bulunan oksijen miktarı sayesinde yanmayı iyileştirmesiyle doğru orantılı olarak verimin yükseldiği düşünülmektedir.
6. Yedi farklı yakıt karışımıyla gerçekleştirilen deneylerde CO, CO₂, NO_x, HC egzoz emisyonları incelenmiştir. CO emisyonu silindir içerisinde bulunan yakıt hava karışımında oksijenin yetersiz olması sonucu eksik yanma ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. B100 yakıtı ile D100 yakıtı karşılaştırıldığında B100 yakıtının CO emisyonunun daha düşük olduğu görülmüştür. Bu farkın biyodizelin içeriğinde bulunan oksijen miktarı sayesinde olduğu düşünülmektedir. Yakıt karışımlarına n-Bütanol ilavesi sonucunda CO emisyonunda iyileşmeler görülmüştür. Bu iyileşmelerin, ilave edilen alkolün yüksek uçuculuğu sayesinde yakıt hava karışımının daha iyi karışmasını sağlaması ve içeriğinde bulunan oksijen miktarı sayesinde yanma

reaksiyonuna ekstra oksijen sağlaması sayesinde CO emisyonunda iyileşme olarak görülmektedir.

7. Yedi farklı yakıt karışımıyla gerçekleştirilen deneylerde CO₂ emisyonu yakıt içeriğinde bulunan C atomlarının tam yanması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Deneyler sonucunda B100 ile D100 yakıtları karşılaştırıldığında B100 yakıtının CO₂ emisyon değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Motor devri yükseldikçe 2400 dev/dk kadar CO₂ emisyonu artış göstermiş ve devir yükseldikçe azalma olmuştur. D100 yakıtının CO₂ emisyonu B100 yakıtından daha düşük seviyede olduğu görülmüştür. Motor devri yükseldikçe D100 yakıtının emisyonunda azalma görülürken B100 yakıtında artış gözlemlenmiştir. Bu artışın yüksek devirlerde oluşan sıcaklık sebebiyle biyodizelin yüksek yoğunluk ve viskozite değerlerinde yapmış olduğu iyileşme sayesinde daha iyi atomize olduğu düşünülmektedir. Karışımlara n-Bütanol katkısının CO₂ emisyonlarına olumlu yönde etki bıraktığı görülmüştür.
8. Yedi farklı yakıt karışımıyla yapılan deneyler sonucunda en yüksek HC emisyonu B45D45Bu10 yakıtında görülmüştür. Bütün yakıtlarda düşük motor devrinde HC emisyonu daha yüksek olmasına rağmen devir yükseldikçe 2400 dev/dk. ya kadar azalma görülmüştür. Motor devri 2400 dev/dk. dan yükseldikçe HC emisyonunda artış olduğu görülmüştür. Yapılan deney sonuçlarına göre B100 yakıtının HC emisyonu D100 yakıtından daha düşük olduğu anlaşılmıştır. n-Bütanol ilaveli yakıt karışımlarında alkol oranı arttıkça HC emisyon değerleri de doğrusal olarak artış göstermiştir.
9. Yedi farklı yakıt karışımıyla yapılan deneylerde NO_x emisyonu motor devrinin artmasıyla birlikte artış göstermiştir. B100 yakıtının NO_x emisyonlarının, D100 yakıtına göre %11,5 daha yüksek olduğu görülmüştür. Yakıt karışımlarına n-Bütanol ilavesi ile birlikte NO_x emisyonlarında iyileşmeler olmuştur. Yakıt karışımlarındaki alkol oranı arttıkça NO_x emisyonlarında iyileşme oranı arttığı görülmüştür.

7.2 Öneriler

- Türkiye'nin petrol arzındaki dışa bağımlılığını azaltabilmek ve günümüzde sürekli olarak artan enerji fiyat baskılarından kurtulabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarına ve özellikle de biyoyakıtlara önem vermesi gerekmektedir.
- Biyodizel yakıtının alevlenme noktasının dizel yakıtından daha yüksek olmasından dolayı depolanması ve sevkiyatı daha güvenli şekilde gerçekleştirilebilir. Ayrıca bunun yanı sıra soğuk hava koşullarında ön ısıtma yaparak viskozite değerinin düşürülmesi durumunda biyodizelin alevlenme riski çok daha düşüktür.
- Kullanılmış ve kullanılmamış farklı yağlardan elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri, maliyetleri, kullanılabilirlik özellikleri karşılaştırılarak en uygun biyodizel araştırılabilir.
- Biyodizel üzerine yapılacak olan çalışmalar sonucunda uygun olan yağ çeşitlerinin (Pamuk, Aspir, Ayçiçek, Ketencik vb.) ekimine uygun boş tarım arazilerinde alternatif yakıtlar için endüstriyel olarak üretilmesi için destek ve teşvik verilmesi sayesinde tarım sektöründe istihdam oluşmasını sağlayacaktır.
- Hazırlanan yakıt karışımlarının maliyet analizleri yapılabilir.
- Farklı oranlarda hazırlanan üçlü yakıt karışımları ile yeni deneyler gerçekleştirilerek motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi araştırılabilir.
- Biyodizel, dizel, n-Bütanol kullanılarak hazırlanan üçlü yakıt karışımlarında farklı oranlarda hazırlan yakıt karışımları, farklı motor devirlerinde ve farklı motor yük şartlarında çalışmalar yapılabilir.
- Üçlü yakıt karışımlarının motor parçaları üzerinde bıraktığı aşındırıcı etkiler araştırılabilir.
- Transesterifikasyon yöntemi üretilen biyodizel yakıtının yüksek viskozite değerinin düşürülebilmesi amacıyla katkı maddeleri kullanılarak motor performansı üzerine etkileri incelenebilir
- Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretiminde farklı katalizörler ile farklı alkol çeşitleri kullanılarak üretilen biyodizel yakıtlarının özellikleri incelenebilir.

KAYNAKÇA

- Adaçay, F. R.** (2014). Türkiye İçin Enerji ve Kalkınmada Perspektifler. *Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 87-102.
- Aksoy, L.** (2010). Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)* 2, 45-53.
- Akyaz, S.** (2007). *Benzin - tersiyer bütül alkol ve benzin - naftalin karışımlarının buji ateşlemeli motorun performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi)*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alibaş, K., & Ulusoy, Y.** (1995). Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanakları. (s. 147-157). Bursa: Tarımsal Mekanizasyon 16. Ulusal Kongresi.
- Alleman, T. L., & McCormick, R. L.** (2016). Biodiesel Handling and Use Guide. *U.S. Development of Energy, DOE/GO-10 2016*.
- Alpgiray, B.** (2006). *Kanola Yağının Dizel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alptekin, E. v., & Çanakcı, M.** (2011). Hayvansal kökenli Yağlardan Biyodizel Üretimi. 6. *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*. Kayseri.
- Altın, R.** (1998). *Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi (Doktora Tezi)*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Altın, R., & Balcı, M.** (1998). Ayçiçek Metil Ester Yakıtının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılması Üzerine Bir Araştırma. *Teknoloji Dergisi 1*, 4-15.
- Altun, Ş.** (2009). *Hayvansal yağlardan biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması (Doktora Tezi)*. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Altun, Ş.** (2010). Dizel motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde biyodizel yakıtların etkisi. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)* , 2, 9-19.
- Antolin, G., Tinaut, F. V., Briceno, Y., Castano, V., Perez, A., & Ramirez, A.** (2002). Optimasition og Biodiesel Production by Sunflower Oil Transesterification. *Biosource Technology*, 83, 111-114.
- Anwar, F., & Rashid, U.** (2008). Production of Biodiesel through Base-Catalyzed Transesterification of Safflower Oil Using an Optimized Protocol. *Energy & Fuels*, 22, 1306-1312.

- Ashok, B., Jeevanantham, A. K., Nanthagopal, K., Saravanan, B., Kumar, M. S., Johny, A., Abubakar, S.** (2019). An experimental analysis on the effects of n-butanol-Calophyllum Inophyllum Biodiesel binary blends in CI engine characteristics. *Energy*, 173, 290-305.
- Atmanlı, A.** (2013). *Dizel motorunda dizel - bitkisel yağ - n-Bütanol karışımlarının motor karakteristik özelliklerine etkilerinin incelenmesi (Doktora Tezi)*. Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atmanlı, A., İleri, E., & Yuksel, B.** (2015). Effects of higher ratios of n-Butanol addition to diesel/vegetable oil blends on performance and exhaust emissions of a diesel engine., *Journal of the Energy Institute* 88, 209-220.
- Aydın, H., & İlkılıç, C.** (2010). Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine. *Applied Thermal Engineering*, 30, 1199-1204.
- Batmaz, İ.** (2007). Buji ateşlemeli motorlarda yakıtta hidrojen ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi dergisi* 22, 135-147.
- Bayık, M.** (2010). *Dizel yakıtına izobütanol ilavesinin performans ve emisyonlara etkisi (Yüksek Lisans Tezi)*. Karabük: Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Behçet, R., & Çakmak, A.** (2011). Farklı Hammaddelerden Üretilen Biyodizel Yakıtların Motor Performans ve Emisyonlarının Karşılaştırılması. *18. Ulusal Isı Bilimi Ve Tekniği Kongresi*. Zonguldak.
- Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş.** (2014). *2014 Yılı Sektör Raporu*. Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş.: https://www.botas.gov.tr/uploads/galeri/15-2019sektorap_2014.pdf adresinden alınmıştır
- Budak, N., Bayındır, H., & Yücel, H. L.** (2009). Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Performans Ve Egzoz Emisyonları Açısından Değerlendirilmesi. Diyarbakır: 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu.
- Chen, G., Yu, W., Li, Q., & Huang, Z.** (2012). Effect of n-Butanol Addition on the Performance and Emissions of a Turbocharged Common-Rail Diesel Engine. *SAE International*, 1-17.
- Choi, B., Jiang, X., Kim, Y. K., Jung, G., Lee, C., & Choi, I.** (2010). Effect of Diesel Fuel Blend with Biobutanol on the Emission of Turbocharged . *CRDI Diesel Engine Energy Procedia Volume 61* (s. 2145-2148). *International Conference on Applied Energy*.
- Choi, B., Jiang, X., Kim, Y. K., Jung, G., Lee, C., & Choi, I.** (2015). Effect of diesel fuel blend with n-butanol on the emission of turbocharged common rail direct injection diesel engine. *Applied Energy Volume*, 20-28.

- Çanakçı, M.** (2004). Combustion Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Biodiesel From Soybean Oil. 8. *Uluslararası Yanma Sempozyumu* (s. 364-375). Ankara: 8. Uluslararası Yanma Sempozyumu.
- Çanakçı, M., & Van Gerpen, J.** (2001). Comparison of Engine Performance and Emissions for Petroleum Diesel Fuel Yellow Grease Biodiesel and Soybean Oil Biodiesel. *SAE*, 016050.
- Çelebi, Y.** (2017). *Bütanol katkısının bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanımına etkilerinin deneysel araştırılması (Yüksek Lisans Tezi)*. Batman: Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çelik , M.** (2015). *Biyodizel yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi (Doktora Tezi)*. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Da Silva, F., Prata, A., & Teixeira, J.** (2003). Technical Feasibility Assesment of Oleik Sunflower Methyl Ester Utilisation in Diesel Bus Engines. *Energy Conversion and Management*, 44, 2857-2878.
- Demirbaş, A.** (2009). *Green energy and technology biofuels*. London: Springer Verlag.
- Dorado, M., Ballesteros, E., Arnal, J., Gomez, J., & Lopez, F.** (2003). Exhaust Emissions from a Diesel Engine Fueled with Transesterified Waste Olive Oil. *Fuel* , 82, 1311-1315.
- Eliçin, A. K.** (2011). *Biyodizel YAkıtlı Çalıştırılan Küçük Güçlü Bir Dizel Motorun Performans ve Emisyonuna Giriş Hava Basıncı Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması (Doktora Tezi)*. Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erdoğan, D.** (1991). Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılması. *Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi*, (s. 30-38). Konya.
- Esteban, B., Baquero, G., Puig , R., Riba , J., & Rius , A.** (2011). Is it environmentally advantageous to use vegetable oil directly as biofuel instead of converting to biodiesel? *Biomass and Bioenergy*, 35, 1317-1328.
- ExxonMobil.** (2018). The Outlook for Energy. *The Outlook for Energy A View to 2040*.
- Fernandez, J. C., Arnal, J. M., Gomez, J., & Dorado, M. P.** (2012). A comparison of performance of higher alcohols/diesel fuel blends in a diesel engine. *Applied Energy* 95, 267-276.
- Gündüz, İ.** (2017). *Etanol Katkılı Atık Kızartma Yağlarının Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi)*. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Hacıkadıroğlu, H.** (2007). *Bitkisel Yağ Esterleri - Motorin Karışımının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Han, X., Yang, Z., Wang, M., Tjong, J., & Zheng, M.** (2016). Clean combustion of n-butanol as a next generation biofuel for diesel engines. *Applied Energy*.
- Haşimoğlu, C.** (2005). *Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi (Doktora Tezi)*. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Haşimoğlu, C., Ciniviz, M., & Uçar, G.** (2016). Günümüzde içten yanmalı motorlarda hidrojen yakıtının kullanılması. *Selçuk teknik online dergisi 1*, 1-2000.
- Hışır, V.** (2010). *Bütanol-Benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorların performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması (Yüksek Lisans Tezi)*. Karabük: Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Horuz, A., Korkmaz, A., & Akıncıoğlu, G.** (2015). Biyoyakıt bitkileri ve teknolojisi. *Toprak bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3, 70-81.
- Ibrahim, A.** (2016). Performance and combustion characteristics of a diesel engine fuelled by butanol-biodiesel-diesel blends. *Applied Thermal Engineering*, 103, 651-659.
- İçingür, Y., & Yamık, H.** (2003). Metil ve Etil Esterin Dizel Yakıtı Olarak Kullanılma İmkanlarının Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 2, 459-464.
- İlçin, K.** (2020). *İzopropanol-Bütanol-Etanol (IBE)'ün Dizel ve Biyodizel Yakıtları İle Karışımlarının Bir Dizel Motorunda Yanma Ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisi Yüksek Lisans Tezi*. Batman: Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- International Energy Agency (İEA).** (2014). World Energy Outlook. *World Energy Outlook2014*, 1-98.
- Işığür, A.** (1992). *Türkiye kökenli aspir tohum yağlarının transesterifikasyonu ve dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilmesi (Doktora Tezi)*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Işık, M. Z., Bayındır, H., Işcan, B., & Aydın, H.** (2016). The effect of n-butanol additive on low load combustion, performance and emissions of biodiesel-diesel blend in a heavy duty diesel power generator. *Journal of the Energy Institute*, 1-11.
- Kahraman, N., Akansu, S. O., & Albayrak, B.** (tarih yok). İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak hidrojen kullanılması. *Mühendis ve Makine Dergisi* 48, 560-570.
- Karabaş, H.** (2013). Soğuk Pres ve Solvent Ekstraksiyon Teknikleri ile Üretilen Aspir Yağı ve Aspir Biyodizellerinin Yağ ve Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi. 28. *Ulusal*

Tarımsal Mekanizasyon Kongresi (s. 1-6). Konya: Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi.

Karaca, E., & Aytaç, S. (2007). Yağ Bitkilerinde Yağ Asitleri Kompozisyonu Üzerine Etki Eden Faktörler. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22, 120-131.

Karagöz, Y. (2012). *İçten yanmalı motorlarda hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanılması (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü .

Karaosmanoğlu, F. (2002). Türkiye İçin Çerve Dostu Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotorin. *Ekojenerasyon Dünyası Kojenarasyon Dergisi ICCI*, 50-56.

Kelen, F. (2014). Motorlu taşıt emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19, 80-87.

Khanahmadzadeh, S., & Khanahmadzadeh, A. (2012). Physico-Chemical Properties of Biodiesel Produced from Safflower Oil *Isfahan Cultivar*.

Knothe, G. (2005). Dependence of Biodiesel Fuel Properties On The Structure Fatty Acid Alkyl Esters. *Fuel Processing Technology* 86, 1060-1071.

Knothe, G. (2010). Biodiesel and renewable diesel A comparison. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36, 365-374.

Koçak, Ç. (2018). *Enerji Sektöründe Talep Tahminleri Ve Türkiye Genel Enerji Değerlerinin İrdelenmesi*. 10-32: TMMOB oda raporu, MMO 691,.

Kumar, B. R., & Saaravanan, S. (2016). Effects of iso-butanol/diesel and n-pentanol/diesel blends on performance and emissions of a DI diesel engine under premixed low temperature combustion mode. *Fuel*, 170, 49-59.

Kumar, B. R., & Saravanan, S. (2016). Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 60, 84-115.

Kumar, V., Gupta, D., Siddiquee, M., Nagpal, A., & Kumar, N. (2015). Performance and emission characteristics of n-butanol and iso-butanol diesel blend comparison. *SAE Technical*.

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

Monyem, A., & Gerpen, J. (2001). The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. *Biomass and bioenergy*, 20, 317-325.

Mutlu, E. (2010). *Dizel yakıtı, kanola yağı ve fındık yağı metil esterlerinin dizel motor performansına ve emisyonlarına etkilerinin deneysel incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Nas, S., Gökalp, H., & Unsal, M.** (1992). Bitkisel Yağ Teknolojisi. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi.
- Nosheena, A., Banob, A., & Alic, S.** (2014). Physicochemical Characterization and Authentication of Safflower Oil Biodiesel Yield by Advanced Tools. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering* , 5.
- Nrel.** (2009). Biodiesel Handling and Use Guide (Fourth Edition). *U.S Department of Energy NREL/TP-540-43672*.
- Oğuz, H.** (2004). *Tarım Kesiminde Yaygın Olarak Kullanılan Dizel Motorlarında Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanım İmkanlarının İncelenmesi (Doktora Tezi)*. Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Oğuz, H., Demir, F., & Acaroğlu, M.** (2000). The Investigation of the Possibilities of Using Sunflower Oil in Diesel as Fuel. *1st World Conference and Exhibition on Biomass For Energy and Industry*, 66-663.
- Oral, E., & Çelik, V.** (2005). Hidrojen yakıtlı motor teknolojisi. *Mühendis ve Makine Dergisi* 46, 530-545.
- Özçelik, A. E., & Ögüt, H.** (2011). Determination Of The Effects Of Safflower Biodiesel And Its Blends With Diesel Fuel On Engine Performance And Emissions In A Single Cylinder Diesel Engine. 599-608.
- Radheshyam, Santhosh, K., & Kumar, G. N.** (2019). Effect of 1-pentanol addition an EGR on the cosbustion, performance and emission characteristic of a CRDI diesel engine. *Renewable Energy*, 145, 925-936.
- Rajasekar, V.** (2016). Experimental investigations to study the effect of butanol and pentanol addition in a jatropha oil methyl ester fuelled compression ignition engine. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 9.
- Ramadhas, A. S., Jayaraj, S., & Muraleedharan, C.** (2004). Use of vegetable oils as I.C. engine fuels. *Renewable Energy*, 29, 724-743.
- Ray, N. H., Mohanty, M. K., & Mohanty, R. C.** (2013). Biogas as Alternate Fuel in Diesel Engines: A Literature Review. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 23-28.
- Sakthivela, R., Rasmeshb, K., Purnachandran, R., & Shameera, P. M.** (2018). A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82, 2970-2992.
- Sathiyamoorthia, R., & Sankaranarayanan, G.** (2017). The effects of using ethanol as additive on the combustion and emissions of a direct injection diesel engine fuelled with neat lemongrass oil-diesel fuel blend. *Renewable Energy*, 101, 747-756.

- Schoo, R., & Hoxie, A.** (2012). Basic Properties of refined, bleached and deodorized soybean oil-butanol blends. *Fuel*, 102, 701-708.
- Schumacher, L., Borgelt, S., Hires, W., Spurling, C., Humphrey, J., & Fink, J.** (1993). Fueling Diesel Engines with Esterified Soybean Oil. (s. 93-101). *ASAE*.
- Sevinç, H.** (2018). *Piston ve supapları cr2o3 kaplanmış ve farklı yakıt katkıları kullanılan bir dizel motorda performans ve emisyon değerlerinin yapay sinir ağları ile belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Shurtleff, W., & Aoyagi, A.** (2017). History of biodiesel 1990-2017. USA. CA: *Soyinfo Center Lafayette*.
- Silitoga, A. S., Masjuki, H. H., Ong, H. C., Sebayang, A. H., Dharma, S., Kusumo, F., Mahlia, T. M.** (2018). Evoluution of the engine performance and exhaust emissions of biodiesel-bioethanol-diesel blends using kernel-based extreme learning machine. *Energy*, 159, 1075-1087.
- Singha, D., Sharmaa, D., Sonia, S. L., Sharmaa, S., & Kumarib, D.** (2019). Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels. *Fuel* 253 50-71.
- Siwale, L., Kristof, L., Adam, T., Bereczky, A., Mbarawa, M., Penninger, A., & Kolesnikov, A.** (2013). Combustion and emission characteristics of n-butanol/diesel fuel blend in turbo-charged compression ignition engine. *Fuel* 107, 409-418.
- Soylu, P., Karabektaş, M., & Ermiş, K.** (2004). Otomobiller için alternatif enerji kaynaklarının incelenmesi,. *Uluslararası Ege Sempozyumu*, (s. 491-505).
- Srisvastava, A., & Prasad, R.** (2000). Triglycerides based diesel fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 4, 110-135.
- Standard Test Methods for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels.** (2001). *ASTM Standard*, D 976-91.
- Strayer, D.** (2006). Food fats and oils. *Washington ISEO*, 1-15.
- Şahin, Z., Durgun, O., & Aksu, O. N.** (2015). Experimental investigation of n-butanol/diesel fuel blends and n-butanol fumigation- Evaluation of engine performance, exhaust emissions, heat release and flammability analysis. *Energy Conversion and Management*, 103.
- Ulusoy, Y., & Alibaş, K.** (2000). Ayçiçek Yağı ve Dizel Yakıtı Karışımlarının Motor Yakıtı Olarak Kullanımında Avans Ayarı Değişimlerinin Motor Performans Değerine Olan Etkileri. *Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi*, (s. 399-405). Erzurum.
- Usta, N.** (2005). Use of Tobacco Seed Oil Methyl Ester in a Turbocharged Indirect Injection Diesel Engine. *Biomass and Bioenergy*, 28, 77-86.

- Uyar, T.** (1992). *Organik Kimya*. İstanbul: Güneş Kitabevi.
- Vellguth, G.** (1983). *Performance of Vegetable Oils and Their Monoesters as Fuels for Diesel Engines*. SAE.
- Verduzco, L. F., Rodriguez, J. E., & Jacob, A. R.** (2012). Predicting cetane number kinematic viscosity density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition. *Fuel*, 91, 102-111.
- Yamık, H.** (2002). *Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma imkanlarının Araştırılması (Doktora Tezi)*. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılancılar, M. S.** (2020). *Ketencik yağı metil esterine pentanol ilavesinin dizel motor performans parametrelerine etkilerinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Sakarya: Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Yılmaz, İ. T.** (2015). *Düşük ısı kayıplı bir dizel motorda çift yakıt (biyogaz-dizel) kullanımının performans ve emisyonlara etkisi (Doktora Tezi)*. İstanbul: Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, M.** (2012). Bitkisel Hammaddelerden Elde Edilen Biyodizelin Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4, 33-56.
- Yılmaz, N., Vigil, F. M., Benalil, K., Davis, S. M., & Calva, A.** (2014). Effect of biodiesel-butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine. *Fuel* 135, 46-50.
- Yüce, İ.** (2008). *Alternatif Yakıt Olarak Biyodizelin Türkiye' deki ve Almanya' daki Durumu ile Taşıtlarda Kullanımının İncelenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yücesu, H., Altın, R., & Çetinkaya, S.** (2001). Dizel Motorlarında Alternatif Olarak Bitkisel Yağ Kullanılmasının Deneysel İncelenmesi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental* 25, 39-49
- Zhang, Y., Dube, M., Mclean, D., & Kates, M.** (2003). Biodiesel Production from Waste Cooking Oil : 1. Process Design and Technological Assessment. (s. 1-16). *Bioresource Technology* , 89.
- Zhang, Z., & Balasubramanian, R.** (2014). Influence of butanol addition to diesel-biodiesel blend on engine performance and particulate emissions of a stationary diesel engine. *Applied Energy* 119, 530-536.